

Les horizons supérieurs des sols ferrallitiques sous forêt et sous savane du Centre-Cameroun

D. MARTIN

Pédologue de l'ORSTOM, Brazzaville (Congo)

RÉSUMÉ

Le premier mètre de sols ferrallitiques profonds et évolués du Centre-Cameroun est étudié sous les deux types de végétation très tranchés, forêt et savane, que l'on trouve imbriqués dans la région. L'étude porte surtout sur les horizons A_1 et B_2 , qui sont ainsi caractérisés et comparés. Les liaisons entre caractéristiques sont étudiées statistiquement, ce qui permet d'aborder quelques problèmes particuliers : appauvrissement, capacité d'échange. Des comparaisons sont effectuées avec des sols en situation semblable d'Afrique et d'Amérique du Sud.

ABSTRACT

The first meter of deep and developed ferrallitic soils of Central Cameroons is studied under the two very distinct types of vegetation, forest and savannah, which are overlapping in the region. The study mostly concerns the A_1 and B_2 horizons which are thus characterized and compared. The relations between the characteristics are studied statistically which enable one to deal with some particular problems, such as impoverishment and exchange capacity. Comparisons are made with similar type soils of Africa and South America.

PLAN

1. Introduction.
2. Généralités.
 - 2.1. Géomorphologie, Géologie.
 - 2.2. Climatologie.
 - 2.3. Végétation.
3. Sélection et description de profils.
4. Etude des caractéristiques des sols.
 - 4.1. Couleur.
 - 4.2. Granulométrie.
 - 4.3. Matière organique.
 - 4.4. Matières humiques.
 - 4.5. Capacité d'échange.
 - 4.6. Bases échangeables.
 - 4.7. pH et degré de saturation.
 - 4.8. Réserves minérales.
5. Comparaison avec d'autres pays.
 - 5.1. Côte d'Ivoire.
 - 5.2. Congo.
 - 5.3. République Centrafricaine.
 - 5.4. Guyane.
 - 5.5. Brésil.
6. Conclusion.
7. Bibliographie.

