

C. FELLER
P. MILLEVILLE

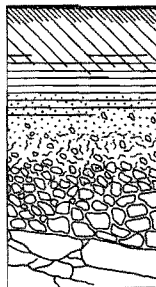
ÉVOLUTION DES SOLS DE DÉFRICHE RÉCENTE DANS LA RÉGION DES TERRES NEUVES (Sénégal - Oriental)

1ère Partie :

Présentation de l'étude et évolution des principales caractéristiques morphologiques et physico-chimiques

2ème Partie :

Aspects biologiques et caractéristiques de la matière organique



NOVEMBRE 1976

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

CENTRE O.R.S.T.O.M. DE DAKAR



EVOLUTION DES SOLS DE DEFRICHE RECENTE DANS
LA REGION DES TERRES-NEUVES
(Sénégal Oriental)

C. FELLER (*), P. MILLEVILLE (**)

(*) Pédologue de l'ORSTOM, Centre de Dakar (Sénégal)

(**) Agronome de l'ORSTOM, S. S. C.-Bondy (France)

1ère PARTIE :

PRESENTATION DE L'ETUDE ET EVOLUTION DES PRINCIPALES
CARACTERISTIQUES MORPHOLOGIQUES ET PHYSICO-CHIMIQUES

RESUME

On étudie l'influence du défrichement ~~et~~ de 1, 2 et 3 années de culture peu intensive (absence de labours, d'apports organiques, faibles amendements minéraux) sur l'évolution des principales caractéristiques morphologiques et physico-chimiques de sols ferrugineux tropicaux lessivés de plateau de la région des Terres-Neuves (Sénégal Oriental).

Avec la mise en culture on ne note que de faibles variations morphologiques et aucun effet du type de défrichement. Par contre, la diminution du stock organique s'accompagne d'une baisse de la capacité d'échange, de la stabilité structurale, de la rétention de l'eau à pF 2,5. Le travail, même très superficiel, du sol, entraîne une augmentation de la densité apparente et des porosités globales et surtout structurales.

Aucune relation n'est observée entre les rendements cultureux et l'âge de la défriche (donc du potentiel de fertilité) mais un effet bénéfique du défrichement mécanique apparaît.

EVOLUTION DES SOLS DE DEFRICHE RECENTE DANS
LA REGION DES TERRES-NEUVES
(Sénégal-Oriental)

C. FELLER (*), P. MILLEVILLE (**)

(*) Pédologue de l'ORSTOM, Centre de Dakar (Sénégal)

(**) Agronome de l'ORSTOM, S. S. C.-Bondy (France)

1ère PARTIE :

PRESENTATION DE L'ETUDE ET EVOLUTION DES PRINCIPALES
CARACTERISTIQUES MORPHOLOGIQUES ET PHYSICO-CHIMIQUES

1 - INTRODUCTION

Depuis longtemps, les pédologues et agronomes se sont intéressés à l'évolution des principaux caractères des sols sous l'influence de la déforestation et de la mise en culture. Citons, pour le Sénégal, les travaux de FAUCK et al (1969), de SIBAND (1974) et de DIATTA (1975) en Casamance, et ceux de BOUYER (1959) dans la région des Terres-Neuves, au Sénégal-Oriental.

Les études sont effectuées, soit en parcelles expérimentales (FAUCK et al 1969, DIATTA 1975, BOUYER 1959) avec modes de culture intensifs (mécanisation, engrais, etc...), soit en milieu paysan traditionnel (SIBAND 1974).

Dans tous les cas, on assiste à un abaissement de la fertilité du sol dès les premières années de mise en culture, abaissement d'autant plus grand que le potentiel de départ est plus élevé. Selon l'apport, ou non, d'engrais minéraux et organiques, un palier peut être atteint en moins de dix ans (FAUCK et al 1969), ou seulement après plusieurs décennies (SIBAND 1974).

L'évolution des rendements ne suit pas nécessairement celle du potentiel de fertilité, et un effet dépressif, lié au défrichement, est parfois observé les premières années de mise en valeur, alors que les indices de fertilité semblent encore élevés. Cet effet disparaît après quelques années de culture (SIBAND 1974).

Dans la région des Terres-Neuves, une opération de colonisation est en cours depuis 1972. Un suivi technique et socio-économique l'accompagne (DUBOIS et al. 1976).

Il nous a paru intéressant d'y adjoindre une étude de l'évolution des sols afin d'en comparer les résultats avec ceux obtenus dans une zone climatique différente (Casamance), et de compléter, par des approches nouvelles et dans un autre système de culture, l'étude effectuée par BOUYER (1959) dans le même contexte écologique.

Dans la première partie les sols seront abordés sous l'angle morphologique et physico-chimique et, dans la seconde, sous l'aspect biochimique par l'étude de la matière organique et de quelques caractéristiques biologiques.

2 - CADRE DE L'ETUDE

Le périmètre choisi pour l'exécution du Projet Terres-Neuves est situé au Sénégal-Oriental, au sud de la voie ferrée Dakar-Tambacounda, entre les localités de Koumpentoum et Malem-Niani. Il forme un quadrilatère d'environ 30 km sur 25. Six villages de colonisation sont installés, en 1974, quand débute cette

étude. Celle-ci est centrée sur le village de Diagle-Sine, créé en 1972.

Le climat est sahélo-soudanien, caractérisé par une seule saison des pluies entre Juin et Octobre. Durant les trois premières années de mise en valeur, les précipitations annuelles en 1972, 1973, 1974 ont été respectivement égales à 590, 660, 840 mm.

Le modelé est celui d'un plateau très faiblement ondulé, localement cuirassé en surface, entaillé par un réseau hydrographique, souvent colmaté par des épandages colluvio-alluviaux, au régime à tendance endoréique. Un glacis à pente très faible (environ 2 %), souvent gravillonnaire, raccorde les axes alluviaux au plateau. L'ensemble de la région repose sur les formations gréseuses du Continental terminal (d'âge mio-pliocène). C'est un grès argileux, bariolé, azoïque, où le seul minéral argileux présent est la kaolinite (DIENG 1965).

La végétation naturelle est une forêt claire pour les sols profonds, passant à une savane arbustive sur les sols gravillonnaires peu épais. La strate arbustive est dominée par de nombreuses combrétacées et la strate arborée par Sterculia setigera, Bombax costatum, et Cordyla pinnata.

Une étude pédologique au 1/40 000ème a permis de délimiter des zones vierges et suffisamment homogènes, pour permettre une mise en culture dans des conditions satisfaisantes. Ont été retenus les sols de plateau ayant une profondeur d'au moins 80 cm (les axes alluviaux aux terres plus légères étant déjà exploitées par les villages existants). (HANRION et al. 1971).

Les objectifs du Projet Terres-Neuves sont ambitieux : intensification et diversification des cultures, utilisation de techniques culturales perfectionnées (traction bovine, travail profond du sol à la charrue pour les céréales et le cotonnier, fumure minérale forte). En fait, les thèmes techniques préconisés n'ont été que partiellement adoptés par les agriculteurs. Le refus du labour a été général, et la préparation du sol a consisté en un simple grattage. Les doses d'engrais épandu ont été nettement inférieures aux normes vulgarisées. Le système de culture réellement mis en œuvre se révèle donc, pour l'instant, relativement proche d'un système traditionnel à caractère extensif, les agriculteurs portant leur effort beaucoup plus sur l'extension rapide des surfaces cultivées que sur l'intensification.

Le défrichement, mécanique la première année (abattage des arbres au bulldozer), est manuel ensuite.

En résumé (*), les sols étudiés se trouvent en position de plateau, sont profonds, portent initialement une forêt claire ou une savane arborée, ont été défrichés mécaniquement ou manuellement, n'ont reçu aucune fumure organique et peu d'engrais minéraux. Ils sont mis en culture depuis 1, 2 ou 3 ans et sont comparés à un témoin sous forêt.

3 - LOCALISATION, ECHANTILLONNAGE

Les divers traitements ayant fait l'objet d'analyses, et leur histoire culturelle, sont présentés dans le tableau 1. Tous les prélèvements ont été faits après une culture d'arachide afin d'éliminer un éventuel effet "nature de la plante" sur les résultats d'analyse. Les prélèvements ont été effectués en Octobre 1974 donc en fin de période végétative de l'arachide.

La localisation des parcelles apparaît sur la figure 1.

(*) Pour des renseignements plus précis concernant la mise en place et le déroulement de l'Opération Terres-Neuves, nous renvoyons le lecteur à DUBOIS et al (1976).

Les prélèvements ont été effectués à la tarière aux profondeurs suivantes : 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 cm.

Dans la majorité des cas, chaque traitement a donné lieu à six répétitions (*) échelonnées sur une parcelle d'environ 100 mètres de côté. Chaque répétition est elle-même un échantillon composite de 8 prélèvements effectués dans un cercle de 8 m de rayon environ pour les 3 horizons de surface, et de 4 prélèvements pour les 2 horizons de profondeur.

Les analyses courantes (carbone, azote, pH, granulométrie, capacité d'échange, bases échangeables, perméabilité au laboratoire) ont porté sur chaque répétition.

Afin de nous placer dans des conditions optimums de comparaison, nous avons, au vu des résultats granulométriques, retenu seulement les traitements présentant des caractéristiques texturales semblables (v. fig. 2a, 2b, 2c). Les traitements 1 et 2 ont ainsi été éliminés.

Par ailleurs, aucune différence n'apparaissant sur le plan analytique, entre les sols défrichés mécaniquement et ceux défrichés manuellement, les résultats des traitements 3 et 4 (cultures de 3 ans) et des traitements 5 et 6 (cultures de 2 ans) ont été regroupés.

En définitive, les comparaisons analytiques porteront le plus souvent sur trois traitements : forêt (n° 9, 6 répétitions), cultures de 2 ans (n°s 5 et 6, 12 répétitions) et culture de 3 ans (n°s 3 et 4, 8 répétitions). Seules les moyennes seront données, accompagnées, pour les cultures de 2 et 3 ans, des lettres S et NS indiquant si les différences observées sont significatives ou non significatives, à la probabilité 0,05, par rapport au témoin-forêt.

TABLEAU 1 : Présentation des différentes parcelles

Parcelle n°	1	2	3	4	5	6	9
Age et nature de défrichement	Forêt	1 an manuel	3 ans manuel	3 ans mécanique	2 ans manuel	2 ans mécanique	forêt
Type de sol (*)	SFTLH	SFTLH	SFTL	SFTL	SFTL	SFTL	SFTL
Passé cultural (**)	F	F.A.	F.A.C.A.	F.A.C.A.	F.A.A.	F.C.A.	F.
Nombre de répétitions	6	6	2	6	6	6	6
(*) Les abréviations SFTLH et SFTL signifient respectivement "Sols ferrugineux tropicaux lessivés hydromorphes" et "sols ferrugineux tropicaux lessivés à taches et concrétions en profondeur". (**) F = Forêt, A = Arachide, C = Céréales.							

(*) La parcelle n° 3 correspondant à une surface réduite n'a donné lieu qu'à 2 répétitions.

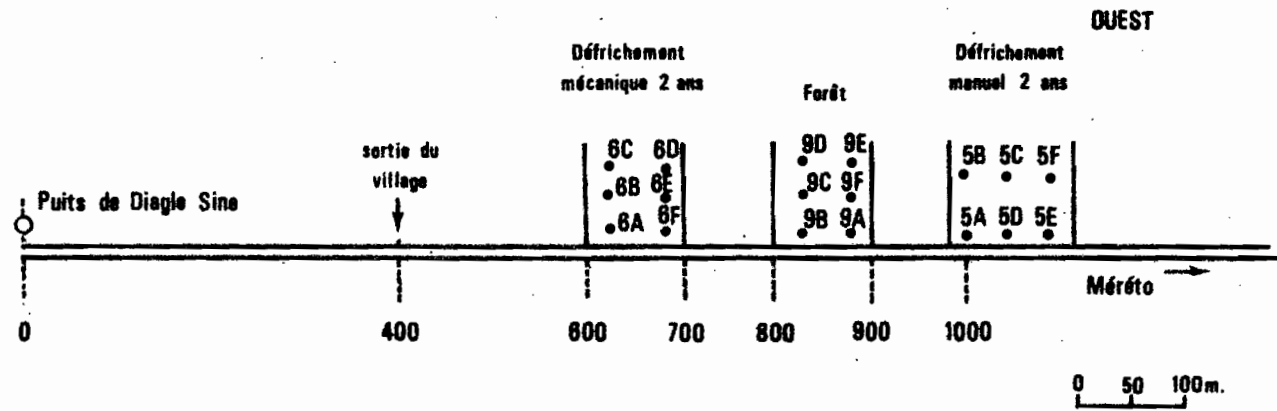
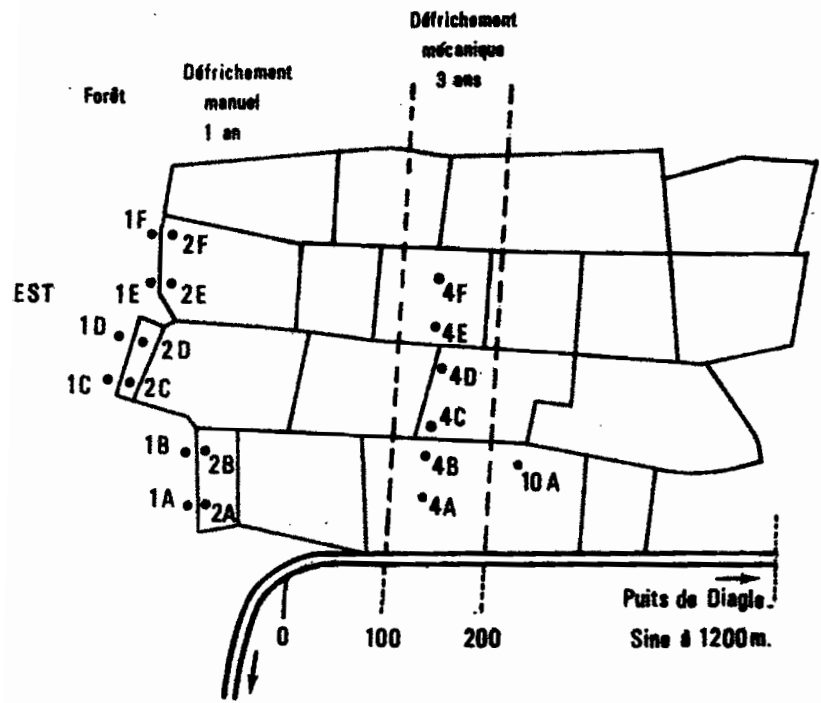
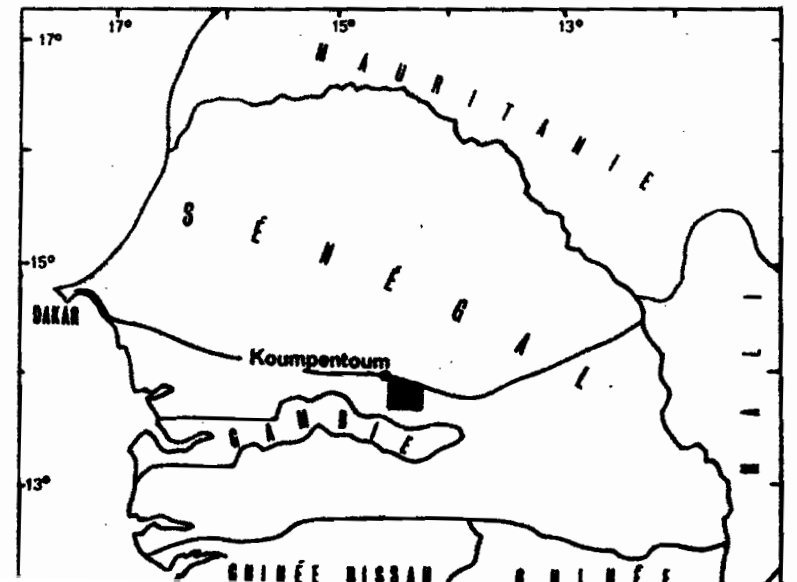


