

Les caractéristiques physico-chimiques des sols ferrallitiques jaunes du Woleu-Ntem (Gabon)

Dominique MARTIN

Pédologue O.R.S.T.O.M., S.S.C. de l'O.R.S.T.O.M., 70-74, Route d'Aulnay, 93140 Bondy

RÉSUMÉ

L'analyse statistique multivariable de nombreuses données analytiques de la partie supérieure de sols ferrallitiques typiques jaunes sous différents types de végétation permet de montrer l'importance des changements récents de celle-ci dans la différenciation observée. Au stade le plus évolué, on note en même temps un net appauvrissement granulométrique proche d'un lessivage stricto sensu et une accumulation d'éléments minéraux dans l'horizon de surface se répercutant sur le pH, la somme des bases échangeables et les rapports S/T et Mg/Ca. Une tentative d'explication est proposée pour ces deux processus apparemment contradictoires.

ABSTRACT

THE PHYSICO-CHEMICAL CHARACTERISTICS OF THE YELLOW FERRALLITIC SOILS IN WOLEU-NTEM (GABON)

The multivariate statistical analysis of numerous analytic data about the upper part of typical yellow ferrallitic soils under different types of vegetation allows to show its significant recent changes in the differentiation observed. At the highest level, it is observed at the same time a considerable impoverishment of the texture which is similar to a leaching stricto-sensu and a deposit of mineral elements in the surface horizon which have an influence on the pH, the sum of the exchangeable bases and the ratios S/T and Mg/Ca. An attempt is made to account for these two processes which seem to be contradictory.

1. INTRODUCTION

Une série d'études à buts essentiellement appliqués (amélioration et extension de la culture cacaoyère : MARIUS, 1969 à 1971, MARTIN, 1977) a permis d'avoir une certaine connaissance des caractéristiques physico-chimiques des deux premiers mètres de sols ferrallitiques jaunes du Woleu-Ntem (Gabon.) Dès 1954, AUBERT avait signalé certaines caractéristiques granulométriques des horizons supérieurs de quelques profils, ce qui fut confirmé par BRUGIÈRE (1957) et CHATELIN (1960).

Le présent article traite l'ensemble des caractéristiques physico-chimiques de ces sols et complète ainsi l'étude de MULLER (1982) sur leur morphogenèse. Les variations importantes observées à partir des

sols sous la végétation forestière climacique semblent liées à l'occupation et à l'utilisation humaine et l'appauvrissement granulométrique décelé pose un problème particulier vis-à-vis du bilan des éléments minéraux de l'ensemble sols-végétation.

2. GÉNÉRALITÉS

Les généralités sur le Woleu-Ntem (fig. 1) sont résumées d'un article précédent (MARTIN, 1977) et complétées :

— le Woleu-Ntem est une surface d'aplanissement, à environ 600 m d'altitude, recouverte d'une épaisse couverture de sols ferrallitiques jaunes formés

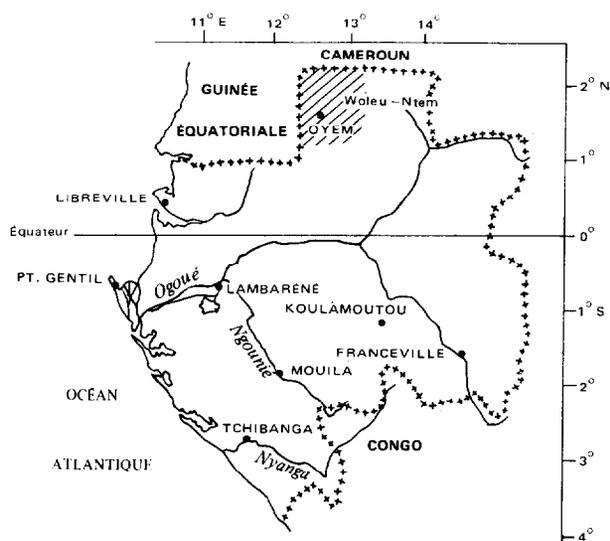


Fig. 1. — Carte de situation

à partir de roches-mères variées du socle africain à dominance de granite et de gneiss ;

— le paysage est constitué de deux genons dominants (BEAUDOU *et al.*, 1977), l'un occupant les bas-fonds (sols hydromorphes non étudiés ici) et l'autre des interfluves larges de 600 à 1500 m, à profils convexes et à dénivelées de 25 à 80 m : les sols ferrallitiques de ces interfluves paraissent à première vue très homogènes et varient peu avec la topographie ;

— le Woleu-Ntem a un climat équatorial classique à 4 saisons, caractérisé par une pluviométrie de 1500 à 1800 mm, une température de 23 à 24 °C, une évaporation de 600 mm, une insolation de 1300 à 1500 h/an ; le déficit hydrique est nul à Oyem et faible en hiver à Bitam et en été à Mitzié (fig. 2) ;

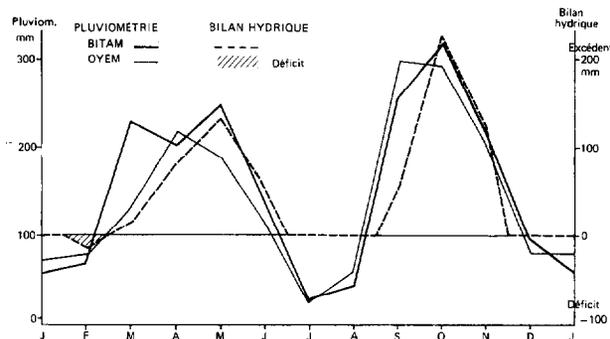


Fig. 2. — Pluviométrie. Bilan hydrique

— la végétation climacique est une forêt dense sempervirente, dont une partie a été défrichée et est actuellement utilisée à des fins agricoles sous forme de cacaoyères, champs cultivés, jachères et forêts secondaires plus ou moins anciennes : comme dans d'autres régions forestières peu peuplées (MOREAU *et al.*, 1978), il semble qu'après d'importants défrichements initiaux, ce soient actuellement les seules jachères et forêts secondaires, qui sont réutilisées aussi bien pour des plantations cacaoyères que pour des champs vivriers ;

— la densité démographique moyenne est de l'ordre de 10 hab/km² mais la densité agricole serait plus élevée, si l'on excluait les forêts intactes ;

— BALLANDIER (1955) date de 1750 l'arrivée des Fang dans le Woleu-Ntem ; il s'agit d'une population en migration, très active, et qui a fortement défriché la forêt il y a encore une centaine d'années ; cependant certains villages paraissent être permanents depuis plus de 150 ans : un à deux siècles pourraient donc être le temps d'évolution de certains sols après un premier défrichement de la forêt et une réutilisation constante, mais avec une durée de jachères inconnue ;

— rappelons que les sols étudiés sont des sols ferrallitiques fortement désaturés, jaunes, à structichron épais et induration de profondeur ; du point de vue minéralogique, ces sols sont constitués essentiellement de quartz, kaolinite, hydroxides de fer (goethite) et de très faibles quantités de gibbsite ; ces sols correspondent aux ferralsols jaunes de la légende F.A.O. et aux haplorthox de la Soil Taxonomy.

3. CARACTÉRISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES

3.1. Matériels et méthodes d'études

Les diverses études réalisées au Woleu-Ntem (MARIUS, 1969 à 1971, MARTIN, 1977) ont réuni 150 profils prélevés et analysés de façon plus ou moins homogène et sous différents types de végétation. Une première étude (MARTIN, 1977) a porté sur cinquante profils, exclusivement sous cacaoyères, et pour lesquels on disposait de trois horizons par profils. Pour la centaine d'autres profils disponibles sous forêts, cacaoyères ou jachères, seuls deux horizons, qui leur étaient communs, ont pu être utilisés : horizons A₁ et B₂. En fait le mode de prélèvements de l'horizon A₁ n'a pas été homogène pour tous les profils : pour une quinzaine d'entre eux sous forêts, ce fut l'horizon A₁₁ (3 à 5 cm d'épaisseur), qui fut prélevé, au lieu de l'horizon A₁ proprement dit (8 à 12 cm d'épaisseur) : on a tenu compte de cette particularité dans l'interprétation

des résultats. Le premier horizon B₂ étudié ici fut prélevé entre 40 et 80 cm.

Les analyses effectuées sont classiques et portent sur la granulométrie, la matière organique et humique, le pII, les bases échangeables et la capacité d'échange, le fer remplaçant la matière humique dans l'horizon B₂.

Les méthodes statistiques employées et en particulier les méthodes multivariées ont déjà été utilisées à plusieurs reprises (MARTIN, 1976 ; MARTIN et AUBRY, 1975 ; MARTIN, 1977) : corrélations de rangs, distances de rangs et regroupements en constellations. Cependant la limitation à 100 horizons ou profils, imposée par les programmes MAVT, HMVT et DKAT, a obligé à un choix parmi les 150 profils utilisables. Celui-ci s'est fait par une étude préalable selon le type de végétation et par la même méthode de regroupement en constellations. Les profils éliminés du calcul global ont été choisis parmi ceux qui restaient isolés : la plupart étaient aberrants pour l'une ou l'autre de leurs caractéristiques, écarts dus au mode de prélèvement ou à des conditions particulières de terrain ou de végétation.

3.2. Résultats globaux des analyses multivariées

Les analyses multivariées (regroupement en constellations) ont porté sur les horizons A₁, B₂ et le groupe horizons A₁+B₂. Les études antérieures sur les sols de cacaoyères (MARTIN, 1977) ont guidé dans le choix des variables.

Pour l'horizon A₁ le calcul le plus intéressant et le seul exploité a utilisé 12 variables de différents types : Argile+Limon fin, Arg A₁/Arg B₂, Carbone, Azote, Humus total, Taux d'extraction, Acide fulvique/Acide humique, pH eau, pH eau - pH KCl, Mg/Ca, Somme des B. E., Capacité d'échange.

Les 100 horizons se sont groupés en dix constellations (fig. 3 C₁₀ à C₁₉ : effectif de 2 à 20), plus 4 horizons isolés : comme on le verra dans la suite de l'exposé, le calcul sépare surtout les horizons selon le critère de l'appauvrissement granulométrique, auquel sont liées d'autres caractéristiques.

Pour l'horizon B₂, plusieurs calculs furent effectués avec divers types de variables :

-- 10 variables de différents types comme pour l'horizon A₁ : le regroupement se fait mal en 22 constellations (effectif de 2 à 9) plus 10 isolés et le calcul n'est pas interprétable ;

-- 12 variables ne portant que sur la matière organique et le complexe d'échange : le regroupement est meilleur en 17 constellations plus 14 isolés, mais l'interprétation n'est pas plus facile ;

-- 6 variables concernant la granulométrie et le fer : Argile, Argile+Limon fin, Fe libre, Fe total,

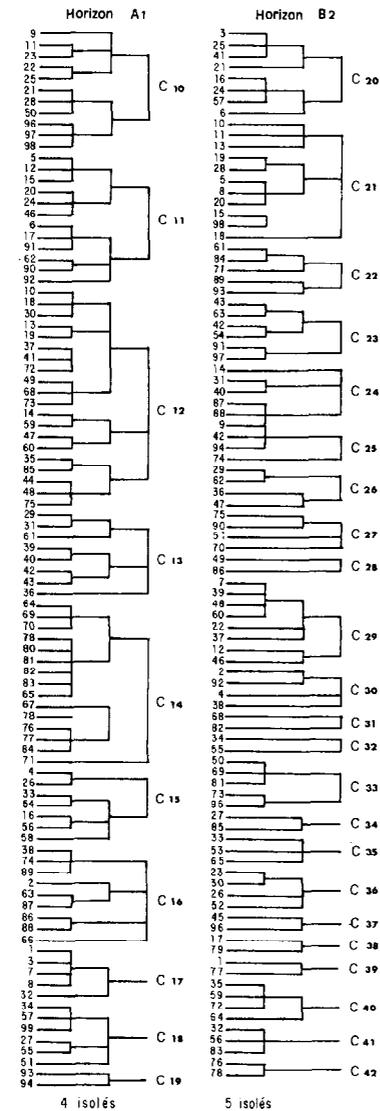


Fig. 3. — Dendrogramme de deux calculs : granulométrie : Horizon A₁ ; granulométrie et fer : Horizon B₂

Fe libre/Fe total, Fe libre/Argile ; ce calcul a permis de séparer deux types de granulométrie liés à la teneur en Fer total (fig. 3 : constellations C₂₀ à C₄₂ et fig. 4B).

En fait, pour l'horizon B₂, on obtient des résultats bien plus intéressants en utilisant les constellations de l'horizon A₁ : les moyennes ainsi calculées sont interprétables et les liaisons se font toujours en fonction de l'appauvrissement granulométrique du profil ; ces résultats ainsi que l'étude des corrélations de rangs entre horizon A₁ et horizon B₂ montrent

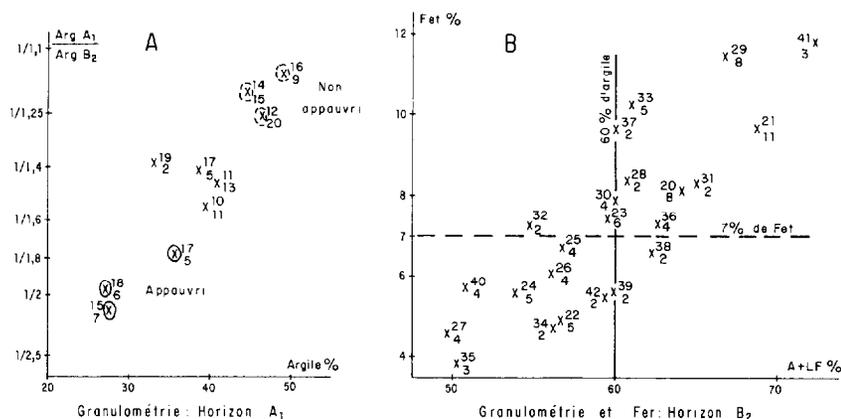


Fig. 4. — Granulométrie, Fer et Appauvrissement
(Chiffre supérieur : n° de constellation — Chiffre inférieur : effectif)

donc une liaison assez forte entre horizon A_1 et B_2 d'un même profil.