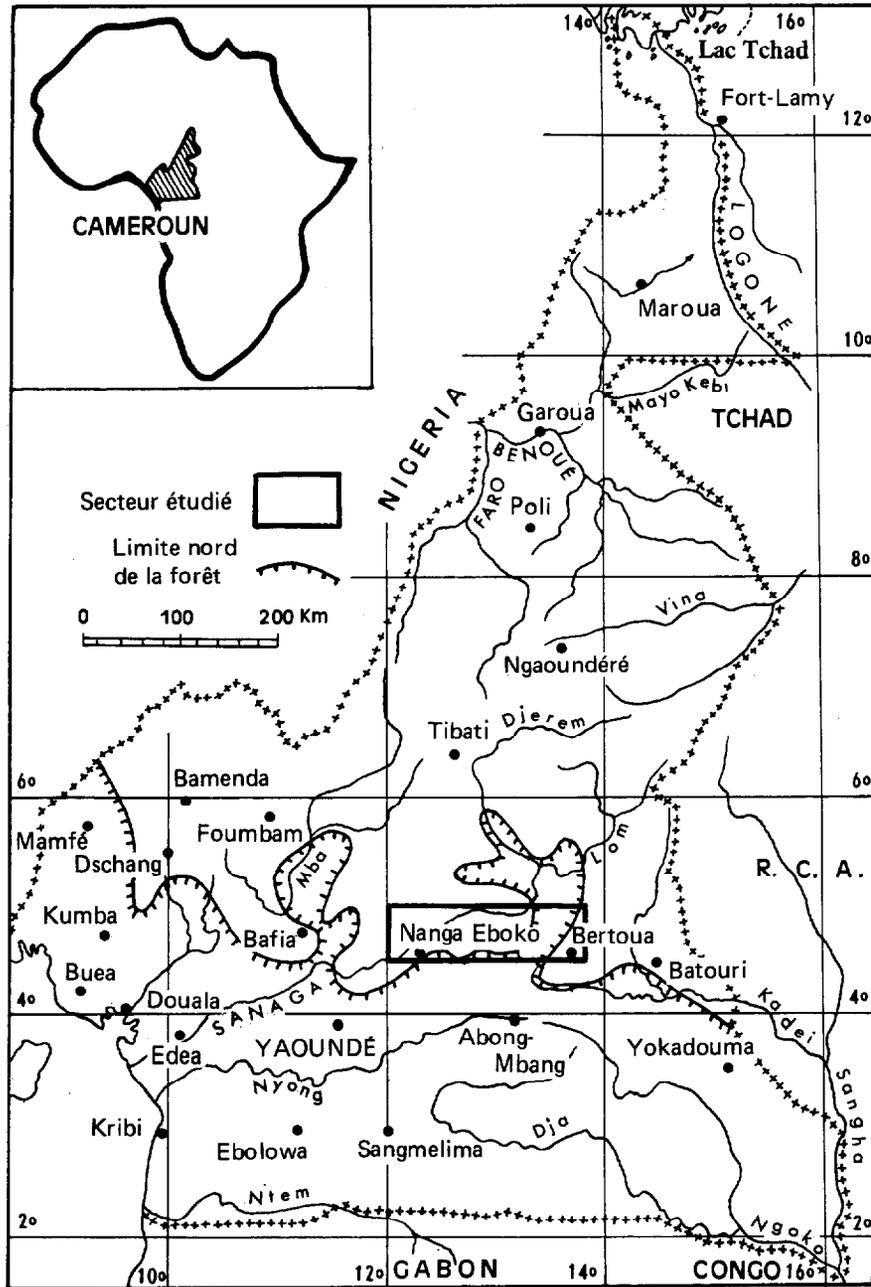


FIG. 1. — Carte de situation au Cameroun.

1. INTRODUCTION

Une étude pédologique menée dans le Centre-Cameroun a permis le prélèvement d'un nombre suffisant d'échantillons de sols sous deux types de végétation très différents (forêt et savane), pour qu'une comparaison détaillée puisse être entreprise entre les horizons supérieurs des profils. Les conditions climatiques, géomorphologiques et géologiques sont suffisamment homogènes dans l'ensemble, pour qu'on attribue les principales différences analytiques observées à la seule influence de la végétation.

Une telle étude aboutit aussi bien à mieux connaître les caractéristiques agronomiques de ces deux catégories de sols qu'à essayer d'y déceler une différence dans la pédogenèse actuelle.

2. GÉNÉRALITÉS

2.1. Géomorphologie, Géologie

La zone des prélèvements de sols (fig. 1) fait partie de la vaste surface d'aplanissement qui recouvre une grande partie du Centre-Cameroun et s'étend au sud jusqu'au Gabon et à l'est vers la R.C.A. (SEGALIN, 1967, MARTIN, 1967, 1970). L'altitude de la région est comprise entre 600 et 750 m.

Les roches-mères des sols font partie du vieux socle africain représenté ici par des granites syntectoniques anciens et un ensemble de roches métamorphiques comprenant des micaschistes, des gneiss et des embréchites. Il s'agit en général de roches mésocrates de composition chimique voisine malgré les différences de texture et de structure. L'intensité et la profondeur de l'altération ont uniformisé suffisamment les produits qui participent à la pédogenèse, pour qu'on ne puisse déceler de différences très sensibles selon les roches. Ces différences ne jouent que sur quelques caractéristiques particulières des sols : parfois teneur en argile, teneur en fer, teneur et répartition des bases totales.

2.2. Climatologie

Le climat est de type sub-équatorial variété haut-camerounien, avec les principales caractéristiques suivantes :

— pluviométrie de 1 500 à 1 600 mm avec répartition de type sub-équatorial, mais minimum d'été peu prononcé : les mois les plus pluvieux sont septembre et octobre et les moins pluvieux décembre et janvier (fig. 2) ;

— température moyenne de 23 à 25° : les maxima sont observés de février à avril ; on note les plus grandes amplitudes thermiques pendant la grande saison sèche de novembre à février ; les minima moyens ne descendent pas en-dessous de 18° à Nanga-Eboko et 16° à Bertoua (fig. 2) ;

— nombre de jours de pluie compris entre 110 et 135 par an ;

— humidité relative moyenne comprise entre 70 et 85 % avec des minima absolus entre 10 et 20 % possibles de janvier à mars ;

— évaporation annuelle faible (770 mm à Nanga-Eboko), avec un maximum moyen de 3,2 mm/jour en février (fig. 2) ;

— insolation de 1 700 à 1 800 heures/an.

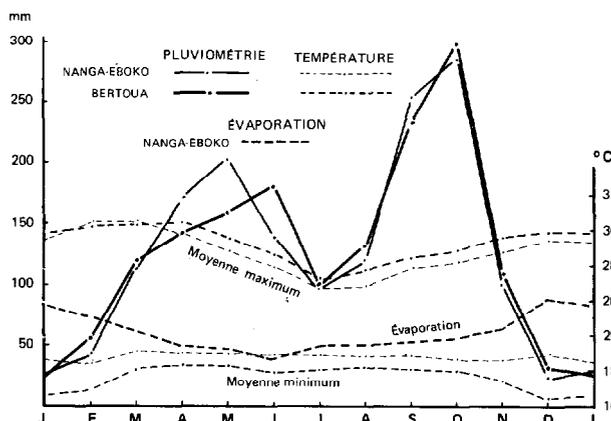


FIG. 2. — Climatologie.