FIG. 1 - LOCALISATION DES PRINCIPAUX TRAITEMENTS



4 - EVOLUTION DES CARACTERISTIQUES MORPHOLOGIQUES

Dans le périmètre étudié, les bas de pentes sont occupés par des "sols ferrugineux tropicaux lessivés hydromorphes" alors que les sommets et les hauts de pentes portent des "sols ferrugineux tropicaux lessivés à taches et concrétions en profondeur" (HANRION et al., 1971).

Les traitements retenus pour cette étude (parcelles n°s 3, 4, 5, 6, 9) correspondent uniquement au deuxième type de sol. Celui-ci se différencie du premier (parcelles n°s 1 et 2) par une texture plus grossière, et par l'absence de taches d'hydromorphie dans les trois premiers horizons.

Le profil-type choisi est le profil n° 9, sous forêt (voir Annexe I, description et résultats analytiques), et les variations observées pour les autres traitements sont résumées dans le tableau 2.

On note, pour les horizons A 11 des sols cultivés une diminution (bien évidemment) de la densité racinaire, le passage à un débit polyédrique plus grossier de la structure massive et un léger éclaircissement de la couleur prise sur le terrain.

Si les couleurs sont prises au laboratoire sur échantillons tamisés à 2 mm, les variations entre les divers traitements sont plus faibles et non appréciables au Code Munsell bien que décelables visuellement. En sec, les horizons 0-10 sont bruns à bruns pâles (10 YR 5/3 à 6:3) et les horizons 10-20, bruns jaunâtres clairs (10 YR 6/4).

Précisons, par ailleurs, qu'aucune trace de **rippage** ancien (passage de lames verticales à 60-80 cm de profondeur pour sectionner et extirper les racines) n'a été observée. En outre, sur un seul des profils étudiés, nous avons pu noter un effet du travail du "Canadien", sous forme d'un litage net, discontinu, subhorizontal, sur les cinq premiers centimètres de sol.

En conclusion, la morphologie des sols des Terres-Neuves paraît peu modifiée par une mise en culture de 1, 2 et 3 ans.

Alors que la surface du sol apparaissait relativement perturbée à la suite du défrichement mécanique (en particulier, existence de cratères aux endroits des plus grosses souches extirpées), il est notable de constater que deux ou trois ans plus tard, cette hétérogénéité est difficilement décelable.

Le thème labour préconisé par le projet ayant été la plupart du temps rejeté par les paysans, le travail du sol (grattage essentiellement) a laissé peu d'empreintes sur les profils culturaux (absence de discontinuités, de semelles de labour, etc...).

5 - EVOLUTION DES PRINCIPALES CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES

L'évolution des principales grandeurs édaphiques est illustrée par les figures 3 et 4. Aucune variation significative, due à la mise en culture, n'apparaissant pour les horizons de profondeur, nous n'avons pas estimé nécessaire d'en rappeler les résultats.

5.1. Les caractéristiques chimiques (Voir Annexe II)

5.1.1. La matière organique

Même sous végétation naturelle, la teneur en matière organique est faible (0,72 % dans l'horizon 0-10 cm). Cette matière organique est bien évoluée (rapport C/N de 9 à 10).

T A B L E A U 2

Caractéristiques morphologiques des différents profils

N° de parcelle	Age et nature de défrichement	Passé cultural	Limite inférieure des horizons (cm)					Couleur prise sur le terrain (*)		Débit de la structure de l'horizon(**)	Densité racinaire de l'horizon A11		Activité biologique de l'horizon A11
			A11	A12	B	C1g	C2g	A11	A12		Racines	Chevelu	
9		Forêt	20	34	130	190		bg 10 YR 4,5/2	b 10 YR 5/3	PM	Moyenne à forte	Moyenne	Moyenne
6	2 ans, défrichement mécanique	Forêt Céréale Arachide	15	30	110	150	-	bg 10 YR 5/2	b 10 YR 5/3	PG	Faible	Faible	Moyenne à forte
7	2 ans, défrichement manuel	Forêt Arachide Arachide	17	35	118	170	-	bgf 10 YR 4/2	bc 8,75 YR 6/4	PG	Faible	Faible	Moyenne à faible
4	3 ans, défrichement mécanique	Forêt Arachide Céréale Arachide	19	34	135	175	-	bg 10 YR 5/2	bp 10 YR 6/3	PG	Moyenne	Moyenne	Moyenne
3	3 ans, défrichement manuel	Forêt Arachide Céréale Arachide	20	40	120	157	-	bg 10 YR 5/2	b 7,5 YR 5/4	PG	Faible	Moyenne	Moyenne

(*) b = brun, g = grisâtre, f = foncé, c = clair, p = pâle, j = jaune

(**) PM = polyédrique moyen, PG = polyédrique grossier.

Avec la mise en valeur, on note une diminution des teneurs en carbone et en azote. Après 3 années de culture le taux de matière organique n'est plus que de 0,57 %, ce qui correspond à une perte relative de 20 % par rapport au témoin-forêt. Cette différence est significative.

Les variations pour l'azote sont à peu près identiques. Le rapport C/N diminue de façon significative la troisième année de culture.

5.1.2. Le pH et le complexe absorbant

Les pH sous forêt sont neutres à faiblement acides pour les horizons de surface (0-10 et 10-20), et acides pour les horizons de profondeur. Il faut noter que le pH-KCl tombe alors à des valeurs de 4,4, seuil au-delà duquel de l'aluminium échangeable peut être libéré par le complexe absorbant, et provoquer, selon l'intensité du phénomène, des effets de toxicité sur l'arachide (nanisme jaune) comme l'a montré PIERI (1974). Il faudra donc veiller à ne pas laisser s'acidifier ces horizons.

La capacité d'échange est faible (4,5 meq) et le complexe absorbant moyennement désaturé est dominé par le calcium. Le calcium et le magnésium représentent la quasi-totalité des bases échangeables. On note une carence nette en potassium (teneurs inférieures à 0,1 meq).

La mise en culture ne modifie de manière significative, ni le pH ni les bases échangeables. Par contre, on observe une diminution significative de la capacité d'échange qui passe, pour l'horizon 0-10, de 4,5 à 3,7 meq après 3 années de culture, soit une variation relative de 27 % par rapport au témoin-forêt.

5.1. Les caractéristiques physiques

5.2.1. Les propriétés hydriques

a) Rétention de l'eau à différents pF

Pour la comparaison des humidités à différents pF nous avons retenu seulement les parcelles n°s 4, 5 et 9 dont les sols ont des teneurs en éléments fins strictement semblables (voir fig. 2a et 2b).

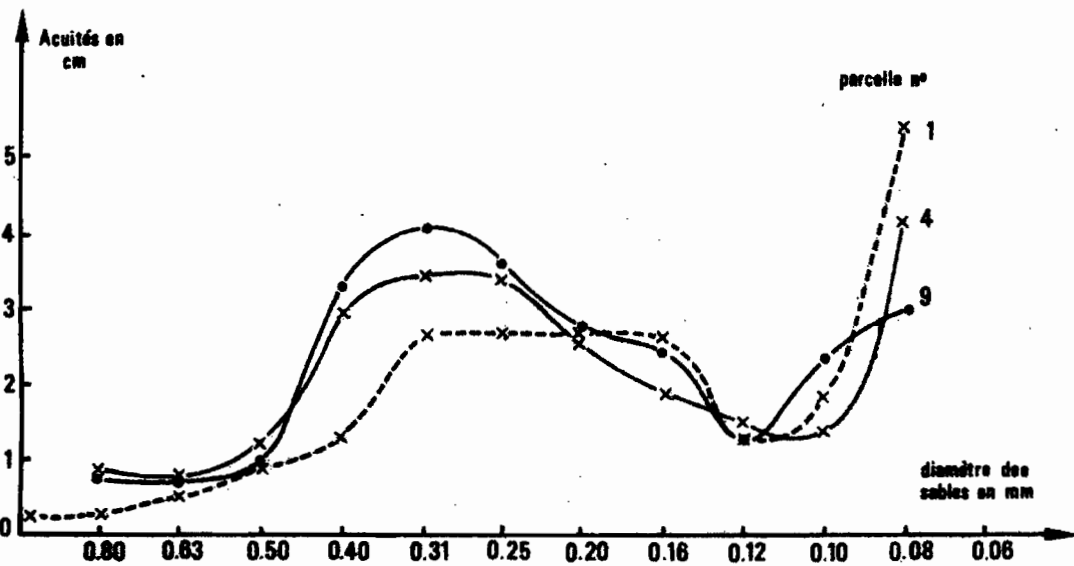
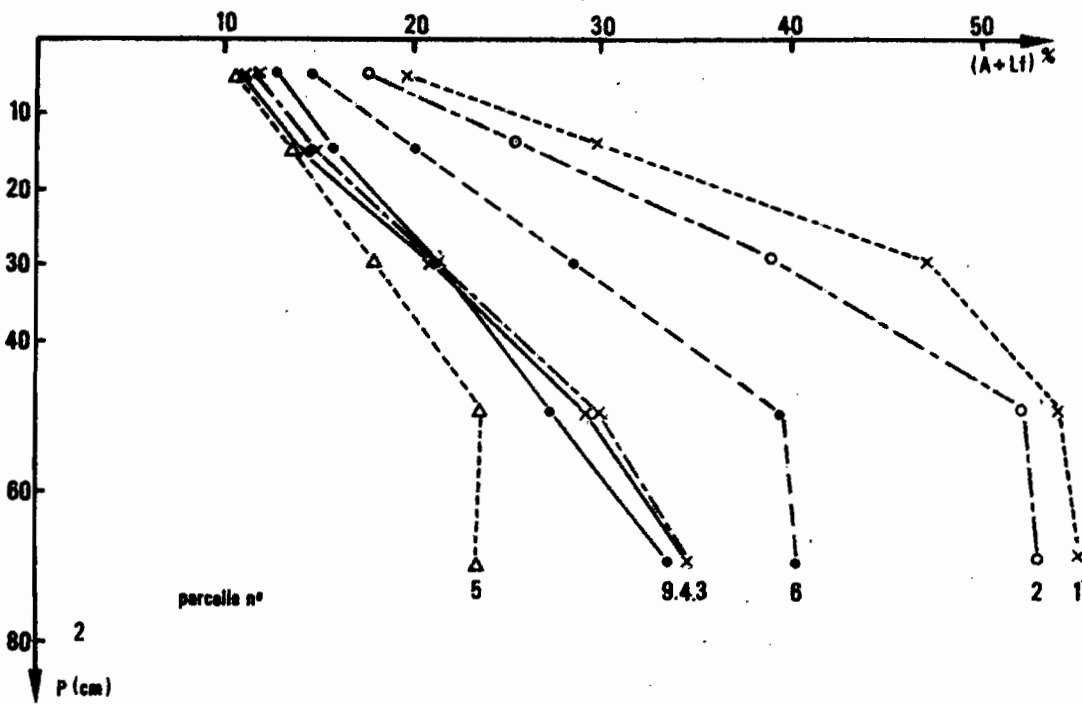
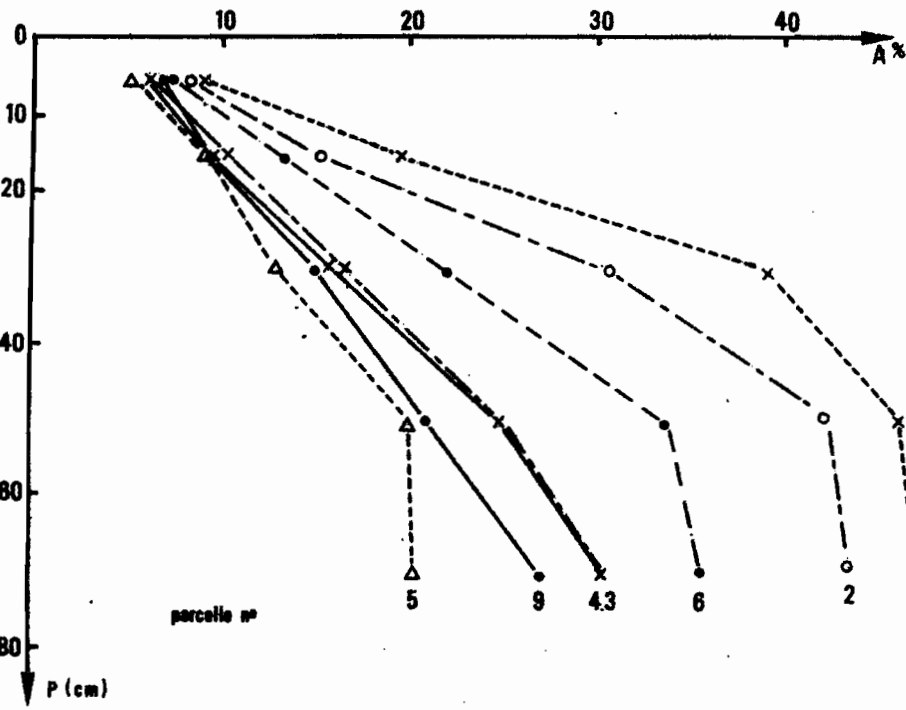
Au Sénégal, selon CHARREAU (1961), la capacité au champ des sols sableux est estimée par l'humidité à pF 2,5 et se situe, ici, pour le sol sous forêt aux environs de 7 % en surface et atteint 13 % en profondeur. Le pourcentage d'eau utile (pF 2,5 - pF 4,2) est faible (5 %), et sensiblement constant sur l'ensemble du profil.