Un dernier calcul a porté sur le groupe horizon $A_1 +$ horizon B_2 , en utilisant $12 + 10 = 22$ variables de deux des calculs précédents : le regroupement se fait en 23 constellations plus 10 isolées et est donc difficile à interpréter, mais on n'a pas poursuivi les calculs en utilisant d'autres groupes de variables. On obtient cependant une bonne partition des profils en utilisant les constellations de l'horizon A_1 et le simple partage granulométrique décelé dans l'horizon B_2 .

3.3. Études des caractéristiques

3.3.1. GRANULOMÉTRIE ET FER TOTAL

Horizon A_1

Teneurs en argile et indices d'appauvrissement IA A_1 pour l'horizon A_1 sont groupés sur la fig. 4A : les 100 horizons étudiés se répartissent entre 25 et 55 % d'argile et des indices d'appauvrissement

de 1/1,05 à 1/2,9. On distingue ainsi trois catégories d'horizons (tabl. I).

On peut faire les constatations suivantes :

- la quasi-totalité (93 %) des sols sous forêts ont des horizons A_1 non appauvris ;
- les horizons appauvris sont toujours sous cacaoyères ou jachères ;
- les horizons A_1 sous cacaoyères et jachères peuvent se trouver dans toute la gamme de l'appauvrissement.

L'appauvrissement granulométrique de l'horizon A_1 , dont l'intensité variable ne présente pas de discontinuité, ne semble donc bien s'installer qu'après le défrichement de la forêt.

Horizon B_2

Pour l'horizon B_2 , considéré comme le matériau de base du profil, à partir duquel se produit l'appauvrissement de surface, on a essayé divers modes de groupement possibles pour déceler aussi bien la plus ou moins grande homogénéité de sa granulométrie

TABLEAU I

		Constellations	% par types de sols		% par type de végétation	
			Forêts	Cacaoyères et jachères	Forêts	Cacaoyères et jachères
Horizons non appauvris	Argile > 45 % IA A_1 > 1/1,33	C_{16} , C_{14} C_{12}	56	44	93	27
Horizons faiblement appauvris	Argile 35 à 45 % IA A_1 1/1,33 à 1/1,66	C_{19} , C_{13} C_{11} , C_{10}	6	94	7	43
Horizons appauvris	Argile < 35 % IA A_1 < 1/1,66	C_{17} , C_{18} C_{15}	—	100	—	30

TABLEAU II

A+LF et Fet		Profils non appauvris	Profils faiblement appauvris	Profils appauvris	Forêts	Cacaoyères et jachères
		% par type de texture de B ₂				
Hor. B ₂ très argileux	> 60 % A+LF > 7 % Fet	41	38	21	42	62
Hor. B ₂ argileux	< 60 % A+LF < 7 % Fet	51	28	21	58	38

que des liaisons avec l'appauvrissement correspondant de l'horizon A₁ ou le type de végétation :

— constellations en utilisant l'ensemble des variables disponibles, ou uniquement des variables organiques et chimiques : le nombre élevé de constellations ne permet pas de déceler de résultats intéressants ;

— constellation n'utilisant que des variables minéralogiques (Argile et Fer : dendogramme de la fig. 3) : le graphique de la fig. 4B, qui associe Argile+Limon fin et Fer total pour les 23 constellations calculées, permet de déceler deux groupes d'horizons selon les critères 60 % d'Argile+Limon fin et 7 % de Fer total ;

— graphique Argile+Limon fin et Fe total (non publié) en utilisant les constellations pour l'horizon A₁, comme il sera souvent fait usage par la suite : le résultat est à peu près identique au précédent.

Le tableau II précise la répartition des deux groupes d'horizons B₂ décelés selon l'appauvrissement correspondant de l'horizon A₁ et la végétation du profil.

On peut faire les commentaires suivants :

— l'appauvrissement granulométrique de l'horizon A₁ n'est pas lié à la teneur en argile de l'horizon B₂ et il y aurait même davantage d'horizons faiblement appauvris pour les teneurs élevées en argile, ce qui est contraire à toutes les observations faites jusqu'à présent au Gabon (MULLER, 1972) ;

— la prédominance de sols à horizons B₂ très argileux sous cacaoyères et jachères peut faire penser à un choix délibéré pour ce type de sol au moment du défrichement.

L'étude détaillée de la granulométrie permet d'arriver avec suffisamment de certitudes, aux conclusions suivantes :

— l'appauvrissement granulométrique n'a pu commencer qu'après le défrichement de la forêt climacique ;

— l'existence d'une gamme continue d'appauvrissement fait penser à un phénomène d'intensité variable dont les causes impossibles à reconstituer pratiquement, sont à chercher dans l'ancienneté du premier défrichement et la fréquence des défrichements secondaires ;

— certaines caractéristiques granulométriques de l'horizon B₂ peuvent retarder ou accélérer le processus, mais ne le provoquent pas.

3.3.2. MATIÈRE ORGANIQUE ET HUMIQUE

Horizon A₁

Les deux graphiques de la fig. 5 portent sur les caractéristiques de la matière organique de l'horizon A₁ (Carbone, Acide fulvique, C/N, AF/AH) et permettent de visualiser leurs variations selon le degré d'appauvrissement. Seuls les deux groupes de constellations les plus éloignées par la granulométrie, non appauvries (C₁₂, C₁₄ et C₁₆) et appauvries (C₁₅, C₁₇ et C₁₈), peuvent être valablement interprétées :

— le taux élevé de matière organique de la constellation C₁₄ correspond au mode de prélèvement spécial de l'horizon (horizon A₁₁ au lieu de A₁) : sous forêt, on observe donc une nette concentration de la matière organique sur les tout premiers centimètres du sol (fortes teneurs en carbone et en acide fulvique) ; il s'agit d'une matière organique à C/N élevé mais à rapport AF/AH équilibré et de couleur grise (bas chroma) ;

— les deux autres constellations (C₁₂ et C₁₆), qui contiennent une forte proportion de sols sous forêts non appauvris, ne se distinguent nettement des sols appauvris que par de plus fortes teneurs en acide fulvique et un abaissement de la teneur en acide humique (hausse du rapport AF/AH) ;

— pour les trois constellations (C₁₅, C₁₇ et C₁₈) de sols appauvris, toujours sous jachères ou cacaoyères et à mode de prélèvement identique, la seule caractéristique nettement séparée de celle