Un tel climat permet toujours et dans de bonnes conditions deux cultures de plantes annuelles dans l'année.

2.3. Végétation

La région étudiée est située dans la zone de transition savane-forêt et les influences humaines contribuent à créer de nombreux types de végétation intermédiaire entre ces deux formations : champs cultivés en forêt,

jachères forestières récentes, jachères anciennes à *Musanga* et palmiers, champs cultivés en savane, jachères à *Imperata* et *Hyparrhenia*, zone de reforestation en savane. Les caractéristiques morphologiques et analytiques des sols sous ses différentes végétations sont éminemment variables et trop hétérogènes pour être utilisées dans une étude statistique. L'étude porte donc uniquement sur les profils correspondant aux deux formations bien caractérisées : forêt dense semi-décidue sans espèces indiquant un défrichement récent, savane arbustive ou arborée à forte couverture graminéenne d'*Hyparrhenia*.

Pour LETOUZEY (1966, 1968) la forêt est du type semi-décidue à Sterculiacées, et les espèces les plus caractéristiques sont *Triplochiton scleroxylon*, *Sterculia oblonga* et autres *Sterculia*, *Pterygota kamerunensis*, divers *Cola*. Dans d'autres familles on note divers *Celtis*, *Chlorophora*, divers *Ficus* et *Terminalia superba*.

Les savanes sont assez variées quant à leur composition en arbres et arbustes. Les principales espèces rencontrées sont *Bridelia ferruginea*, *Crossopteryx febrifuga*, *Hymenocardia acida*, *Anona arenaria*, *Piliostigma reticulata*. *Terminalia glaucescens* n'apparaît que dans la partie nord de la zone d'étude. On s'est efforcé d'effectuer les prélèvements sous la formation graminéenne climacique, toujours fortement dominée par *Hyparrhenia* sp. : c'est une telle formation, dense et haute, qui se reconstitue rapidement après un cycle cultural, lorsqu'a été éliminé *Imperata cylindrica* toujours abondant dans les jachères récentes. Toutes ces savanes sont brûlées chaque année et les sols y présentent donc un pédoclimat nettement différent de celui existant sous forêt.

Savanes et forêts sont toujours fortement imbriquées dans toute la région et il n'est pas possible de lier strictement la savane à un type particulier de sol. Il est également très difficile de se faire une idée précise de l'ancienneté de la savane. Les savanes du sud, pauvres en arbres (absence de *Terminalia glaucescens*), semblent plus récentes que celles du nord et sont peut-être liées à une savanisation subactuelle (150 à 200 ans), qui aurait été causée par l'arrivée dans la région de populations relativement nombreuses, non habituées à l'agriculture de forêt, en déplacement constant par suite de guerres tribales et qui auraient effectué d'importants défrichements; l'ethnographie n'a cependant pas encore apporté de preuves suffisantes en ce domaine pour asseoir définitivement une telle hypothèse. Actuellement la reforestation naturelle des savanes est très nette et décelable à l'échelle de la dizaine d'années, aussi bien à partir des champs cultivés ou des

emplacements de villages ou d'anciens villages, que dans « des cellules d'une formation mosaïque savane-forêt digitée » (AUBREVILLE, 1966) mises à l'abri du feu plusieurs années successives.

3. SÉLECTION ET DESCRIPTION DE PROFILS

Une première sélection des profils de cette étude a été effectuée selon la végétation en ne conservant que les sols sous les deux formations climaciques bien caractérisées, forêt et savane. Une deuxième sélection a porté sur les types de sols. En fait la cartographie de ce secteur du Centre-Cameroun a permis de se rendre compte de la grande homogénéité des sols et la plus grande partie d'entre eux avait été classée (MARTIN, 1966) comme sols ferrallitiques indurés, alors qu'actuellement ce seraient des sols ferrallitiques fortement à moyennement désaturés appartenant au groupe typique ou remanié (AUBERT, SEGALEN, 1966), sous-groupe induré. On a rajouté quelques profils présentant les mêmes caractéristiques générales dans les deux premiers mètres et ne se différenciant des sols indurés qu'en profondeur : absence d'un autre horizon majeur (sols ferrallitiques typiques modaux), présence d'un horizon tacheté ou concrétionné. Par contre on a éliminé certains profils sur roche-mère particulière comme les quartzites, qui tranchent par une teneur générale en argile beaucoup plus faible. De même ne sont pas compris dans l'étude les sols de bas de pente, toujours caractérisés par une couleur plus jaune et souvent par un complexe absorbant beaucoup plus désaturé (MARTIN, 1966) que les sols des pentes et sommets de collines ou plateaux.