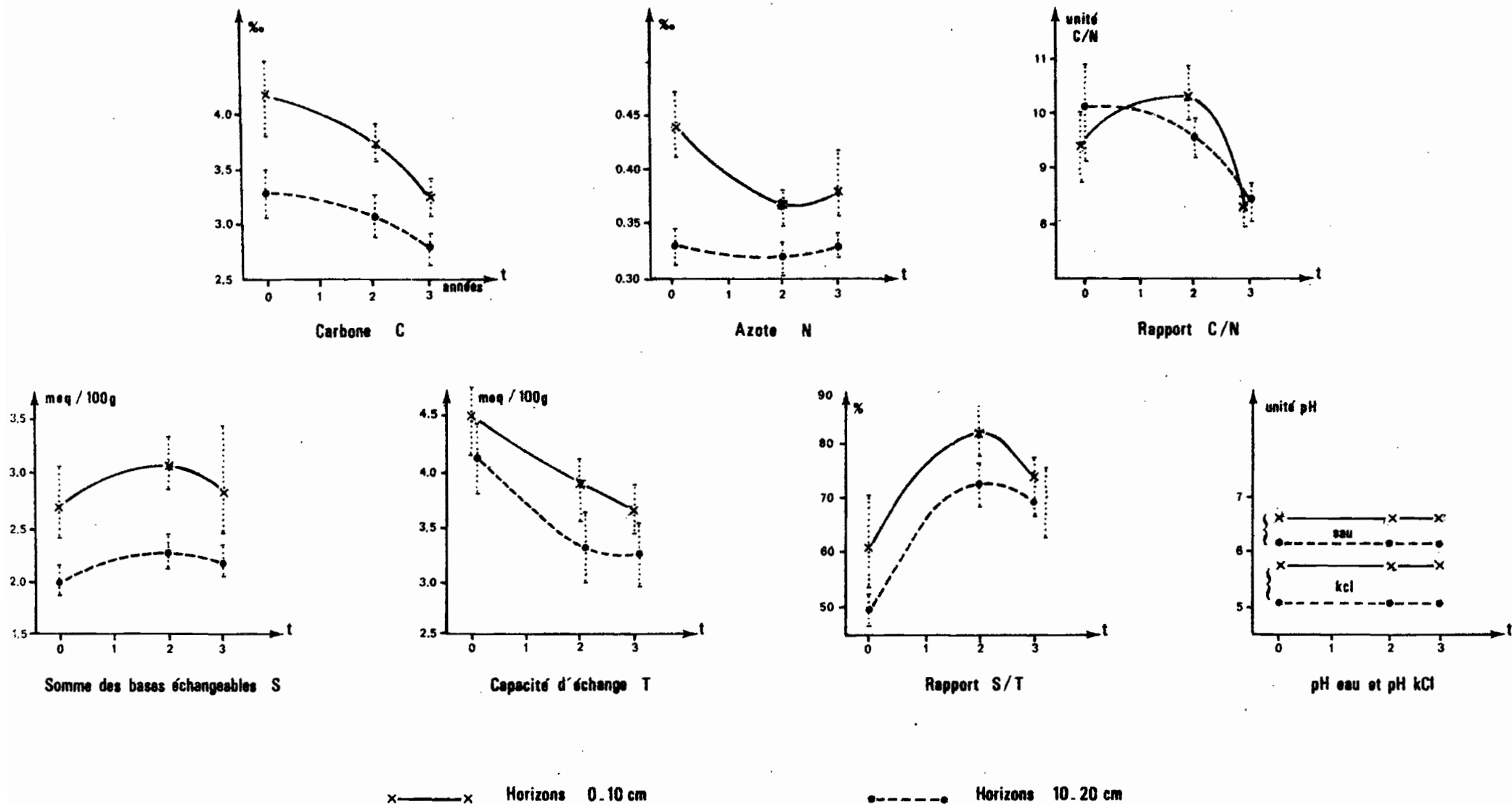
La mise en culture ne modifie pas les teneurs en eau à pF 3,0 et pF 4,2 mais diminue de façon significative celles à pF 2,5. (voir fig. 4).

b) La perméabilité

Des mesures de perméabilité ont été effectuées sur le terrain par la méthode MONTZ - modifiée-PIOGER décrite dans AUDRY et al. (1973) et au laboratoire sur sol remanié(*). La très grande variabilité des résultats, aussi bien pour la méthode de terrain que pour celle au laboratoire, interdit de tirer toute conclusion. Six répétitions par traitement apparaissent très insuffisantes pour tester d'éventuelles différences.

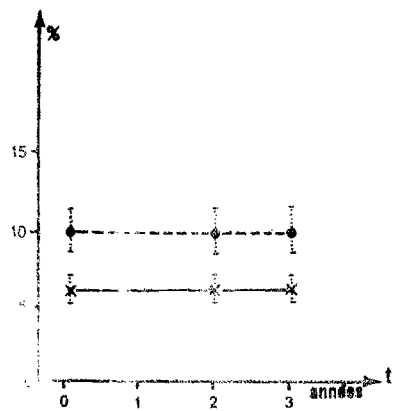
(*) La mesure de perméabilité au laboratoire sur sol remanié est celle décrite dans "Méthodes d'analyses utilisées au laboratoire de physique des sols."- S.S.C., ORSTOM, Bondy, 30 p.



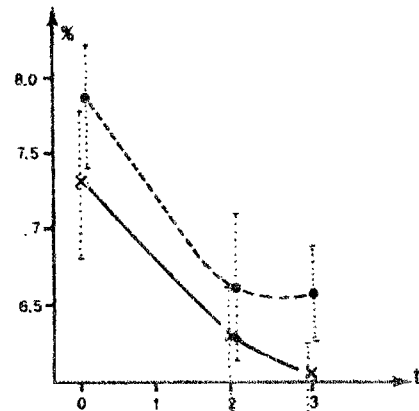


les traits verticaux en pointillés représentent l'intervalle de confiance de la mesure

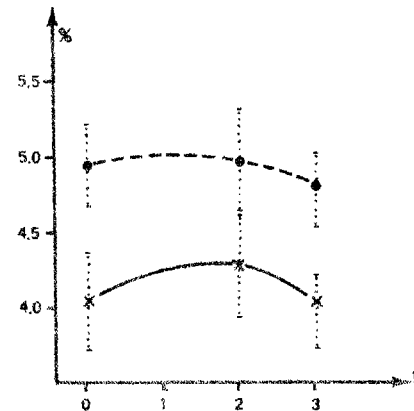
FIG.3 _ ÉVOLUTION DES PRINCIPALES PROPRIÉTÉS CHIMIQUES EN FONCTION DE L' AGE DU DÉFRICHEMENT



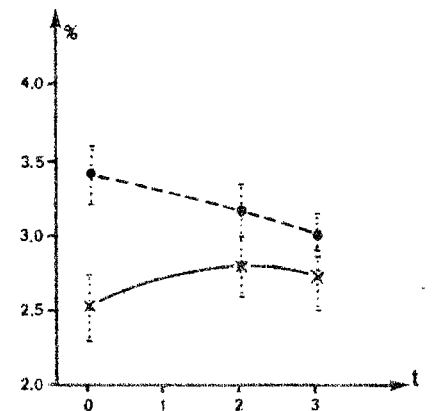
Teneur en argile



Humidité à pF 2.5



Humidité à pF 3.0



Humidité à pF 4.2

x—x Horizons 0-10 cm.

●- - - ● Horizons 10-20 cm

Les traits verticaux en pointillés représentent l'intervalle de confiance de la mesure

FIG. 4 _ ÉVOLUTION DE LA RÉTENTION EN EAU À DIFFÉRENTS pF EN FONCTION DE L' AGE DU DÉFRICHEMENT

5.2.2. La densité apparente

La méthode au cylindre - 30 répétitions par traitement - et celle au densitomètre à membrane - 6 répétitions par traitement - ont été retenues (AUDRY et al., 1973).

Les prélèvements, entre 5 et 15 cm, effectués en saison sèche, ont nécessité, pour la méthode au cylindre, l'humectation du sol. Les valeurs obtenues pour un même traitement par les deux méthodes ne sont pas significativement différentes, et confirment, à posteriori, la validité du prélèvement au cylindre après humectation et ressuyage de ces sols.

La mise en valeur induit une diminution de la densité apparente. Cette variation n'est pas significative après 2 années de culture mais le devient la troisième année (*).

5.2.3. La stabilité structurale (**)

Elle est estimée par l'indice d'instabilité structurale de HENIN (HENIN et al., 1969).

Les résultats sont les moyennes de six répétitions par traitement (voir tableau 3.)

Une augmentation significative de I_s après les deux premières années de culture du sol indique une dégradation de la structure du sol. Les variations portent essentiellement sur le taux d'agrégats stables à l'eau (A_{gE} - 0,9 SG) qui passe de 6,7 à 5,6 %, et la teneur en éléments fins ($(L+I)_{max}$) qui passe de 10 à 13,8 % et caractérise la tendance à la dispersion du sol. Aucune variation n'est observée sur les teneurs en agrégats stables après prétraitement benzène (A_{gB} - 0,9 SG).

5.2.4. La porosité

Selon MONNIER et al. (1973), il y a lieu de distinguer dans la porosité globale d'un sol (P_g), - une "porosité structurale" (P_s) d'une "porosité texturale" (P_t).

(*) Toutefois, dans ce dernier cas, les moyennes sont établies à partir de 6 répétitions seulement et la signification des résultats est à considérer avec prudence.

(**) Les stabilités structurales ont été déterminées au laboratoire de Physique des sols de l'ORSTOM (Bondy, France) sous la direction de Mr. A. COMBEAU et les mesures de porosité et de résistance à la pénétration ont été effectuées au laboratoire de Physique des sols du CNRA (Bambey, Sénégal) sous la responsabilité de Mr. A. NICOU. Nous tenons à remercier ici ces deux chercheurs pour l'analyse de nos échantillons et leurs précieux conseils dans l'interprétation des résultats.

TABLEAU 3

Principales caractéristiques physiques des horizons de surface des sols sous forêt et sous cultures de 2 et 3 ans.

	Horizons	Forêt	Culture de 2 ans		Culture de 3 ans	
<u>Humidité en % à différents pF</u>						
pF 2,5	0-10	7,4	6,3	S	6,0	S
	10-20	7,9	6,6	S	6,7	S
pF 3,0	0-10	4,0	4,3	NS	4,0	NS
	10-20	5,0	5,0	NS	4,8	NS
pF 4,2	0-10	2,5	2,4	NS	2,3	NS
	10-20	3,5	3,2	NS	3,1	NS
<u>Stabilité structurale</u>						
AgE - 0,9 SG	5-15	6,7	5,7	S		
AgB - 0,9 SG	5-15	8,5	8,5	NS		
Ag - 0,9 SG	5-15	8,0	8,4	NS		
A+L)max	5-15	10,0	13,8	S		
Is	5-15	1,25	1,68	S		
<u>Densité apparente</u>						
Méthode cylindre	5-15	1,54	1,52	NS	1,50	S
Méthode densitomètre à membre	5-15	1,57			1,45	S
<u>Porosité</u>						
Porosité texturale Pt	5-15	30,1	29,8	NS		
Porosité globale P _B	d = 3,5 cm	5-15	36,8	S		
	d = 2,5 cm	5-15	36,8	NS		
Porosité structurale Ps						
d = 3,5 cm	5-15	9,6	13,0	S		
d = 2,5 cm	5-15	9,6	11,4	NS		
<u>Résistance à la pénétration en kg</u>						
	5-15	4,0	5,5	NS		
<u>Perméabilité en cm/h</u>						
Müntz - Ploger (Terrain)	Surface	53,7			36,6	NS
Laboratoire	0-10	0,75	0,76	NS	0,96	S
	10-20	0,66	0,86	NS	0,97	NS

La porosité structurale est celle qui s'observe sur un profil cultural. Elle correspond à l'agencement des macro-agrégats et des vides. Elle peut être modifiée par divers traitements mécaniques (travail du sol, tassement, etc...).

La porosité texturale correspond à l'assemblage élémentaire des particules et se définit comme la porosité d'arrangement naturel d'une terre ou d'un mélange de particules de dimensions différentes. Elle est uniquement fonction de la texture du sol.

Les résultats présentés sont les moyennes de 8 répétitions par traitement pour les porosités globales et de 6 répétitions pour les porosités texturales. La porosité globale a été déterminée sur deux types de mottes, les unes de 3,5 cm de diamètre, les autres de 2,5 cm de diamètre.

Les méthodes utilisées pour la détermination des porosités globales et texturales sont celles décrites par NICOU (1974). La porosité structurale s'obtient à partir des porosités globales et texturales par la formule :

$$Ps = 100 \times \frac{Pg - Pt}{(100 - Pt)}$$

Résultats (voir tabl. 3)

Les porosités texturales identiques pour les deux traitements (29,8 et 30,1 %) confirment à posteriori la qualité de l'échantillonnage (mottes de même texture). La porosité globale est faible sous végétation naturelle (36,8 %). On admet généralement (NICOU 1974) que la valeur de 40 % est un seuil, en deçà duquel, le système racinaire des plantes a du mal à se développer.