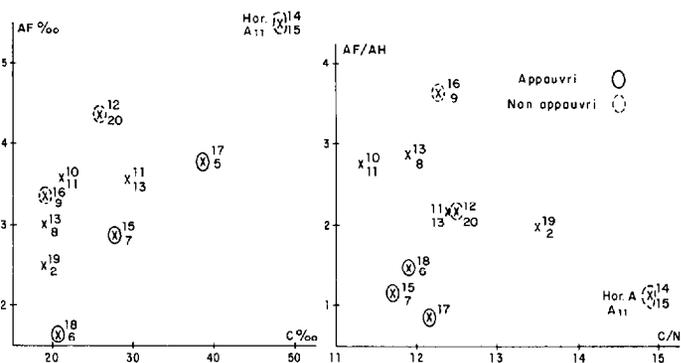


Fig. 5. — Matière organique et humique : horizon A₁
Horizon A₁. Horizon B₂

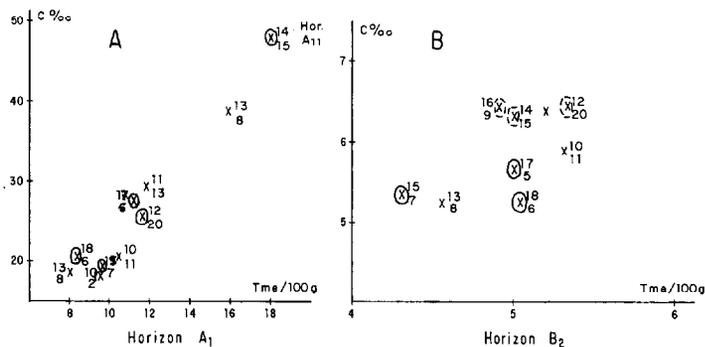


Fig. 6. — Capacité d'échange et carbone

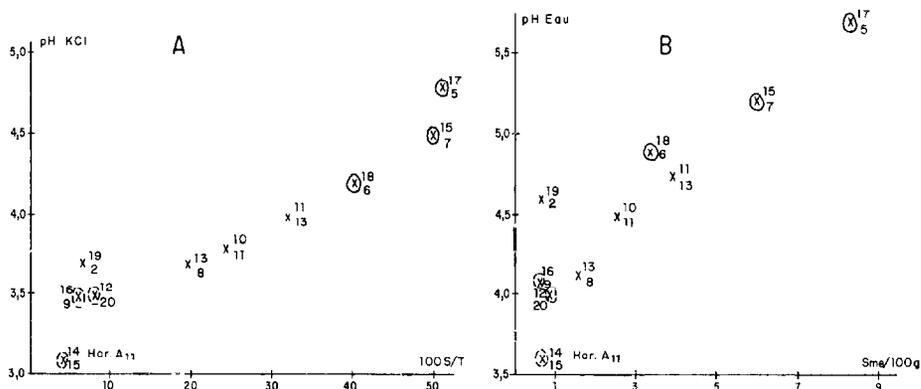


Fig. 7. — Horizon A₁ : pH, S et S/T

des sols non appauvris sous forêts est le rapport AF/AH : il s'abaisse entre 1 et 1,5 sous jachères-cacaoyères et sols appauvris contre 2 à 4 sous forêts et sols non appauvris.

Du point de vue de la matière organique de l'horizon A₁ et compte tenu des données analytiques limitées disponibles, le passage de la forêt à la jachère-cacaoyères se traduit ainsi :

— meilleure pénétration et homogénéisation (cf. MULLER, 1980) de la matière organique sur 8-12 cm au lieu d'une concentration sur 3-5 cm ;

— au moins maintien et possibilité d'une légère hausse de la quantité de matière organique de l'horizon A₁ (8 à 12 cm) ;

— baisse du rapport AF/AH, liée le plus souvent à une baisse du taux d'acide fulvique ;

— dominance des bas chroma (couleurs grises) dans tout l'horizon A₁ (8-12 cm) sous jachères-cacaoyères, alors que ceux-ci se rencontrent assez strictement dans l'horizon A₁₁ (3-5 cm) sous forêt.

Horizon B₂

Pour l'horizon B₂, on ne dispose que du seul dosage du Carbone. Les divers essais de regroupements en constellations pour l'horizon B₂, même en n'utilisant que des variables concernant la matière organique et le complexe d'échange, n'ont donné aucun résultat intéressant. Par contre, si on calcule les moyennes de teneurs en Carbone en utilisant les constellations de l'horizon A₁ donc le degré d'appauvrissement du profil, la fig. 6B permet de constater une teneur légèrement inférieure en matière organique des horizons B₂ des sols appauvris, mais la différence n'est pas significative entre les moyennes des deux groupes ($t = 1,72$ $P = 0,10$).

3.3.3. CAPACITÉ D'ÉCHANGE

La capacité d'échange de l'horizon A₁ (0 à 8-12 cm) est comprise entre 6 et 18 me/100 g, si on exclut la constellation C₁₄ (horizon A₁₁) dont la moyenne élevée de 18 me/100 g est due à une forte teneur en matière organique.

La fig. 6A concernant les variables Tmé/100 g et C^o/₁₀₀ permet également les constatations suivantes :

— les horizons A₁ de la constellation C₁₇ (5 profils appauvris sous cacaoyères) ont également une capacité d'échange élevée ;

— les autres sols, appauvris ou non, se dispersent dans toute la gamme des capacités d'échange ;

— le bon alignement des points représentatifs de toutes les constellations montre une très bonne liaison entre T et C, sans que l'on puisse attribuer un rôle au type de végétation et à l'appauvrissement :

$$T \text{ me}/100 \text{ g} = 0,28 C \text{ } \%/_{100} + 3,89 \quad r = 0,87 \quad n = 100$$

Pour l'horizon B₂, le domaine de variation de la capacité d'échange se restreint entre 4 et 6 me/100 g, sans que l'on distingue (fig. 6B) un partage entre sols appauvris et non appauvris : de plus, aucune corrélation intéressante n'est décelée aussi bien avec la matière organique ($r = 0,1$) qu'avec l'argile ($r = 0,34$).

La capacité d'échange ne semble donc pas être une caractéristique affectée par l'appauvrissement granulométrique.

3.3.4. pH, S ET S/T

Horizon A₁

L'analyse multivariable pour l'horizon A₁ sépare parfaitement sols appauvris et sols non appauvris. Les deux graphiques de la fig. 7 représentent les couples de variables pH_{kcl} et S/T et pH eau et S, pour lesquelles on note les meilleures coefficients de corrélations :

$$\text{pH}_{\text{kcl}} = 3,23 + 2,47 \text{ S/T} \quad r = 0,89 \quad n = 100$$

$$\text{pH}_{\text{eau}} = 3,85 + 0,21 \text{ S} \quad r = 0,87 \quad n = 100$$

Ces deux graphiques permettent les constatations suivantes :

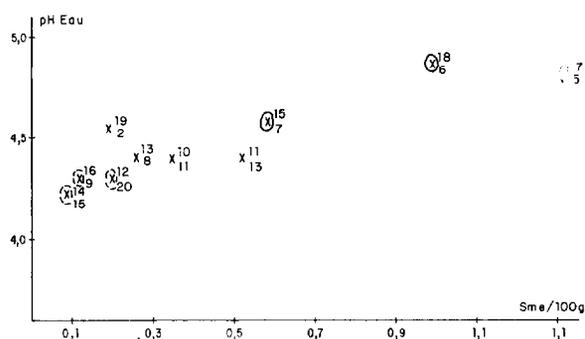
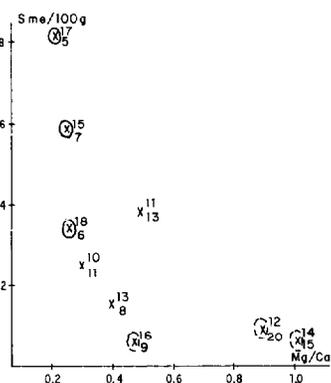
— les sols non appauvris, le plus souvent sous forêt, et en particulier ceux de la constellation C₁₄ (horizon A₁₁), ont des valeurs très basses de pH, S et S/T : des dosages de Al éch. sur quelques horizons A₁₁ ont montré des teneurs moyennes de 3 me/100 g, ce qui correspond à une faible saturation de 15 % de la capacité d'échange (Al × 100/T), mais à 80 % du total Al+S (100Al/Al+S) ; l'acidité et la désaturation sont maximums dans les tout premiers centimètres du sol ;

— les sols appauvris ont des valeurs beaucoup plus élevées pour ces trois caractéristiques, en particulier la constellation C₁₇ qui présente l'appauvrissement maximum ainsi que la plus grande richesse en matière organique : pH_{eau} = 5,7 ; S = 8,2 me/100 g et 100 S/T = 51 ;

— les autres constellations appauvries et les trois constellations intermédiaires pour la granulométrie font bien la liaison avec les sols non appauvris : une liaison apparente existe donc entre l'appauvrissement granulométrique et la saturation du complexe absorbant, mais ces deux processus sont-ils réellement liés ou sont-ils indépendants mais liés à un troisième ?

Horizon B₂

Pour l'horizon B₂ (fig. 8) le graphique S-pH_{eau} montre également un partage net entre sols appauvris et non appauvris et une variation continue entre ceux-ci. Cependant les liaisons statistiques entre les 4 variables pH_{eau}, pH_{kcl}, S et S/T sont beaucoup moins strictes que dans l'horizon A₁, puisque le

Fig. 8. — Horizon B₂ : pH et SFig. 9. — Horizon A₁ : S et Mg/Ca

meilleur coefficient de corrélation r est inférieur à 0,5. Il n'en reste pas moins que l'enrichissement en bases, qui commence dans l'horizon A₁, se transmet à l'horizon B₂.

Les quelques résultats d'Al éch. sur des horizons B₂ de sols de forêts donnent les résultats suivants :

Al éch. : 2 mé/100 g 100 Al/T : 43 100 Al/S + Al : 96
pour les caractéristiques suivantes du complexe absorbant :

pH eau : 4,2 à 4,5 pH_{Kcl} : 3,8 à 4,1
S : 0,03 à 0,11 mé/100 g 100 S/T : 1 à 2

Il est vraisemblable que ce transfert d'éléments minéraux de l'horizon A₁ vers l'horizon B₂ et de l'élimination de tout ou partie de l'Al éch., qui sature près de la moitié du complexe, prend un certain temps : d'après BOYER (1976), les expériences de chaulage en sols ferrallitiques riches en Al éch. ont montré une faible et lente pénétration des amendements calcaires en profondeur.

3.3.5. BASES ÉCHANGEABLES. RAPPORT Mg/Ca

L'étude des valeurs absolues du Ca et Mg échangeables ne donne pas beaucoup d'information supplémentaire par rapport à la somme S des bases échangeables, mais l'évolution du rapport Mg/Ca est particulièrement intéressante, toujours vis-à-vis du phénomène d'appauvrissement granulométrique (fig. 9).

Pour l'horizon A₁ les sols non appauvris sont toujours parfaitement séparés :

— sols non appauvris : rapport Mg/Ca > 0,4 et maximum de 1 pour la constellation C₁₄ (horizon A₁₁), donc déséquilibre au profit du Mg ;

— sols appauvris : Mg/Ca < 0,3 et minimum pour la constellation C₁₇, la plus appauvrie : l'équilibre Mg/Ca se rapproche plus de la normale ;

— les constellations intermédiaires pour l'appau-

vrissement forment toujours un passage continu entre les deux extrêmes.

Les modifications du rapport Mg/Ca des sols après défrichement et brûlis ont déjà été signalées à plusieurs reprises en particulier par D'HOORE (1968), qui remarque qu'ainsi ce rapport se rapproche davantage de celui que l'on trouve normalement dans la végétation forestière.

Dans l'horizon B₂ (graphique non publié), le même phénomène se retrouve mais moins nettement : les rapports Mg/Ca s'étalent entre 0,15 à 0,4 pour les sols appauvris et entre 0,3 et 0,9 pour les sols non appauvris, les constellations intermédiaires pouvant se retrouver dans l'un et l'autre groupe.

4. EXPLICATION DE LA PÉDOGENÈSE RÉCENTE

L'étude détaillée de quelques caractéristiques physico-chimiques classiques (nombre de variables limité mais nombreux points d'observation) a montré que l'appauvrissement granulométrique, bien caractérisé macromorphologiquement et analytiquement, et auquel sont liées quelques variables, n'a pu commencer qu'après le défrichement et le brûlis de la végétation forestière primitive et se poursuivre par le défrichement des jachères successives, compte tenu du mode d'exploitation du milieu par les agriculteurs locaux, mais que son intensité est variable. Quelles peuvent en être les modalités et les causes réelles ?

La simple étude synchrone menée ici, compte tenu de l'impossibilité de connaître l'histoire récente des changements de végétation au-delà de la dizaine d'années, est insuffisante pour ce faire, mais permet de faire quelques hypothèses, si l'on tient compte de données de régions voisines ou d'études sur des

problèmes identiques dans des conditions climatiques semblables ou non.

4.1. Appauvrissement et lessivage

Il a toujours été question d'appauvrissement jusqu'ici, mais un véritable lessivage, avec accumulation réelle d'argile dans un horizon B₂, n'est pas exclu dans les quelques profils les plus évolués, mais il n'a pas été observé macroscopiquement. Appauvrissement et lessivage dépendent, dans le cas étudié, du régime hydrique du sol, de la mobilité de l'argile, de la saturation du complexe absorbant et de l'état de la matière organique et surtout humique.

4.1.1. RÉGIME HYDRIQUE

Le défrichement est un « changement écologique brutal » pour SIBAND (1974) dans les forêts claires et sèches du Sénégal et *a fortiori* pour les forêts denses humides sempervirentes du Woleu-Ntem. CHAUVEL (1977) a montré que de nombreuses variables climatologiques et écologiques sont perturbées (température au sol et en profondeur, évaporation, évapotranspiration), ce qui peut modifier plus ou moins fortement le régime hydrique.

Les données disponibles récentes sur les effets d'un défrichement sont contradictoires puisqu'en Côte d'Ivoire, ROOSE (1977) fait état d'une diminution du drainage interne observé dans les parcelles cultivées, tandis que CHAUVEL (*op. cit.*) relie les défrichements généralisés des plateaux de Casamance et la remontée générale des nappes phréatiques due à une augmentation du drainage interne par diminution de l'évapotranspiration. Au Woleu-Ntem, les défrichements ou tout au moins les profils où l'on observe l'appauvrissement maximum sont situés sur les sommets aplanis des collines ou petits plateaux, qui forment l'essentiel du modelé régional : une augmentation du drainage interne n'est donc pas exclue, d'autant plus que l'organisation générale des profils en horizons se rapproche plus de celle du Sénégal que de Côte d'Ivoire.