La mise en culture augmente légèrement la porosité globale. Les variations absolues sont respectivement égales à 2,1 et 1 % pour les mottes de diamètre 3,5 et 2,5 cm par rapport au témoin forêt, et les variations relatives, de 5,7 et de 2,7 %.

Par contre les augmentations sont notables pour les porosités structurales puisque les variations absolues sont respectivement égales à 3,4 et 1,8 % pour les mottes de diamètre 3,5 et 2,5 cm par rapport au témoin forêt, et les variations relatives de 35,4 et de 18,7 %.

Il faut noter que les variations sont d'autant plus importantes que les mottes sont plus grosses, ce qui signifie que le phénomène se situe surtout au niveau d'assemblages de taille de l'ordre du centimètre et non pas à celui d'agré-gats de taille inférieure à 2 mm.

Aussi, le défrichement et deux années de pratiques culturales non inten-sives (grattage superficiel, passage de houe et de la souleveuse), sans travail de sol important comme le labour, suffisent à modifier profondément la porosité de surface des sols.

5.2.5. La résistance à la pénétration

Quelques mesures de pénétrométrie ont été faites au laboratoire à l'aide d'un pénétromètre type MAERTENS (aiguille de 2 mm de diamètre enfonçant à la vitesse de 1 cm/mm).

Chaque traitement a donné lieu à 12 répétitions et les résultats sont portés dans le tableau 3.

On note une tendance à une augmentation à la résistance à la pénétration avec la mise en culture. Les différences ne sont significatives qu'à P = 0,1.

6 - QUELQUES REMARQUES SUR L'EVOLUTION DES RENDEMENTS CULTURAUX.

De l'étude d'accompagnement de DUBOIS et al. (1976), nous retiendrons, concernant la culture de l'arachide, les résultats suivants :

a) les rendements en arachide sont toujours bons (supérieurs à 1000 kg/ha), même en première année de culture. A Diagle-Sine, ils passent de 1000 kg/ha la première année à 1340 puis 1670 kg/ha les deuxième et troisième années, en raison de conditions pluviométriques de plus en plus favorables ;

b) on observe, pour une même pluviométrie (840 mm en 1974), un rendement identique (1670 kg/ha) sur des parcelles défrichées depuis un an seulement (village de Keur-Daouda) et sur celles défrichées depuis trois ans (village de Diagle-Sine) ;

c) chaque année, on note de meilleurs rendements en arachide sur les parcelles défrichées mécaniquement par rapport à celles défrichées manuellement.

Il semble donc, que l'effet dépressif observé sur les cultures, en Casamance (SIBANE 1974 et DIATTA 1975), dans le cas des sols de défriche récente, ne se manifeste pas dans la région des Terres-Neuves, tout au moins les trois premières années, et sur culture de l'arachide. Il faut noter que le potentiel de fertilité de départ est ici beaucoup plus faible, et le bouleversement écologique certainement plus réduit.

Par ailleurs, les hypothèses permettant d'expliquer l'infériorité des rendements sur sols défrichés manuellement sont variées, et il est difficile de faire la part incombant aux caractéristiques du sol. On pourrait citer :

- un "effet ombrage"(beaucoup d'arbres restent en place à la suite du défrichement manuel),
- un "effet sol",
- un "effet faune", des rongeurs circulant plus facilement dans les champs défrichés manuellement et plus proches, écologiquement, de leur milieu naturel,
- etc...

Le problème des relations entre la baisse de la fertilité potentielle des sols telle qu'elle peut-être appréhendée par les analyses de sols, et les rendements cultureux observés, apparaît donc complexe et variable selon les caractéristiques du milieu, puisque :

- 1/ on ne trouve pas de relations entre la fertilité potentielle du sol et l'évolution des rendements au cours du temps, les premières années de culture,
- 2/ l'effet dépressif observé sur les sols de défriche récente en Casamance ne l'est pas dans la région des Terres-Neuves.

7 - CONCLUSIONS

7.1. Sur le plan pédologique

Nous avons vu au début de ce texte que la mise en valeur des sols de plateau de la région des Terres-Neuves s'était effectuée de façon relativement traditionnelle (travail du sol réduit, absence de fumure organique, faible fumure minérale).

Les caractéristiques morphologiques des sols ont peu évolué sous l'influence du défrichement et de la mise en culture. Enfin aucun effet spécifique lié au type de défrichement n'est observé.

Les variations physico-chimiques portent essentiellement sur les vingt premiers centimètres du sol.

Sur le plan chimique, l'exploitation de ces sols se traduit par une diminution de la teneur en matière organique, (concernant aussi bien le carbone que l'azote) et, corrélativement, par celle de la capacité d'échange. Nous rejoignons là les résultats des études antérieures (FAUCK et al. 1969, SIBAND 1974, DIATTA 1975, BOUYER 1959).

Par contre, le pH, les bases échangeables et leur somme restent à peu près constants, alors que ces grandeurs diminuent dès les premières années de culture aussi bien, en culture traditionnelle ou intensive en Casamance, que sur les Terres-Neuves dans un secteur de modernisation agricole. La fertilité minérale des sols étudiés semble donc s'être relativement conservée au cours des trois premières années.

Sur le plan physique de nombreuses modifications sont observées.

Il faut distinguer les mesures permettant d'appréhender le comportement du sol au niveau des micro-agrégats (de taille inférieure à 2 mm) de celles s'appliquant soit au sol en place, soit à des mottes de la taille du centimètre ou du décimètre.

Dans la première catégorie, se rangent les mesures de stabilité structurale, de rétention en eau à différents pF, de perméabilité sur échantillon remanié au laboratoire, et, dans la seconde, les mesures de densité apparente, de porosité, de perméabilité sur le terrain ou sur échantillon non remanié au laboratoire. La pénétrométrie occupe une place particulière dans ce tableau.

a) Comportement du sol au niveau d'agrégats inférieurs à 2 mm.

La diminution de la stabilité structurale est due à celle des agrégats stables à l'eau, mais surtout à une forte augmentation des phénomènes de dispersions. Elle s'accompagne d'une diminution de l'humidité à pF 2,5. Il est intéressant de constater que la mise en culture n'exerce aucune influence sur la rétention de l'eau aux pF 3,0 et 4,2, indice que les variations observées concernent seulement les pores de plus gros diamètre (*).

Ainsi, sous l'effet de l'augmentation de la dispersabilité de la terre, une réorganisation des vides s'effectue au détriment des pores les plus gros. La rétention en eau à pF 2,5 est alors diminuée. La vérification de cette hypothèse demanderait une étude micromorphologique fine. (Une autre hypothèse permettant d'expliquer, à la fois, la diminution de l'humidité à pF 2,5 et l'augmentation des perméabilités en laboratoire, serait la modification de certaines pro-

(*) Si on assimile l'agrégat à un "modèle capillaire", on admet que l'humidité à pF 2,5 concerne les pores présentant un rayon moyen inférieur à 5 microns alors qu'aux pF 3,0 et 4,2, il s'agit de ceux aux rayons inférieurs à 1,5 et 0,1 microns.

priétés hygrophyles de la matière organique entraînant une non mouillabilité externe des agrégats.

Enfin, l'absence de variation des taux d'agrégats stables après prétraitement benzène, alors que les teneurs en matière organique diminuent avec la mise en culture, laisse supposer que l'effet de la matière organique s'exerce beaucoup plus au niveau d'assemblages de taille inférieure à 0,2 mm qu'à celui des agrégats de taille supérieure à 0,2 mm.

b) Comportement du sol, en place, ou au niveau d'assemblages supérieurs à 2 mm.

Le défrichage et la mise en culture induisent une diminution de la densité apparente et une augmentation des porosités globales et surtout structurales. Même en l'absence de labour, les différentes phases de travail du sol, (dessouchage, grattage, arrachage des pieds d'arachide) apparaissent suffisantes pour créer artificiellement des macro-structures et accroître le volume des vides.

Dans ce contexte, la tendance à l'augmentation de la résistance à la pénétration peut paraître surprenante au premier abord. En réalité, les mesures de pénétrométrie, reflètent en partie la dureté du ciment les assemblages. Or, on peut admettre que celle-ci est d'autant plus élevée que les phénomènes de dispersion sont importants. Il ne serait alors pas incompatible d'observer une augmentation simultanée de la résistance à la pénétration et de la porosité.

En conclusion, les modifications apportées par le défrichage et une mise en culture peu intensive, sans restitution de matière organique au sol, s'articulent autour de deux axes, qui sont :

- le travail du sol,
- la diminution du stock organique.

Le travail du sol, en augmentant les porosités globales et structurales présente le gros avantage de permettre une meilleure occupation du sol par le système racinaire de la plante.

La diminution du stock organique entraîne dès les premières années de culture, une diminution de la capacité d'échange, de l'humidité à pF 2,5, et une dégradation de la structure reflétée surtout par une très nette augmentation des phénomènes de dispersion. Corrélativement le sol semble acquérir une plus grande dureté.

7.2. Sur le plan agronomique

Nous avons noté, pour la culture d'arachide, et sur une période de trois ans :

- un effet bénéfique du défrichage mécanique par rapport au défrichage manuel,
- l'absence d'effet dépressif sur les rendements les premières années de culture tel qu'il est observé en Casamance,
- l'absence de relations entre la "fertilité potentielle" telle qu'elle est appréhendée par les techniques classiques d'analyse de sols et la "fertilité réelle" telle qu'elle apparaît par l'analyse des rendements culturaux.

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

- AUDRY (P.), COMBEAU (R.), HUMBEL (F.X.), ROOSE (E.), VIZIER (J.F.) - 1973 - "Bulletin du groupe de travail sur la dynamique actuelle des sols", n° 2, Comité Technique de Pédologie, ORSTOM, Rapp. multigr., 126 p.
- BOUYER (S.) - 1959 - Etude de l'évolution du sol dans un secteur de modernisation agricole au Sénégal. CCTA, III^e Conf. Interf. des sols, Dakar, vol. II, pp. 841-850.
- CHARREAU (C.), 1961 - Dynamique de l'eau dans deux sols du Sénégal. L'Agron. Trop., Vol. XVI, n° 5, pp. 504-562.
- DIATTA (S.) - 1975 - Evolution sous culture de sols de plateau en Casamance Continentale. Compte rendu de deux années d'essai. L'Agron. Trop. Vol. XXX, n° 30, pp. 344-353.
- DIENG (M.) - 1965 - Contribution à l'étude géologique du Continental terminal du Sénégal. Rapp. Bur. Rech. géol. min., Dakar, DAK 65 - A 27, 2 tomes.
- DUBOIS (J.P.), MILLEVILLE (P.), TRINCAZ (P.) - 1976 - Opération Terres-Neuves, Projet-Pilote Koumpentoum-Maka, étude d'accompagnement, rapport de synthèse - ORSTOM-DAKAR, multigr., 59 p.
- FAUCK (R.), MOUREAUX (C.), THOMANN (C.) - 1969 - Bilan de l'évolution des sols à Séfa (Casamance, Sénégal) après quinze années de culture continue. L'Agron., Trop., vol. XXIV, n° 3, pp. 263-301.
- HANRION (C.), MERCKY (P.), CHAUVEL (A.) - 1971 - Projet-Pilote des Terres-Neuves Etude pédologique du périmètre Sui Koumpentoum, Rapp. multigr., 75 p., 8 cartes.
- HENIN (S.), GRAS (R.), MONNIER (G.) - 1969 - Le profil cultural, 332 p., 2^{ème} Ed., Masson, Paris.
- MONNIER (G.), STENGEL (P.), FIES (J.C.) - 1973 - Une méthode de mesure de la densité apparente de petits agglomérats terreux. Application à l'analyse des systèmes de porosité du sol. Ann. Agron., vol. 24, n° 5, pp. 533-546.
- NICOU (R.), 1974 - Contribution à l'étude et à l'amélioration de la porosité des sols sableux et sablo-argileux de la zone tropicale sèche. Conséquences agronomiques. L'Agron. Trop., Vol. XXIX, n° 11, pp. 1100-1127.
- PIERI (C.) - 1974 - Premiers résultats expérimentaux sur la sensibilité de l'arachide à la toxicité alluminique. L'Agron. Trop., Vol. XXIX, n°s 6-7, pp. 685-696.
- SIBAND (P.) - 1974 - Evolution des caractères et de la fertilité d'un sol rouge de Casamance. L'Agron. Trop., Vol. XXIX, n° 12, pp. 1228-1248.

A N N E X E I

Principales caractéristiques du profil-type.

1 - Description

Profil n° 9 : Sol ferrugineux tropical lessivé à taches et concrétions en profondeur.

Topographie : sur pente faible (environ 1 %), à mi-pente.

Végétation : forêt claire à savane arborée.

Strate arborée : *Sterculia setigera*, *Cordyla pinnata*, *Combretum glutinosum* ;

Strate herbacée : *Hibiscus* ssp., *Pennisetum pedicellatum*, *Borreria radiata* et petites cypéracées indéterminées.