Une telle augmentation du drainage interne n'aurait, au départ, qu'une faible influence sur le sol ferrallitique jaune, dont HUMBEL (1976) souligne la bonne porosité et perméabilité au Cameroun voisin. Mais dès le déclenchement de l'appauvrissement des modifications physiques interviennent dans l'horizon B : MULLER (1982) a observé macroscopiquement compaction et diminution de la porosité, tandis que HUMBEL les caractérisait analytiquement dans des sols très proches. Il s'ensuit un ralentissement net du drainage et HUMBEL parle d'un « domaine sub-saturé » pendant certaines périodes

de l'année sans présence obligatoire d'une véritable nappe temporaire perchée. L'évolution peut aller jusqu'à l'apparition de taches d'hydromorphie observées au Gabon et également notées par HUMBEL au Cameroun dans les zones défrichées et cultivées à relief aplani.

4.1.2. MOBILITÉ DE L'ARGILE

Une étude micromorphologique récente de sols ferrallitiques jaunes du Gabon et du Congo (BEAUDOU *et al.*, 1977) a montré l'originalité de l'organisation micromorphologique de ces sols, en particulier par rapport aux sols ferrallitiques rouges étudiés plus au nord par MULLER au Cameroun (1977).

La microagrégation, d'un type spécial, est peu développée dans les horizons B et s'accroît légèrement en surface. Comme déjà dit précédemment (MULLER, 1982), l'argile est « sans doute sous forme plus libre avec des assemblages plasmiques moins stables et ces sols sont potentiellement plus sensibles aux agents de dégradation » : il n'est donc pas nécessaire d'envisager, avant le lessivage proprement dit de l'argile, l'existence d'un processus physique aussi brutal que l'ultra-dessiccation (CHAUVEL, 1977), pour préparer les éléments fins à l'action des produits lessivants.

4.1.3. pH, ALUMINIUM ÉCHANGEABLE ET ACTIVITÉ BIOLOGIQUE

Les sols sous forêt climacique non perturbée sont caractérisés en même temps par des pH très acides (pH 4 et moins) et la présence d'Al éch. et l'absence d'appauvrissement décelable en argile. Cette association qui peut paraître anormale ne l'est pas tout à fait :

— l'aluminium échangeable et surtout les ions complexes alumineux (divers auteurs cités par DUCHAUFFOUR, 1977) se comportent en agents flocculants énergiques et empêchent la dispersion de l'argile : il faut cependant noter que le minéral argileux présent est exclusivement la kaolinite, qui n'est pas connue pour fournir facilement de l'Al comme les minéraux 2/1 de certains sols très acides (vermiculite, chlorite, illite) ;

— l'hydrolyse de la kaolinite, processus auquel on aurait pu effectivement penser dans un tel milieu, ne dépend pas du pH mais de la seule teneur en SiO₂ et que celle-ci doit être très faible (1 ppm de SiO₂ : SEGALIN, 1975) : aucune donnée n'est disponible localement dans ce domaine.

Malgré ces pH très acides l'activité biologique est suffisante pour décomposer les 10 t/ha/an moyennes (BERNHARD-REVERSAT, 1975) de matière organique fraîche qui tombe à la surface du sol : la litière est en effet réduite et se présente sous la

TABLEAU III
Matière humique détaillée: sols de forêt

HORIZONS	C ‰	N ‰	C/N	AF/C PO ₄ H ₃	AF/C Soude	AF/C Pyro	AH/C Soude	AH/C Pyro	Hu/C	MHT/C
A ₁₁ 0-4 cm	42,2	3,0	14,1	8,2	9,7	6,9	8,7	2,6	33,5	70
A ₁₂ 5-15 cm	11,4	1,1	10,4	19,4	15,7		1,8		38,1	75
B ₁ 20-35 cm	7,5	0,85	8,8	23,9	18,1		0,2		39,3	81,5

forme d'une couche de feuilles en décomposition de moins de 0,5 cm d'épaisseur.

A l'autre extrémité de l'évolution observée (sols appauvris à pH élevés), on observe effectivement une nette dégradation de la structure de surface (MULLER, 1982) et donc une plus grande disponibilité de l'argile au lessivage. Mais ce que l'on observe est peut-être déjà le résultat du lessivage, qui aurait été suivi, après son arrêt, par un enrichissement minéral de surface. Une telle hypothèse est cependant à exclure, si l'on se rappelle la parfaite continuité observée sur la fig. 7 entre le degré d'appauvrissement et l'enrichissement minéral décelé par les variables pH, S et S/T. Un autre mécanisme, non lié directement au lessivage, paraît cependant nécessaire pour expliquer cette accumulation superficielle des principales bases.

Par contre, l'amélioration du pH, la présence de Ca et la meilleure disponibilité du P ont certainement une action importante sur l'activité biologique, surtout si d'importantes quantités de matière organique fraîche atteignent la surface du sol, malgré le brûlis, après chacun des défrichements. C'est cette activité biologique renforcée qui produirait les composés organiques actifs, ce qui n'a pas lieu sous forêts et avec des pH très acides.

4.1.4. MATIÈRE ORGANIQUE ET HUMIQUE

Un premier point à souligner est la faible différence entre les teneurs en matière organique sous les divers types de végétation. On assiste plutôt à une meilleure répartition de celle-ci et le fait a été noté macroscopiquement et analytiquement. TURENNE (1977) a déjà signalé le fait en Guyane.

Pour la matière humique le seul fait décelable avec la méthode utilisée est la baisse du rapport AF/AH : une telle baisse est fréquente entre forêt intacte et végétation secondaire ou savane (MARTIN, 1973, 1976 ; CHAUVEL, 1977).

Le tableau III regroupe quelques chiffres moyens,

pour une demi-douzaine de profils de forêts, obtenus avec la méthode DABIN (1976).

Comme déjà observé par TURENNE, les acides fulviques libres (PO₄H₃) augmentent, en valeur relative, dans les horizons de passage entre la surface et l'horizon B₂ ; le fait est moins net pour la somme acides fulviques précurseurs (soude) et acides fulviques liés (pyro). Quant aux acides humiques, ils deviennent pratiquement indosables dès 30-40 cm. Les taux d'humine augmentent légèrement en profondeur, tandis que la plus grande partie du carbone passe sous la forme humifiée.

Il est impossible de tirer des conclusions de ces quelques analyses, mais les convergences déjà signalées avec la Guyane permettent de supposer que, comme l'a montré TURENNE, on assiste au Woleu-Ntem à une modification qualitative importante de la matière humique : formation d'acides fulviques libres et actifs, liaison avec la matière minérale, mise en mouvement des produits obtenus. L'importance de ces composés a été mise en évidence, soit en cas de dégradation des sols (DABIN, 1976), soit dans les sols de savanes (LEROUX, 1980). Cependant, il n'est pas invraisemblable que la période de pédogenèse lessivante la plus active corresponde aux premières années suivant les défrichements, au moment où le sol dispose d'un stock de litière et d'un apport important de matière organique fraîche, ainsi que de bonnes conditions chimiques (pH élevés) et écologiques (t °C élevées et ensoleillement) pour une forte activité biologique.