Description :

- 0 - 20 cm : Humifère, brun-grisâtre foncé (10 YR 4,5/2), sec, sans taches, texture sableuse à sables grossiers, structure massive nette, généralisée, à éclats anguleux, à débit à tendance polyédrique moyen, cohérent, très poreux, peu fragile, nombreuses racines fines et moyennes, chevelu, activité biologique forte, transition distincte et régulière avec...
A₁₁
- 20 - 34 cm : Faiblement humifère, brun (10 YR 5/3), sec, sans taches, texture sablo-faiblement-argileuse à sables grossiers, structure massive nette généralisée à éclats anguleux à débit à tendance polyédrique grossier, cohérent, très poreux, peu fragile, nombreuses racines moyennes, chevelu peu abondant, activité biologique forte, transition graduelle avec...
A₁₂
- 34 - 130 cm : Brun clair à jaune rougeâtre (7,5 YR 7/4), sec, sans taches, texture sablo-argileuse, à sables grossiers, structure massive nette généralisée à éclats anguleux, à débit à tendance polyédrique moyen à grossier, cohérent, très poreux, peu fragile, racines moyennes, activité biologique forte, transition graduelle et régulière avec...
B
- 130 - 190 cm : Rosé (7,5 YR 7/4), sec, taches peu étendues rougeâtres, arrondies (0,5 à 1 cm), à limites nettes, contrastées, plus cohérentes, autres taches, blanchâtres à limites peu nettes, peu contrastées, aussi cohérentes, concrétions ferrugineuses rouges, arrondies (0,5 à 1 cm), texture sablo-argileuse à sables grossiers, structure massive nette, généralisée, à éclats anguleux, à débit polyédrique grossier, cohérent, très poreux, peu fragile, pas de racine, activité biologique moyenne, transition graduelle avec...
C_{1g}
- 190 - 230 cm : Rosé, à taches et concrétions nombreuses, structure massive, nette, généralisée, à éclats émoussés, à débit polyédrique moyen, poreux, autres caractères identiques à C_{1g}.
C_{2g}

Ce sol présente un profil caractéristique de sol ferrugineux tropical "lessivé", bien drainé, aux horizons humifères légèrement décolorés (couleurs dans la planche des 10 YR), suivis d'un horizon B épais présentant une tendance à la rubéfaction (couleurs dans la planche des 7,5 YR). Les phénomènes d'hydro-

morphie n'apparaissent qu'à partir de 130 cm dans les horizons C, les taches et concrétions devenant de plus en plus importantes avec la profondeur. Les porosités sont élevées sur l'ensemble du profil. La texture, sableuse en surface, passe à sablo-argileuse dans l'horizon B et reste à peu près constante ensuite. Les structures sont massives sur l'ensemble du profil. Les transitions sont graduelles et régulières sauf pour la limite 4₁₁/4₁₂ qui est distincte.

2 - Données analytiques

Horizon (cm)	0 - 10	10 - 20	20 - 40	40 - 50	60 - 80
Argile %	6,7	10,1	15,2	20,5	26,7
Limon fin %	6,2	5,5	5,2	6,3	4,6
Limon grossier %	12,2	9,8	9,8	10,2	7,6
Sable fin %	29,9	27,6	27,6	23,8	22,7
Sable grossier %	44,2	40,0	48,0	38,9	37,0
Matière organique %	0,72	0,55	0,32		
Carbone %	4,13	3,25	1,85		
Azote %	0,44	0,33	0,25		
C/N	9,4	10,1	7,4		
pH eau	6,6	6,2	5,4	5,3	5,2
pH KCl	5,8	5,1	4,4	4,3	4,4
Bases échangeables (*) en meq/100 g					
Ca ⁺⁺	1,8	1,2	1,1	1,0	1,2
Mg ⁺⁺	0,8	0,7	0,7	0,9	1,2
K ⁺	0,1	-	-	-	-
Na ⁺	0,1	0,1	-	-	-
S. somme des bases	2,7	2,0	1,8	1,9	2,3
T. Capacité d'échange ...	4,5	4,2	4,8	5,9	4,8
S/T Taux de saturation ..	61	48	37	32	47
Humidité en %					
pF 2,5	7,4	7,9	9,6	11,0	13,1
pF 3,0	4,0	4,9	6,6	8,1	9,8
pF 4,2	2,5	3,5	4,6	5,9	7,4
Eau utile %	4,9	4,4	5,1	5,1	5,7

(*) Le signe (-) indique des valeurs inférieures ou égales à 0,05 meq/100 g

A N N E X E II

Principales caractéristiques chimiques des horizons de surface
des sols sous forêt et sous culture de 2 et 3 ans.

	Horizons	Forêt	Culture de 2 ans		Culture de 3 ans	
Matière organique %	0-10	0,72	0,65	NS	0,57	S
	10-20	0,56	0,53	NS	0,48	S
Carbone ‰	0-10	4,13	3,75	NS	3,22	S
	10-20	3,25	3,07	NS	2,77	S
Azote ‰	0-10	0,44	0,36	S	0,39	NS
	10-20	0,33	0,33	NS	0,33	NS
Rapport C/N	0-10	9,4	10,4	NS	8,2	S
	10-20	10,1	9,6	NS	8,4	S
pH eau	0-10	6,6	6,8	NS	6,7	NS
	10-20	6,2	6,2	NS	6,2	NS
pH KCl	0-10	5,8	5,8	NS	5,8	NS
	10-20	5,1	5,1	NS	5,2	NS
Bases échangeables meq/100 g						
Ca ⁺⁺	0-10	1,8	2,4	NS	1,1	NS
	10-20	1,2	1,4	S	1,4	NS
Mg ⁺⁺	0-10	0,8	0,6	NS	0,5	S
	10-20	0,7	0,8	NS	0,6	NS
K ⁺	0-10	0,1	0,1	NS	0,1	NS
	10-20	0,1	0,1	NS	0,1	NS
Na ⁺	0-10	0,1	0,1	NS	0,1	NS
	10-20	0,1	-	NS	-	NS
Sommes des bases S.	0-10	2,7	3,1	NS	2,9	NS
	10-20	2,0	2,4	NS	2,2	NS
Capacité d'échange T.	0-10	4,5	3,9	NS	3,7	S
	10-20	4,2	3,3	S	3,3	S
Taux de saturation 100 $\frac{S}{T}$	0-10	62	82	S	73	NS
	10-20	48	73	S	70	S

EVOLUTION DES SOLS DE DEFRICHE RECENTE DANS
LA REGION DES TERRES-NEUVES
(Sénégal Oriental)

C. FELLER
Pédologue de l'ORSTOM, Dakar (Sénégal)

2ème PARTIE
ASPECTS BIOLOGIQUES ET CARACTERISTIQUES DE LA MATIERE ORGANIQUE

RESUME

Le défrichement et la mise en culture de sols ferrugineux tropicaux lessivés de la région des Terres-Neuves (Sénégal Oriental) s'accompagnent d'une augmentation relative de la biodégradabilité de la matière organique. Cette augmentation paraît liée au passage d'une fraction des acides humiques et de l'humine vers les acides fulviques et les composés solubles dans les solutions denses ethanol-bromoforme. Parallèlement, des transformations chimiques affectent les acides humiques avec la diminution des groupes carbonyles C = O et des groupes hydroxyles phénoliques OH. Ces données sont discutées, en relation, avec les variations de capacité d'échange et de stabilité structurale observées pour ces sols.

Enfin, aucune différence n'apparaît entre les différents traitements pour les fractions azotées.

C. FELLER
Pédologue de l'ORSTOM, Dakar (Sénégal)

2ème PARTIE

ASPECTS BIOLOGIQUES ET CARACTERISTIQUES DE LA MATIERE ORGANIQUE

1 - INTRODUCTION

Nous avons vu, dans la première partie de ce travail, la position centrale qu'occupe la matière organique dans les processus d'évolution des sols à la suite du défrichement et de la mise en culture : la diminution de la teneur en carbone est liée à celles de la capacité d'échange, de la stabilité structurale, et peut-être, à certaines modifications du comportement hydrique du sol.

Cette diminution, est-elle associée, dès les premières années de culture, à des transformations qualitatives de la matière organique ? Telle est la question à laquelle nous tentons de répondre ci-dessous, en abordant successivement l'étude :

- de l'activité biologique globale,
- des différentes formes d'azote,
- du fractionnement de l'humus,
- des caractéristiques des acides humiques.

2 - MATERIEL ET METHODES

Les sols étudiés sont ceux décrits dans la première partie. Ont été retenus les traitements Forêt (parcelle n° 9) et Cultures de: 2 et 3 ans (parcelles n°s 6 et 4). Seul l'horizon 0-10 cm a été analysé sur un échantillon composite obtenu à partir des six répétitions de prélèvement.

L'ensemble des manipulations porte sur le sol tamisé à 2 mm et broyé à 0,5 mm.

2.1. Activité biologique globale

2.1.1. Etude du carbone facilement minéralisable - mesure du dégagement de gaz carbonique

On opère selon DOMMERS (1960) avec les variantes méthodologiques suivantes

- 3 x 100 g de sol sont amenés à l'humidité équivalente (pF 2,5) et mis dans des bocaux à conserve de 1 litre.
- l'incubation dure 24 h en début d'expérience, 72 h ensuite ;
- le gaz carbonique fixé par 20 ml de soude 0,1 N est dosé, après addition de 5 ml de chlorure de baryum à 30 %, par de l'acide chlorhydrique 0,1 N en présence de phénolphtaléine. Un dosage sur un témoin sans sol est effectué.

Les résultats sont les moyennes de trois répétitions et sont exprimés en pourcentage de carbone du gaz carbonique dégagé par rapport au carbone total du sol (coefficient de minéralisation défini par DOMMERS 1960).

2.1.2. Pouvoir nitrificateur du sol : dosage de l'azote nitrique plus nitreux.

On dose toutes les semaines, pendant neuf semaines, l'azote nitrique plus nitreux apparu lors de l'incubation d'échantillons de sol.

Pour chaque traitement, on opère de la façon suivante :

au temps t_0 , on pèse 3 x 9 prises de sol de 25 g chacune qui sont mises à incuber, à 37° et à l'humidité équivalente, dans des pots en plastique ouverts de 50 ml. Par simple pesée et addition d'eau, l'humidité est réajustée à la teneur initiale tous les deux jours. Chaque semaine, 3 échantillons sont retirés de l'étuve. Les nitrates et nitrites sont alors extraits par 60 ml d'une solution de chlorure de potassium à 5 g/l (agitation 5 minutes). Le filtrat est décanté puis centrifugé et le dosage, sur une aliquote de 5 ml, est effectué à l'aide de la trousse HACH NI 12 en utilisant le "comparateur à disque NITRAVER NITROGEN" et les "gélules NITRAVER". Ce dosage colorimétrique est basé sur la réaction de GRIESS. Les résultats lus (mg N/l) sur le comparateur sont transformés en ppm N par la formule :

$$\text{ppm N} = 2.4 \times \text{mg N/l}$$

On fait la moyenne des 3 répétitions.

2.2. Fractionnement de l'azote par hydrolyse chlorhydrique (*)

La technique employée est proche de celle décrite par DECAU (1968). Trois formes d'azote sont déterminées :

- "l'azote insoluble" contenu dans le résidu d'hydrolyse,
- "l'azote ammoniacal" qui est l'azote solubilisé et distillable sous forme ammoniacale après alcalinisation du filtrat chlorhydrique,
- "l'azote aminé" qui est l'azote solubilisé et non distillable sous forme ammoniacale dans les conditions de l'expérience, et, qui est, pour sa plus grande part, inclus dans les acides aminés.

Les conditions de l'hydrolyse sont, ici, les suivantes :

25 g de sol sont hydrolysés 6 h à reflux par de l'acide chlorhydrique 6 N.

"L'azote insoluble" et l'azote soluble total" sont dosés par la méthode Kjeldahl.

"L'azote ammoniacal" est entraîné à la vapeur d'eau et dosé. La différence de "l'azote soluble total" et de "l'azote ammoniacal" donne "l'azote aminé".

Les résultats sont exprimés en pourcents d'azote par rapport à la somme de l'azote des trois fractions. Cette somme est toujours inférieure à l'azote total du sol.

(*) Le fractionnement de l'azote a été effectué au Laboratoire de Biochimie des sols du CNRA (Bambey, Sénégal) sous la responsabilité de Mr. F. GANRY que nous remercions vivement pour son aide et ses nombreux conseils.

2.3. Fractionnement de l'humus

Après séparation des matières légères (ML) par densimétrie à l'aide d'un mélange alcool-bromoforme de densité 1.8, on extrait les matières humiques totales (MHT) par une solution de pyrophosphate de sodium 0.1 M (rapport sol/solution égal à 1/10). Le résidu de sol après extraction est l'humine (HU). Les acides humiques (AH) sont séparés des acides fulviques (AF) par précipitation à pH 2,0 à l'aide d'acide sulfurique 9 N. La fraction organique solubilisée par la liqueur dense lors de la séparation densimétrique est appelée acides hymatomélaniques (HY) (*).

Les dosages de carbone sur les différentes fractions sont effectués par combustion dans un "carmograph".

Pour chaque traitement, on sépare d'abord les matières légères en deux répétitions sur 2 x 50 g de sol. Les deux résidus de sol (fraction lourde) sont alors réunis et la suite du fractionnement (MHT, AH, AF, HU) est conduite, en 6 répétitions, à partir de 6 x 10 g de sol de la fraction lourde. Les dosages du carbone sont effectués en double sur chaque répétition. Les résultats présentés sont les valeurs moyennes, exprimées en pourcentage du carbone total, pour faciliter la comparaison des différents traitements.

2.4. Caractérisation des acides humiques

2.4.1. Préparation des acides humiques

Toutes les opérations qui suivent se font sous azote.

Les matières humiques totales sont extraites jusqu'à épuisement (filtrat clair) par une solution de pyrophosphate de sodium 0,1 M. Après centrifugation et filtration, les argiles entraînées dans la solution sont floculées par addition de chlorure de potassium en poudre (3 g par litre d'extrait humique). Les acides humiques sont alors précipités à pH 2.0 par de l'acide chlorhydrique 2,5 N et séparés des acides fulviques par centrifugation. Les acides humiques sont laissés en contact pendant 3 jours avec un mélange à parts égales d'acide fluorhydrique 0,1 N et d'acide chlorhydrique 0.1 N pour détruire les minéraux argileux restants (agitation 2 fois par jour), puis sont lavés (jusqu'au début de dispersion des acides humiques) par de l'acide chlorhydrique 0,01 N, et, enfin, sont lyophilisés.

La teneur en eau sur les lyophilisats est déterminée par chauffage à 105° pendant 24 h, et la teneur en matière minérale, par combustion au four, à 750°, pendant 4 h. Tous les résultats d'analyses sont ensuite rapportés à la matière organique sèche (sans eau ni matière minérale).

Si la teneur en matière minérale dépasse 10 %, les acides humiques sont à nouveau traités par le mélange d'acides fluorhydrique et chlorhydrique.

2.4.2. Dosage des principaux groupes fonctionnels des acides humiques

"L'acidité totale" (groupes carboxyles COOH plus groupes phénols OH) et les "groupes COOH" sont respectivement estimés par la méthode à la baryte et la méthode à l'acétate de calcium selon SCHNITZER et GUPTA (1965). Par différence entre "l'acidité totale" et les "groupes COOH" on obtient les "groupes phénols".

(*) Nous utilisons ici les termes - acides hymatomélaniques - pour rappeler qu'il s'agit d'une fraction soluble dans une solution alcoolique, alors, qu'en toute rigueur, ce terme est réservé à la seule fraction des acides humiques soluble dans l'éthanol.

Les "groupes hydroxyiles totaux" (groupes alcools OH plus groupes phénols OH) sont déterminés par acétylation suivie d'une saponification des acétates et distillation puis titration de l'acide acétique libéré selon la méthode décrite par SCHNITZER et KHAN (1972) (*). Par différence entre les "groupes hydroxyiles totaux" et les "groupes phénols" on obtient les "groupes alcools".

Les "groupes carbonyles" (groupes C=O) sont dosés par oximation selon FRITZ et al (1959). La méthode a été adaptée aux composés humiques par SCHNITZER et SKINNER (1966) (**).

Les groupes méthoxyles, faiblement représentés dans les acides humiques, n'ont pas été dosés.

2.4.3. Spectres infrarouges visibles de ultraviolets des acides humiques

Les spectres IR (***) sont enregistrés en pastilles du KBr sur un spectromètre BECKMAN.

La teneur en acides humiques des pastilles est de 0,5 %. Les pastilles sont séchées pendant 1 heure à 110° avant l'enregistrement.

Pour les spectres visibles, 25 mg d'acides humiques (soit environ 12.5 mg de carbone) sont dissous dans 100 ml d'une solution de bicarbonate de sodium 0.02 N selon KONONOVA (1961), ou dans une solution de soude 0.05 N selon FILIP et al. (1976). Les enregistrements sont effectués entre 400 et 700 nm dans une cuve de 0.5 cm d'épaisseur. On mesure les densités optiques à 465 et 665 nm. Le rapport de ces deux valeurs est une caractéristique des acides humiques et est symbolisé par l'expression E₄/E₆.

Les solutions précédentes sont diluées dix fois pour l'enregistrement dans l'ultraviolet (entre 340 et 200 nm).

Les spectres ultraviolets et visibles (***) sont enregistrés sur un spectrophotomètre BECKMAN Modèle "25".

(*) Nous avons augmenté le temps de chauffage de l'acétylation (100°, 6 h) et celui de la saponification (ébullition à reflux, 5 h) par rapport à la méthode citée.

(**) Après divers essais, nous avons légèrement modifié la méthode décrite par SCHNITZER et SKINNER (1966) en augmentant le temps réactionnel (3 h au lieu de 15 mn) et en opérant à température ambiante (22 à 25°) au lieu du bain-marie.

(***) Nous remercions Mr. H. PINTA et Mlle G. FUSIL (SSC ORSTOM-BONDY) pour l'enregistrement des spectres infrarouges et Mr. BALDENSPERGER (Laboratoire de Biologie des Sols, ORSTOM, DAKAR) pour celui des spectres visibles et ultraviolets.

3 - RESULTATS

3.1. Activité biologique globale

3.1.1. Etude du carbone facilement minéralisable

Les courbes sont présentées sur la figure 1 et les résultats détaillés peuvent être consultés en annexe.

On observe que :

- globalement, la décomposition est plus importante pour les sols sous cultures que pour celui sous forêt ;
- les cinétiques de décomposition sont identiques les premiers jours pour les sols cultivés mais se différencient nettement ensuite, la pente de la partie rectiligne de la courbe 2 ans devenant à peu près égale à celle du témoin-forêt.

La mise en culture accélère donc la biodégradabilité de la matière organique. Toutefois, cette augmentation de la vitesse de décomposition n'est que de très courte durée pour le traitement 2 ans alors qu'elle reste notable pour la culture de 3 ans, même en fin d'expérience.

En conséquence, la chute des teneurs en carbone les premières années de mise en culture n'est pas liée seulement à la non restitution des résidus végétaux, mais aussi à une augmentation de la biodégradabilité de la matière organique. Ce phénomène est déjà décélable la deuxième année de culture et se confirme la troisième année.

Les études antérieures, effectuées sur ce sujet au Sénégal, confirment ces observations. Nous citerons, pour la région des Terres-Neuves, le travail de DOMMERMUES (1956) sur les sols de Boulel, et, pour les sols de Sefa en Casamance, les études de DOMMERMUES (1956), MOUREAUX (1965) et FAUCK et al (1969). Pratiquement, dans tous les cas, la minéralisation de carbone (en % du carbone total) est plus élevée pour les sols cultivés que pour le témoin-forêt. (*)

3.1.2. Etude du pouvoir nitrificateur du sol

Ont été étudiés les traitements forêt et 2 ans dont les résultats sont présentés dans le tableau 1. Seules sont portées les valeurs extrêmes à t = 0 et t = 9 semaines (entre ces deux points la progression est régulière et un palier est atteint vers 7 semaines).

TABLEAU 1

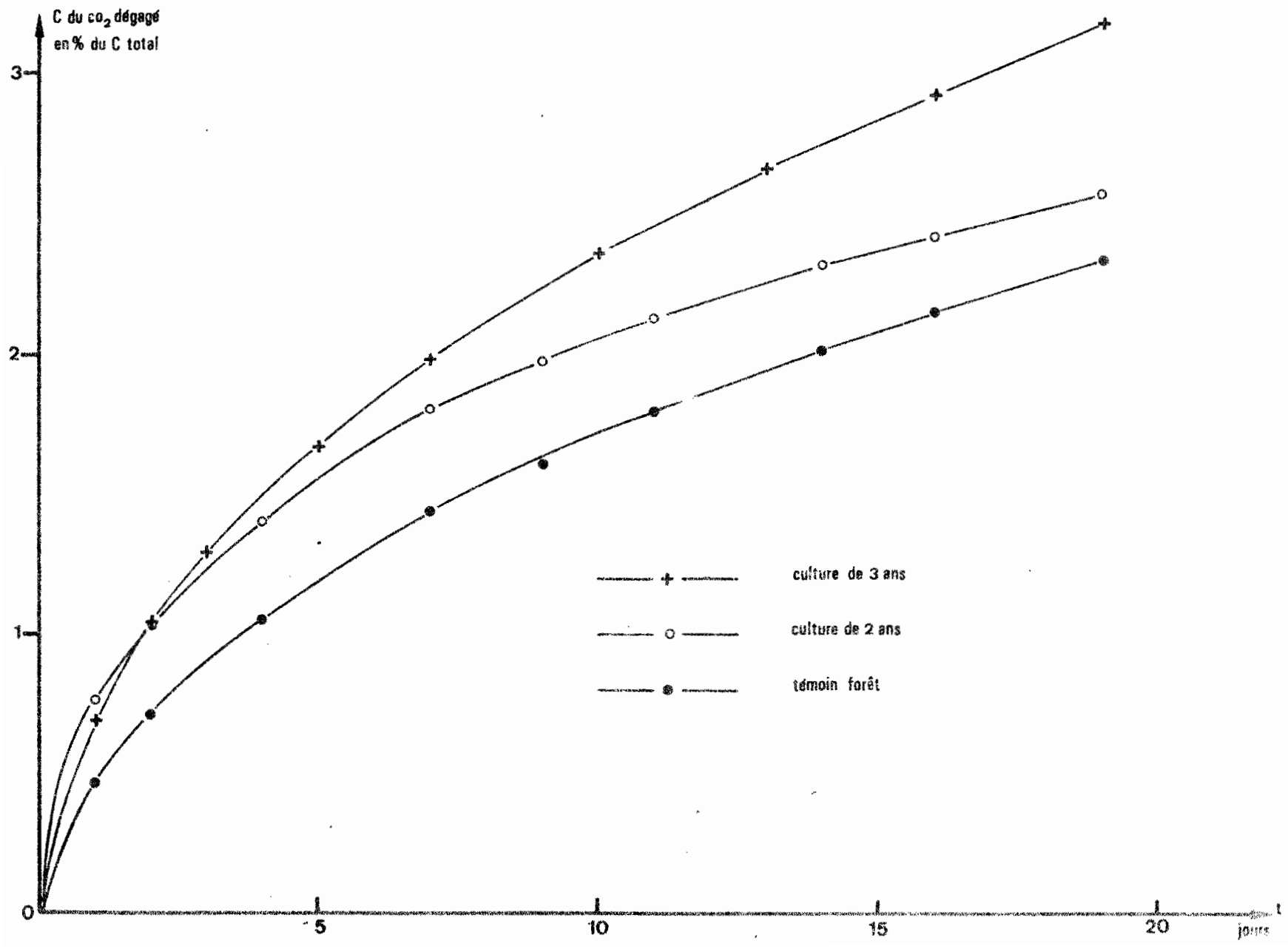
	ppm N $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$		% N $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ par rapport à N total	
	t = 0	t = 9 semaines	t = 0	t = 9 semaines
Forêt	6,0	32	1,4	7,3
Culture de 2 ans	5,6	26	1,6	7,2

La nitrification est faible dans ces sols.

Elle diminue avec la mise en culture, mais, si les valeurs sont exprimées en pourcents de l'azote total, on note, alors, peu de différence entre les deux traitements. Aucun effet spécifique dû à la mise en culture ne s'observe donc sur les processus de nitrification.

(*) La seule exception est celle des "sols rouges" de Sefa, et ce, uniquement après quinze années de culture. Le coefficient de minéralisation du carbone est alors plus élevé sous forêt que sous culture. Tel n'était pas le cas pour les prélèvements à la cinquième (DOMMERMUES 1956) et onzième année de culture (MOUREAUX 1965). Les "sols beiges", eux, suivent la règle générale.

FIG. 1 _ ÉTUDE DU CARBONE FACILEMENT MINÉRALISABLE



3.2. Les différentes formes d'azote

Le fractionnement a eu lieu sur le sol total et sur le sol débarrassé des matières légères (résidu de sol après séparation densimétrique) afin de vérifier si des transformations peuvent affecter spécifiquement les fractions organiques libres ou liées.

Les résultats sont portés dans le tableau 2

TABLEAU 2

(*)	Forêt		Culture de 2 ans		Culture de 3 ans	
	avec ML	sans ML	avec ML	sans ML	avec ML	sans ML
N ammoniacal %	22.0	22.6	23.9	23.3	20.1	23.0
N animé %	52.6	50.7	48.7	48.7	54.2	51.7
N insoluble %	25.4	26.7	27.4	27.9	25.7	25.3
(*) avec ML = dosage sur sol total sans ML = dosage sur sol débarrassé des matières légères						

L'azote animé représente environ 50 % de l'azote total, l'azote ammoniacal 23 % et l'azote insoluble 26 %.

Les variations sont faibles et certainement non significatives aussi bien entre les différents traitements (forêt, cultures), qu'entre les dosages avec ou sans matières légères. Sur une période de 3 ans, la mise en culture ne modifie donc pas la proportion relative des différentes formes d'azote.

3.3. Le fractionnement de la matière organique

Nous rappelons que les résultats sont exprimés en pourcents du carbone total. Ils sont présentés sur le figure 2 et les valeurs détaillées peuvent être consultées en annexe.

Les variations sont faibles, sauf pour les acides fulviques et le rapport AH/AF, et représentent des tendances plutôt que des différences significatives. Il ressort que :

- les acides hymatomélaniques augmentent avec la mise en culture ;
- matières humiques totales et acides fulviques d'une part, humine et acides humiques d'autre part ont des courbes de variation similaires ;
- le rapport AH/AF passe par un minimum nettement marqué à la période de 2 ans mais reste à une valeur inférieure à celle du témoin-forêt pour la culture de 3 ans.

Sous l'influence du défrichement et de la mise en culture, on assiste donc à la transformation d'une fraction des acides humiques et de l'humine en acides fulviques et, peut-être, hymatomélaniques. Cet effet, nettement marqué pour le traitement 2 ans, l'est beaucoup moins pour la culture de 3 ans.

Sur les sols de Sefa, après quinze années de culture, FAUCK et al (1969) notaient aussi une diminution notable du rapport AH/AF par rapport au témoin.-forêt.

FIG.3 _ ÉVOLUTION DES GROUPES FONCTIONNELS DES ACIDES HUMIQUES EN FONCTION DE L'ÂGE DU DÉFRICHEMENT

les traits verticaux en pointillés représentent l'intervalle de confiance de la mesure