4.2. Essai de bilan minéral

L'enrichissement minéral du sol a été nettement mis en évidence : il commence évidemment par l'horizon A₁, mais se transmet ensuite à l'horizon B₂ (paragr. 3.3.4). Aussi peut-on se demander si cet enrichissement est compatible avec la situation à l'origine et les flux actuels d'éléments dans le sol. L'établissement d'un tel bilan est difficile, car

TABLEAU IV
Bilan du calcium sous forêt et sous cacaoyère (kg/ha)

	Pluies et pluviollessivage	Érosion et drainage	Stocks		Litière	Exp. récoltes
			Végétation	Sol (2 m)		
Forêt.....		20	2.000	500	75	
Source.....		ROOSE	BERNHARD-REVERSAT		BERNHARD-REVERSAT	
Cacaoyère 30 ans...		25	Cac. 60 Omb. 200	3.000	90	6
Source.....		ROOSE	BOYER		BOYER	BOYER

aucune donnée locale n'est disponible pour la végétation et le drainage, et l'on est obligé de faire appel à des chiffres extérieurs et pas nécessairement transposables : aussi ce bilan n'est-il qu'un essai.

Le bilan n'a été fait que pour le calcium. Les chiffres pour la végétation proviennent du Cameroun et de la Côte d'Ivoire, pour le drainage de la Côte d'Ivoire. Le stock du sol a été calculé pour 2 m : le sol non appauvri sous forêt a été choisi dans la moyenne de ceux-ci ; le sol appauvri sous cacaoyère est la moyenne de 4 profils, non situés parmi les plus enrichis ; les valeurs de densité apparente utilisées ont été calculées à partir d'une formule fournie par HUMBEL (comm. personnelle).

En comparant les chiffres des ensembles « forêt primitive+2 m de sol non appauvri » et « cacaoyères et ombrage+2 m de sol appauvri », on s'aperçoit que le bilan est à peine équilibré : tout le calcium de la forêt serait resté dans le sol et n'aurait pas donné lieu à la lixiviation au moment des défrichements-brûlis.

Aussi devant ce résultat peut-on se demander s'il n'y a pas eu d'apports extérieurs par les agriculteurs sous forme d'ordures et débris ménagers. Cela semble difficile dans tous les cas, compte tenu de la surface occupée par ces sols appauvris et des habitudes locales : les déchets ménagers sont jetés à quelques mètres des habitations où ils forment d'ailleurs des taches de sols anthropiques ne dépassant pas la dizaine de m² et présentant un très fort enrichissement en matière organique, en bases (pH 7 à 7,5) et en phosphore assimilable, cette dernière particularité connue également en zones tropicales (FRANKART, 1974 ; SOMBROEK, 1966) n'ayant pas été notée pour les sols étudiés.

Même s'il y a eu quelques cas réels d'apport, il reste à expliquer, pour l'ensemble des sols moyennement appauvris et également moyennement enrichis en bases, que la lixiviation de celles-ci est plus faible que celle à laquelle on s'attendait. Il faut sans doute tenir compte du caractère incomplet des défriche-

ments et brûlis anciens, éventuellement répartis sur plusieurs saisons, comparé aux défrichements mécaniques modernes beaucoup plus brutaux. Mais il faut aussi tenir compte de la dynamique de la végétation après le défrichement et des différences physiologiques entre arbres de forêts et végétation de jachères. Par exemple, en Amazonie, STARK (1971) observe que les arbres de forêt peuvent absorber les nutriments directement à partir de la matière organique morte par l'intermédiaire de mycorhizes, tandis que la végétation de « capoeira », nom local de la jachère, n'a pas de mycorhizes et doit chercher ses nutriments dans le sol lui-même, qui vient d'être enrichi par les cendres. De même, GORHAM (1979) note une forte variation dans l'utilisation des nutriments entre arbres de forêts et végétation de jachères : cette dernière est formée de plantes fortes consommatrices et/ou à fort recyclage interne ; des stades successifs de la végétation et une grande diversité d'espèces et de croissance permettent l'absorption des nutriments à différentes époques de l'année et à différents niveaux du sol. Ainsi la végétation de jachères serait adaptée à « piéger » rapidement les nutriments apportés au sol par le brûlis et ceux-ci seraient réutilisables pour un nouveau cycle défrichement-brûlis. Une partie de ces nutriments se fixerait cependant durablement dans le sol, aussi bien en surface qu'en profondeur. Un tel phénomène ne peut avoir lieu lors du défrichement de la forêt sèche de Casamance (SIBAND, 1974), à contenu minéral beaucoup plus faible et sans plantes de jachères spécialisées, et le sol ne peut donc que s'y acidifier.

5. CONCLUSION

L'exploitation statistique de résultats analytiques d'horizons supérieurs de sols ferrallitiques jaunes du Woleu-Ntem montre que leur hétérogénéité est essentiellement liée à la végétation actuelle et

vraisemblablement aux changements de celle-ci, à l'échelle du siècle, sous l'influence humaine. L'appauvrissement granulométrique décelé analytiquement et morphologiquement (MULLER, 1982) en est la manifestation la plus visible, mais est nettement lié à un enrichissement superficiel du sol en éléments minéraux. La source de ceux-ci paraît être surtout le stock initial de la végétation forestière, sans exclure localement des apports extérieurs par l'homme. Un ensemble de facteurs favorables (faible relief des sommets aplanis, bonne perméabilité des sols et absence d'érosion, faible intensité des défrichements et brûlis et de l'utili-

sation du sol, facilité de recyclage des éléments minéraux par des plantes de jachères à caractéristiques écologiques variées), explique cet enrichissement minéral superficiel, qui tranche avec ce que l'on connaît de la dégradation des sols lors de culture sur brûlis dans des milieux plus agressifs, à plus fort relief et à sols plus fragiles. Il est évident qu'une utilisation de type moderne de cet écosystème forestier sol-végétation, beaucoup plus brutale et intense, ne conduirait pas aux mêmes résultats.