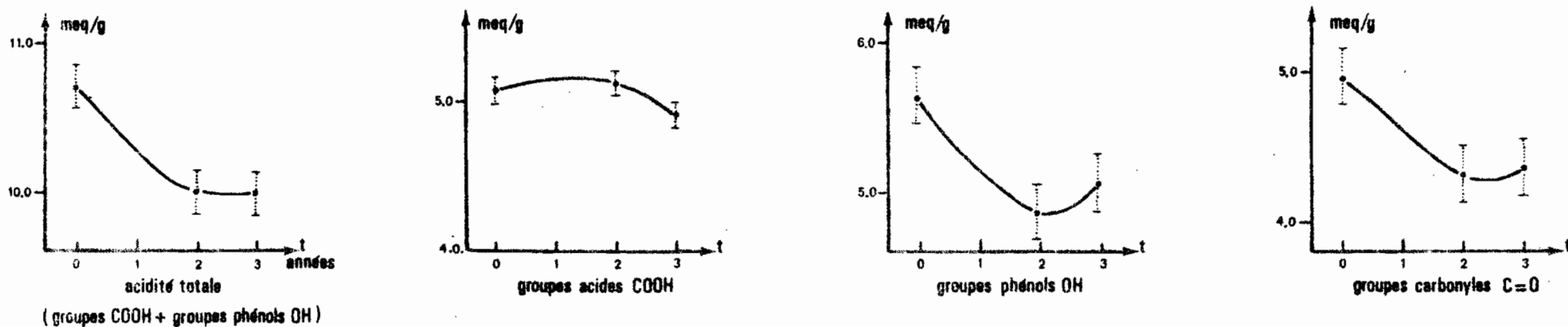
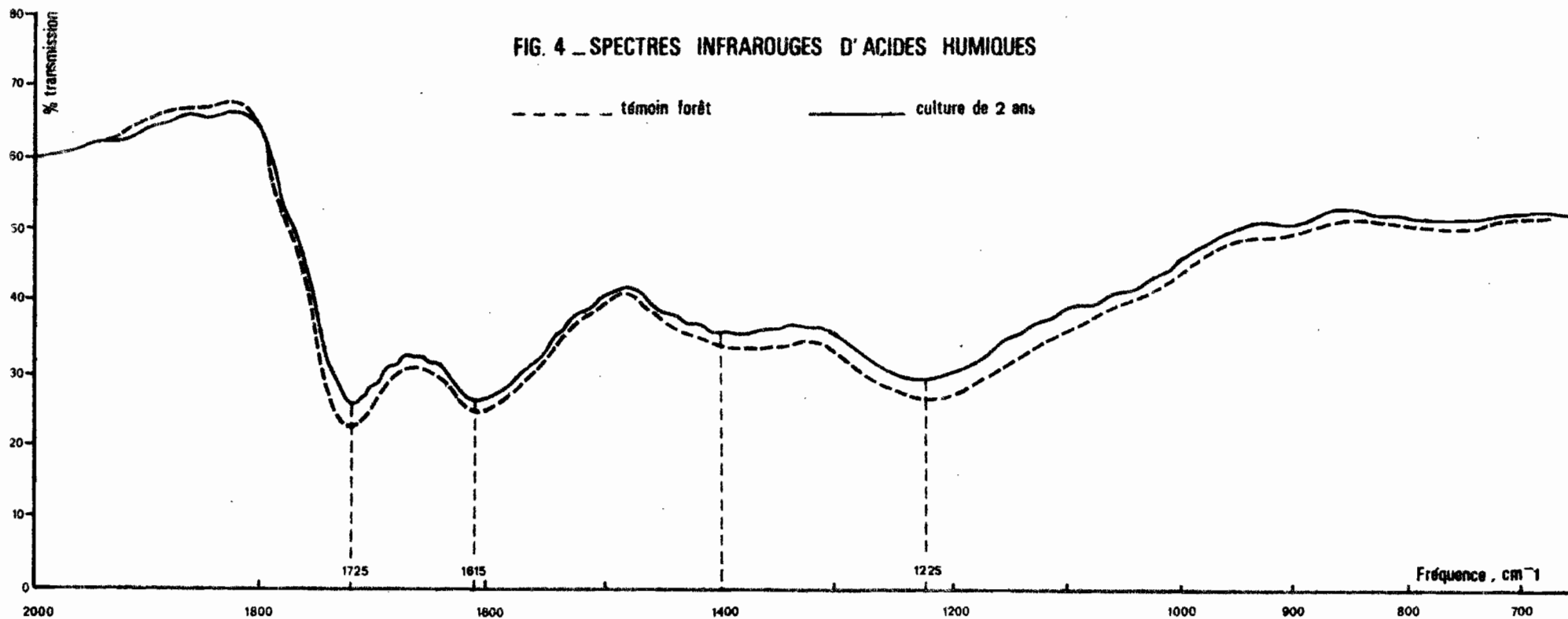


FIG. 4 _ SPECTRES INFRAROUGES D'ACIDES HUMIQUES



3.4.1. Etude des groupes fonctionnels

Les résultats sont présentés sur la figure 3, les valeurs détaillées peuvent être consultées en annexe.

Avec la mise en culture, on observe une diminution de l'acidité totale, des groupes phénols OH et des groupes carbonyles C = O. Les groupes acides COOH restant à peu près constants, la diminution de l'acidité totale est due essentiellement à celle des groupes phénols.

Malgré divers essais, et pour une raison encore non élucidée, les teneurs en groupes hydroxyles totaux (groupes hydroxyles phénoliques et alcooliques) sont inférieures à celles déterminées pour les seuls groupes phénols, et ne seront donc pas prises en considération ici.

3.4.2. Etude spectroscopique

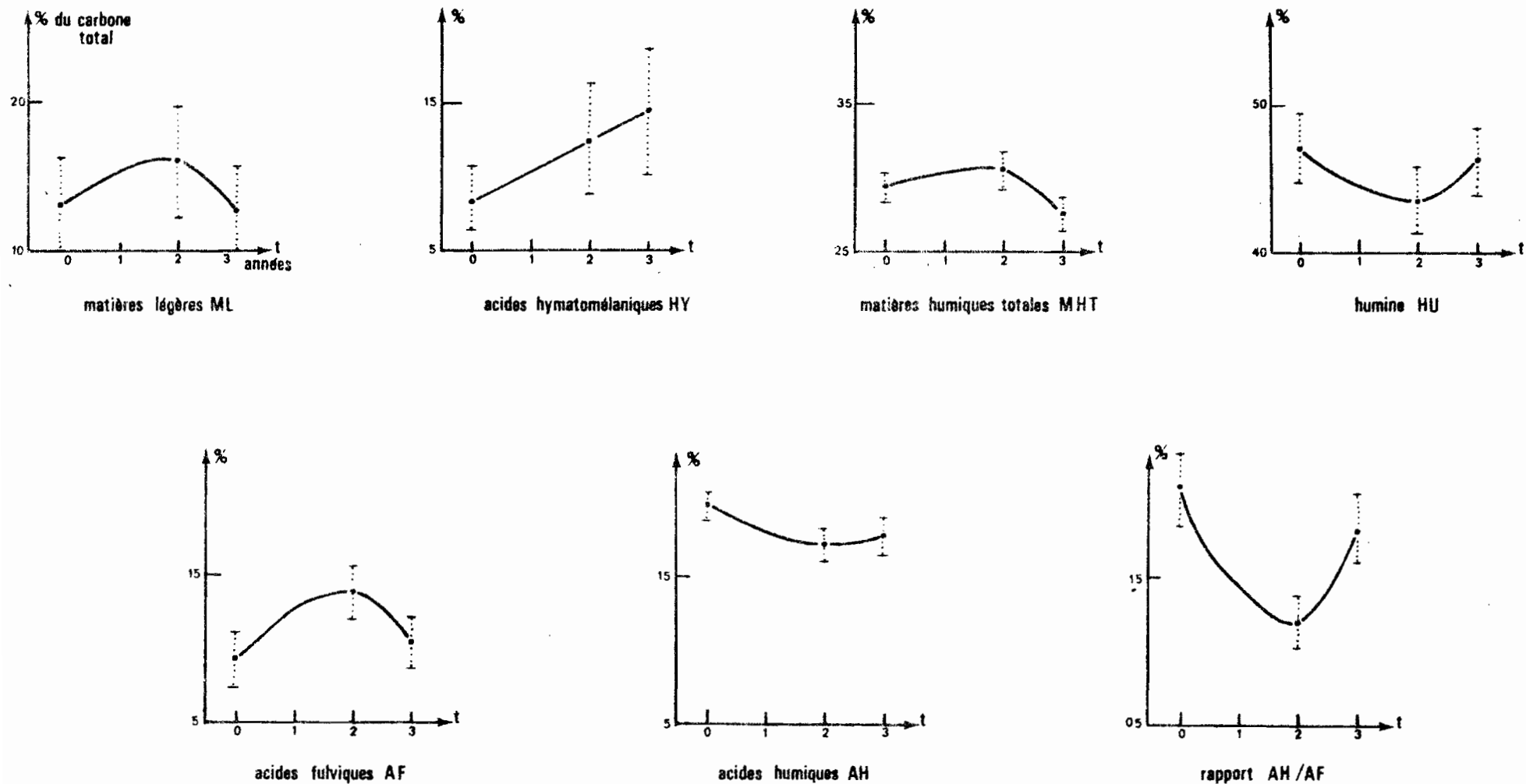
a) Spectres infrarouges

Ont été enregistrés les spectres infrarouges des acides humiques des traitements forêt et culture de 2 ans. Les principales bandes observées, et leur attribution probable, sont présentées dans le tableau 3. Les spectres sont peu résolus et pratiquement semblables. Seules quelques légères différences apparaissent dans la région 1000 - 1800 cm^{-1} (v. fig. 4).

TABLEAU 3 - Attribution des principales bandes d'absorption infrarouge des acides humiques des sols sous forêt et sous culture de 2 ans de la région des Terres-Neuves (Sénégal Oriental).

F O R E T			CULTURE DE 2 ANS
Fréquence cm^{-1}	Intensité observée	Attribution (*)	
3420	F, l,	Liaisons OH de : • l'eau d'hydratation • des alcools et phénols • Liaisons intermoléculaires	idem
2920	fa	Liaisons C-H aliphatiques	idem
1725	F	Groupements C=O (non conjugués) des cétones et aldéhydes et des acides carboxyliques.	légèrement plus faible
1615	F	Ion carboxylate COO^- , groupements C = O (conjugués) de cétones, doubles liaisons C=C conjuguées avec liaisons C = O	idem
1390	fa	Liaisons C-O de phénols ou d'alcools tertiaires, ion carboxylate COO^-	idem
1225	F, l,	Liaisons C-O de phénols, esters et éthers Liaisons OH de COOH	légèrement plus faible
1050	épaulement	Liaison Si-O-Si des silicates	idem
Abréviations : F = Fort, l = large fa = faible.			

(*) Selon SCHNITZER et KHAN (1972), FLAIG et al. (1975), DYER (1970).



les traits verticaux en pointillés représentent l'intervalle de confiance de la mesure

FIG. 2 — ÉVOLUTION DES DIFFÉRENTES FRACTIONS DE LA MATIÈRE ORGANIQUE EN FONCTION DE L'AGE DU DÉFRICHEMENT

Ainsi, les bandes à 1725 cm^{-1} (vibration de valence des cétones saturées et des acides) et à 1225 cm^{-1} (vibration de valence des liaisons C-O des phénols, acides, esters) présentent des intensités plus faibles pour la culture de 2 ans que pour le témoin forêt. Bien que l'on ne puisse attribuer une valeur significative à ces différences (faibles variations, aucune répétition), celles-ci sont tout de même en accord avec les variations observées entre les traitements pour le dosage des groupes fonctionnels (diminution des groupes phénols et carboxyles après deux années de culture). Selon des études de FLAIG et al. (1955), les diminutions des intensités des bandes à 1725 et 1225 cm^{-1} correspondraient à un enrichissement en acides humiques gris.

b) Spectres visibles

Les spectres sont présentés sur la figure 3 et les rapports E_4/E_6 apparaissent dans le tableau 4.

TABLEAU 4

	En solution dans NaHCO_3 0,02 N			En solution dans NaOH 0,05 N		
	Forêt	Culture de 2 ans	Culture de 3 ans	Forêt	Culture de 2 ans	Culture de 3 ans
E_4/E_6	4,16	4,16	4,26	6,94	6,94	8,42
pH	12,3	12,4	12,4	7,75	7,65	7,75

L'absorption dans l'ultraviolet et le visible est fonction des concentrations des solutions. Toutefois pour une substance donnée, le rapport E_4/E_6 est indépendant de la concentration.

Il est admis que ce rapport est un indice de l'intensité de l'humification (v. par ex. KONONOVA 1961 et les revues bibliographiques de SCHNITZER et KHAN 1972, FLAIG et al. 1975), les composés les plus humifiés étant caractérisés par des rapports E_4/E_6 faibles. Certains auteurs préconisent l'étude des spectres à pH 7.0 (KONONOVA, 1961) d'autres à pH 12.0 (FILIP et al. 1976).

Le traitement 3 ans se différencie nettement du témoin forêt et de la culture de 2 ans qui sont strictement semblables. Les effets sont surtout marqués à pH 12,4, alors qu'ils le sont très peu à pH 7,7 (v. tableau 4). Le rapport E_4/E_6 augmentant à la troisième année de culture, on assisterait donc à une dépolymérisation des acides humiques. Ces résultats paraissent contradictoires avec ceux de l'étude infra-rouge.

c) Spectres ultraviolets

Ces spectres, représentés à titre indicatif, n'apportent aucune information supplémentaire à cette étude mais confirment le comportement spectral particulier des acides humiques des sols cultivés depuis 3 ans.

4 - DISCUSSION ET CONCLUSIONS

Le premier point méritant d'être souligné est l'absence de variabilité relative de la fraction azotée (tout au moins sur les analyses effectuées), entre les différents traitements.

Il n'en est pas de même pour les pôles "carboné" et "oxygéné" de la matière organique, des tendances évolutives se dessinant dès les premières années de mise en valeur.

FIG. 5 - SPECTRES VISIBLES D'ACIDES HUMIQUES

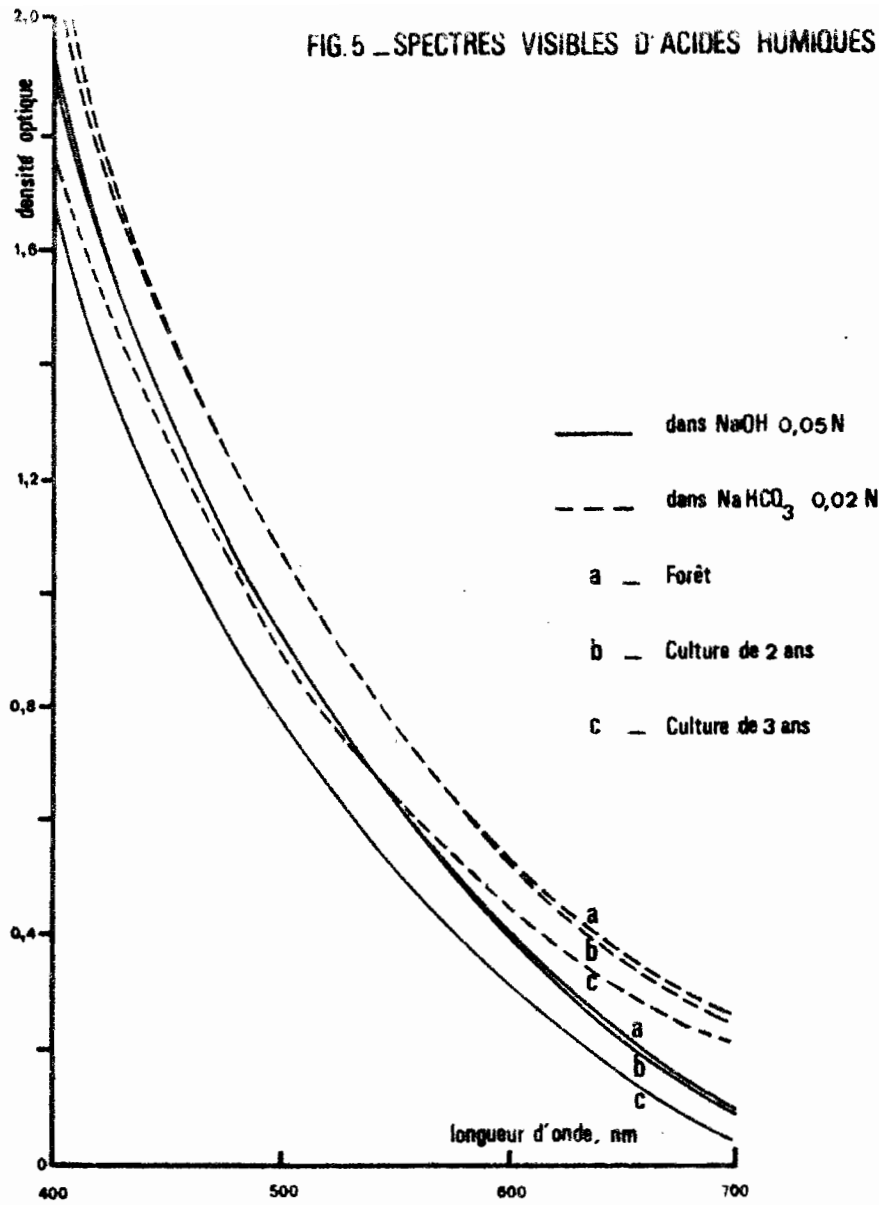
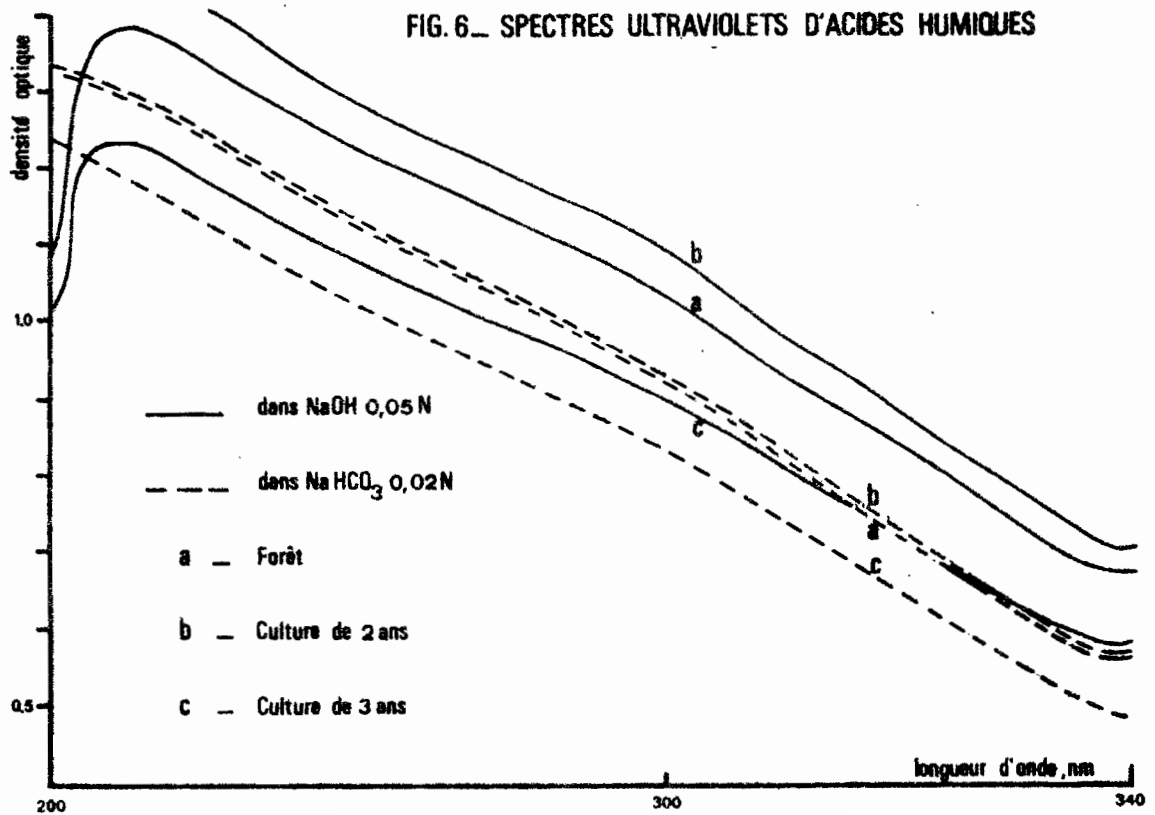


FIG. 6 - SPECTRES ULTRAVIOLETS D'ACIDES HUMIQUES



L'apparition, avec la mise en culture, de composés très facilement biodégradables (v. fig. 3) va de pair avec une dépolymérisation des composés humiques, puisqu'on observe une diminution relative des acides humiques et de l'humine, au profit des acides fulviques et **hymatomélaniques**, surtout en deuxième année.

Bien que les variations ne soient pas spectaculaires, la caractérisation des acides humiques nous a permis de constater une diminution de l'acidité d'échange (en particulier de l'acidité phénolique), et des groupes carbonyles C = O, avec la mise en culture. TURENNE (1969) étudiant les caractéristiques des sols de Guyane, note que le défrichement diminue nettement les possibilités d'échange de la matière organique, et favorise une évolution des acides humiques vers les composés les plus polymérisés.

Les données de la littérature montrent que les teneurs en groupes fonctionnels, ainsi que l'intensité des bandes I.R. dans les régions 1720 et 1220 cm⁻¹, diminuent quand augmente la polymérisation (v. par ex. dans SCHNITZER et KHAN 1972, p. 38 et 71, la comparaison des groupes fonctionnels et des spectres infrarouges d'acides humiques et fulviques). Au sein des acides humiques, le passage des acides humiques bruns aux acides humiques gris s'opère de la même façon (FLAIG et al. 1955 et FLAIG 1970). A ce sujet, les résultats que nous obtenons dans notre étude sont ambigus, puisque la diminution des groupes fonctionnels avec la mise en culture s'accorde bien avec une polymérisation plus poussée des acides humiques, alors que l'augmentation du rapport E₄/E₆ semble indiquer un effet inverse. En l'absence de fractionnement par électrophorèse ou gel "sephadex" il apparaît difficile de préciser la tendance évolutive au sein des acides humiques.

Enfin, en relation avec la diminution de la stabilité structurale (v.1ère partie) il faut noter l'augmentation relative des acides fulviques. Nous rejoignons là les observations de COMBEAU et QUANTIN (1964) et de FAUCK et al. (1969). Par ailleurs, DELL'AGNOLA et FERRARI, comparant des sols vierges et cultivés, ont montré que la stabilité structurale diminuait avec la mise en culture, que les agrégats les plus stables étaient riches en molécules humiques de poids moléculaires apparents supérieurs à 100.000, ces dernières étant caractérisées par un rapport groupes phénols/groupes COOH élevés. Selon ces auteurs, les groupes phénols apparaissent donc comme un facteur décisif de stabilisation des agrégats par les acides humiques du sol. Les premiers résultats de notre étude sur les sols de défriche récente confirment ces observations (v. tableau 5).

TABLEAU 5

	Forêt	Culture de 2 ans
Is	1,25	1,68
AF %	9,5	13,9
Rapport $\frac{\text{Groupes phénols}}{\text{Groupes COOH}}$	1,12	0,95

Avec le défrichement et la mise en culture, se dessine donc une évolution qualitative de la matière organique qui confirme les variations quantitatives décrites dans la première partie de ce travail.

D - CONCLUSIONS GENERALES

Le défrichement et 3 années de mise en culture peu intensive, sans restitution de matière organique, sont suffisantes pour abaisser le potentiel de fertilité des sols ferrugineux tropicaux lessivés de plateau de la région des Terres-Neuves (Sénégal Oriental).

A côté du travail superficiel du sol qui modifie certaines propriétés physiques de surface (densité apparente, porosité structurale) la matière organique apparaît comme facteur déterminant dans le processus d'évolution de ces sols (v.1ère partie).

L'absence ou la très faible restitution de résidus végétaux dans les sols cultivés modifie profondément l'équilibre organique existant sous végétation naturelle, en entraînant la diminution du stock organique, de la capacité d'échange, et de la stabilité structurale.

Qui plus est, le dynamique de l'humification semble accentuer ces processus, puisqu'on note une augmentation de la sensibilité à la biodégradation de la matière organique due, en partie, au passage d'une fraction des formes organiques les plus stables (acides humiques et humine) vers des composés moins polymérisés (acides fulviques et composés solubles dans les solutions éthanol-bromoforme).

Parallèlement, les composés les plus stables (acides humiques) voient leur acidité d'échange diminuer par pertes de groupements hydroxyles phénoliques et participent ainsi à la chute de la capacité d'échange globale. Par ailleurs, la variation observée pour les groupes carbonyles $C = O$, entre le témoin forêt et les sols cultivés, confirme que des transformations chimiques relativement importantes affectent ces composés.

Enfin, la diminution de la stabilité structurale n'est peut-être pas liée uniquement à la variation quantitative du stock organique, mais aussi aux nouvelles caractéristiques des composés humiques apparus, telles que l'augmentation relative des acides fulviques et la diminution des groupes phénols des acides humiques.

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

- COMBEAU (A.) et QUANTIN (P.) - 1964 - Observations sur les relations entre stabilité structurale et matière organique dans quelques sols d'Afrique Centrale. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., V l. II, n° 1.
- DECAU (J.) - 1968 - Contribution à l'étude de l'influence des conditions de milieu sur la répartition de l'azote dans le sol. I. - Principales formes d'azote obtenues par hydrolyse. Ann. Agron., Vol. 19, n° 6, pp. 653-683.
- DELL'AGNOLA (G.) et FERRARI (G.) - 1971 - Molecular sizes and functional groups of humic substances extracted by 0,1 M pyrophosphate from soil aggregates of different stability. J. of Soil Science, Vol. 22, n° 3, pp. 342-349.
- DOMMERMUES (Y.) - 1956 - Etude de la biologie des sols des forêts tropicales sèches et de leur évolution après défrichement. 6è congr. de Sciences du sol, Paris, Vol. 5, n° 98, pp. 603-610.
- DOMMERMUES (Y.) - 1960 - La notion de coefficient de minéralisation du carbone dans les sols. L'Agron. Trop., Vol. XV, n° 1, pp. 54-60.
- FAUCK (R.), MOUREAUX (C.), THOMANN (C.) - 1969 - Bilan de l'évolution des sols à Séfa (Casamance, Sénégal) après quinze années de culture continue. L'Agron. Trop., Vol. XXIV, n° 3, pp. 263-301.
- FILIP (Z.), SEMOTAN (J.), KUTILEK (M.) - 1976 - Thermal and spectrophotometric analysis of some fungal melanins and soil humic compounds. Geoderma, Vol. 15, pp. 131-142.
- FLAIG (W.) - 1970 - Contribution à la connaissance de la constitution et de la synthèse des acides humiques. Science du sol, Vol. 2, pp. 39-72.
- FLAIG (W.), BEUTELSPACHER (H.), RIETZ (E.) - 1975 - Chemical composition and physical properties of humic substances. In Soil Components, Vol. 1, Organic components, Ed. J.E. GIESEKING, Springer Verlag., 534 p.
- FLAIG (W.), SCHEFFER (F.), KLAMROTH (B.) - 1955 - Zur kenntnis des Hüminsäuren -8- Zur Charakterisierung des Bodens. Z. Pflanzenenähr. Düng. Bodenk. Vol. 71, pp. 33-37.
- FRITZ (J.S.), YAMAMURA (S.S.), BRADFORD (F.C.) - 1959 - Determination of carbonyl compounds. Anal. Chem., Vol. 31, n° 2, pp. 260-262.

- KONONOVA (M.M.) - 1961 - Soil organic matter, its nature, its role in soil formation and in soil fertility. Pergamon Press Ltd., 450 p.
- MOUREAUX (C.) - 1965 - Glycolyse et activité microbiologique globale en divers sols ouest-africains. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., Vol. V, n° 1, pp. 103-113.
- SCHNITZER (M.), GUPTA (U.C.) - 1965 - Determination of acidity in soil organic matter. Soil Sci. Soc. Amer. Proceed., Vol. 29, n° 3, pp. 274-277.
- SCHNITZER (M.) et KHAN (S.U.) - 1972 - Humic substances in the environment. Marcel Dekker, Inc., N.Y., 327 p.
- SCHNITZER (M.) et SKINNER (S.I.M.) - 1966 - A polarographic method for the determination of carbonyl groups in soil humic compounds. Soil Sci., Vol. 101, n° 2, pp. 120-124.
- TURENNE (F.) - 1969 - Déforestation et préparation du sol par brûlis. Modifications des caractères physico-chimiques de l'horizon supérieur du sol. 7è congrès caribéen Food Crops Society, Martinique-Guadeloupe 26/6 - 4/7/1969, rapp. multigr. Centre ORSTOM, Cayenne, 8 p.

1 - MESURE DU DEGAGEMENT DE CO₂

t jours	C du CO ₂ dégagé en % du carbone total		
	Forêt	Culture de 2 ans	Culture de 3 ans
1	0.47	0.76	0.69
2	0.71	1.02	1.04
3			1.29
4	1.04	1.40	
5			1.66
7	1.43	1.81	1.98
9	1.60	1.97	
10			2.36
11	1.80	2.13	
13			2.66
14	2.02	2.31	
16	2.15	2.41	2.92
19	2.33	2.57	3.18

2 - FRACTIONNEMENT DE LA MATIERE ORGANIQUE (en pourcents du carbone total)

	ML	HY	MHT	HU	Total	AH	AF	AH/AF
Forêt	13,1	8,5	29,3	47,2	98,1	19,8	9,5	2,11
Culture de 2 ans	16,4	12,8	31,0	43,6	103,6	17,1	13,9	1,23
Culture de 3 ans	12,7	14,7	27,4	46,5	101,3	17,7	9,7	1,82

3 - DOSAGE DES GROUPES FONCTIONNELS DES ACIDES HUMIQUES

	Acidité totale meq/g	Groupes acides COOH meq/g	Groupes phénols OH meq/g	Groupes carbonyles C=O meq/g	Groupes hydroxyles totaux meq/g
Forêt	10.7	5.1	5.65	5.0	4.1
Culture de 2 ans	10.0	5.1	4.9	4.3	3.9
Culture de 3 ans	10.0	4.9	5.1	4.4	4.05