*Manuscrit reçu au Service des Éditions de l'O.R.S.T.O.M.
le 15 février 1982.*

BIBLIOGRAPHIE

- AUBERT (G.), 1954. — Observations sur les sols de certaines régions du Gabon. O.R.S.T.O.M., Brazzaville, 14 p. *multigr.*
- AUBRY (A. M.), 1976. — Programmes FORTRAN pour distances de rangs, constellations et corrélations. O.R.S.T.O.M., *Init. Doc. Techn.*, n° 30, 56 p.
- BALLANDIER (G.), 1955. — Sociologie actuelle de l'Afrique Noire. P.U.F., Paris, 510 p.
- BEAUDOU (A. G.), COLLINET (J.), 1977. — La diversité des volumes pédologiques cartographiables dans le domaine ferrallitique africain. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol.*, vol. XV, n° 1 : 19-34.
- BEAUDOU (A. G.) *et al.*, 1977. — Notes sur la micromorphologie de certains sols ferrallitiques jaunes de régions équatoriales d'Afrique. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol.*, vol. XV, n° 4 : 361-379.
- BERNHARD-REVERSAT (F.), 1975. — Recherches sur les cycles biogéochimiques des éléments majeurs en milieu forestier ivoirien. Thèse Orsay, 107 p. *multigr.*
- BERNHARD-REVERSAT (F.), 1977. — Recherches sur les variations stationnelles des cycles biogéochimiques en forêt ombrophile de Côte d'Ivoire. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol.*, vol. XV, n° 2 : 175-190.
- BOYER (J.), 1973. — Cycle de la matière organique et des éléments minéraux dans une cacaoyère camerounaise. *Café, Thé, Cacao*, 1 : 3-24.
- BOYER (J.), 1976. — L'aluminium échangeable : incidences agronomiques, évaluation et correction de sa toxicité dans les sols tropicaux. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol.*, vol. XIV, n° 4 : 259-269.
- BRUGIÈRE (J. M.), 1957. — Examen pédologique relatif à des accidents végétatifs sur cacaoyers. O.R.S.T.O.M., Brazzaville, 11 p. *multigr.*
- CHATELIN (Y.), 1960. — Études pédologiques au Woleu-Ntem. O.R.S.T.O.M., Libreville, 28 p. *multigr.*
- CHAUVEL (A.), 1977. — Recherches sur la transformation des sols ferrallitiques dans la zone tropicale à saisons contrastées. O.R.S.T.O.M., *Trav. et Doc.*, n° 62, 532 p.
- CHAUVEL (A.), PEDRO (G.), 1978. — Genèse des sols beiges (ferrugineux tropicaux lessivés) par transformation des sols rouges (ferrallitiques) de Casamance (Sénégal). Modalités de leur propagation. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol.*, vol. XVI, n° 3 : 231-250.
- DABIN (B.), 1976. — Méthode d'extraction et de fractionnement des matières humiques. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol.*, XIV, 4 : 287-297.
- D'HOORE (J.), 1968. — Influence de la mise en culture sur l'évolution des sols dans la zone de forêt dense. *Sols africains*, XIII, 2 : 155-168.
- DUCHAUFFOUR (Ph.), 1977. — Pédogenèse et classification. Paris, Masson, 477 p.
- FAUCK (R.), 1972. — Les sols rouges sur sables et grès d'Afrique Occidentale. Mém. O.R.S.T.O.M., n° 61, 257 p.
- FRANKART (R.) *et al.*, 1974. — Les sols humifères des régions d'altitude du Rwanda et du Burundi. Évolution sous l'action anthropique. *Pédologie*, 2 : 164-177.
- GODEFROY (B.), JACQUIN (F.), 1975. — Influence de la végétation sur l'humification en sols ferrallitiques. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol.*, XIII, 3-4 : 279-298.
- GORHAM (E.) *et al.*, 1979. — The regulation of chemical budgets over the course of terrestrial ecosystem succession. *Ann. Rev. Ecol. System.*, vol. 10 : 53-84.
- HARCOMBE (P. A.), 1977. — Nutrient accumulation by vegetation during the first year of recovery of a tropical forest ecosystem. In « Recovery and Restoration of damaged Ecosystems », J. CAIRNS *et al.* Edit., Univers. Virginia Press, Charlottesville, 347-378.
- HUMBEL (F. X.), 1976. — L'espace poral des sols ferrallitiques du Cameroun. O.R.S.T.O.M., *Trav. et Doc.*, n° 54, 306 p.
- HUMBEL (F. X.) *et al.*, 1977. — Quantités de matière organique associées aux sols du domaine ferrallitique du Cameroun. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol.*, vol. XV, n° 3 : 259-274.
- KREBS (J. E.), 1975. — A comparison of soils under agriculture and forests in San Carlos (Costa Rica). In « Tropical Ecologic Systems ». Spring Verlag, New York, 381-390.

- LEROUX (H.), 1980. — Contribution à l'étude de la matière organique des sols sous forêts claires (savanes) de Côte d'Ivoire. Thèse Abidjan, 228 p.+annexes.
- MARTIN (D.), 1973. — Les horizons supérieurs des sols ferrallitiques sous forêts et sous savanes du Centre-Cameroun. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol.*, vol. XI, n° 2 : 155-179.
- MARTIN (D.), 1976. — Analyse multivariable de données analytiques de sols ferrallitiques du Centre-Cameroun. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol.*, vol. XIV, n° 1 : 3-11.
- MARTIN (D.), AUBRY (A. M.), 1975. — Comparaison de profils du Congo par des distances. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol.*, vol. XII, n° 2 : 175-190.
- MOREAU (R.), NAMUR (C. de), 1978. — Le système cultural traditionnel des Oubis de la région de Taï. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Biol.*, vol. XII, n° 3 : 191-195.
- MULLER (J. P.), 1972. — Étude macromorphologique de sols appauvris en argile au Gabon. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol.*, vol. X, n° 1 : 77-93.
- MULLER (J. P.), 1977. — Microstructuration des structichrons rouges ferrallitiques, à l'amont des modelés convexes (Centre-Cameroun). Aspects morphologiques. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol.*, vol. XV, n° 3 : 239-258.
- MULLER (J. P.), 1977. — La microlyse plasmique et la différenciation des épидons dans les sols ferrallitiques rouges du Centre-Cameroun. *Cah. O.R.S.T.O.M., Sér. Pédol.*, vol. XV, n° 4 : 345-359.
- MULLER (J. P.), 1982. — Les horizons supérieurs des sol ferrallitiques jaunes du Woleu-Ntem (Nord-Gabon). Morphogenèse. Éléments de comparaison avec des sols du Cameroun. Incidences taxonomiques. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol.*, vol. XIX, n° 2 : 107-115.
- PERRAUD (A.), 1970. — La matière organique des sols forestiers de Côte d'Ivoire. Thèse Nancy, 87 p.
- ROOSE (E.), 1961. — Érosion, ruissellement et drainage sur un sol à cacaoyer de Côte d'Ivoire. O.R.S.T.O.M. Abidjan, 77 p. *multigr.*
- ROOSE (E.), 1977 — Érosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest. O.R.S.T.O.M., *Trav. et Doc.*, n° 78, 108 p.
- SALAS (G. de las), FÖLSTER (H.), 1976. — Bioelement loss on clearing a tropical rain forest. *Turrialba*, 26, 2 : 179-186.
- SEGALEN (P.), 1973. — L'aluminium dans les sols. O.R.S.T.O.M., *Init. et Doc. Techn.*, n° 22, 281 p.
- SIBAND (P.), 1974. — Évolution des caractères de la fertilité d'un Sol rouge de Casamance. *Agron. Tropic.*, XXIX, 12 : 122 s., 124.
- SOMBROEK (W. L.), 1966. — Amazon Soils. Center for Agric. Public, and Docum., Wageningen, 292 p.
- STARK (N.), 1971. — Nutrient distribution in some amazonians soils. *Tropic. Ecol.*, 12 : 24-50.
- STARK (N.), 1971. — Nutrient distribution in amazonian vegetation. *Tropic. Ecol.*, 12 : 177-201.
- TURENNE (J. F.), 1977. — Culture itinérante et jachère forestière en Guyane. Évolution de la matière organique. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol.*, vol. XV, n° 4 : 449-461.