Deux profils seront décrits : ils représentent les pôles extrêmes de ce que l'on peut observer dans le premier mètre des profils, que ce soit sous forêt ou sous savane ; en dehors de la couleur la différenciation porte surtout sur l'intensité de l'appauvrissement dont les répercussions se font sentir différemment sur les caractéristiques morphologiques.

Profil BER 44.

Forêt semi-décidue.

Sommet de colline bien aplani, en pente faible (moins de 1 %).

Altération ferrallitique profonde et ancienne de granite à amphibole.

Peu de feuilles et débris végétaux en surface.

0- 12 cm A₁ :

- Rouge sombre (2,5 YR 3/3) ; très argileux ; structure polyédrique sub-angulaire fine ; peu fragile ; bonne porosité tubulaire et d'agrégats ; quelques fines racines.

Transition tranchée et régulière.

12- 35 cm B₁ :

- Rouge (2,5 YR 4/6) ; très argileux ; structure polyédrique à polyédrique sub-angulaire moyenne, nette ; peu fragile à dur et friable humide ; assez poreux ; quelques racines d'arbustes.

Transition distincte et régulière.

35-100 cm B₂₁ :

- Rouge (2,5 YR 4/8) ; très argileux ; structure polyédrique fine, peu nette ; peu fragile à dur sec, mais friable humide ; fine microporosité tubulaire et d'agrégats ; peu ou pas de racines.

100-550 cm B₂₂ :

- Le profil se prolonge jusqu'à 550 cm, plus rouge (10 R 4/6 puis 3/6) ; toujours très argileux ; à structure de moins en moins nette.

550 cm :

- Transition brutale à un horizon induré, compact, formé de gravillons violets à rouges.

On notera en particulier dans le premier mètre (fig. 3) :

- la couleur d'ensemble rouge de tout le profil ;
- la faible coloration de l'horizon A₁ par la matière organique, sa structure polyédrique sub-angulaire moyennement développée et l'absence de tout critère d'appauvrissement ;

— la texture très argileuse de tout le profil dès la surface n'entraîne pas de compacité particulière et le profil est au contraire très friable en profondeur ;

— aucun indice d'hydromorphie n'est noté, une bonne microporosité assurant toujours un bon drainage interne.

Profil NGB 30.

Savane arbustive à *Hyparrhenia* et peu d'*Imperata*.

A mi-pente d'une colline étroite. Pente de 6 à 8 %. Grands domes (2 à 3 m) de termitières et quelques termitières champignons (30-50 cm). Quelques torrillons de vers de terre.

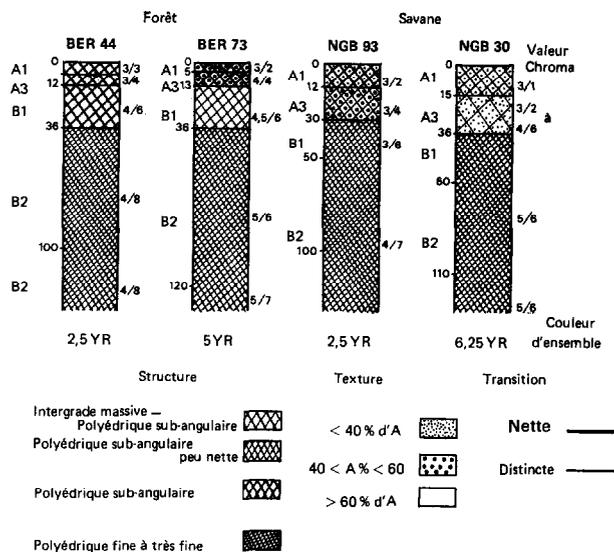


FIG. 3. — Principaux types de profils.

Altération ferrallitique ancienne et profonde d'embréchite.

0- 15 cm A₁ :

- Gris foncé (10 YR 3/1) ; argilo-sableux ; structure polyédrique sub-angulaire fine à moyenne, moyennement développée ; fragile ; très bonne microporosité par animaux en activité (vers de terre, termites) ; bonne microporosité ; assez nombreuses racines de graminées. Transition graduelle et légèrement ondulée.

15- 35 cm A₃ :

- Couleur hétérogène par descente de terre brune organique (7,5 YR 3/2) dans horizon brun vif (7,5 YR 4/6) ; argilo-sableux ; structure intergrade massive à éclats émoussés à polyédrique sub-angulaire très peu nette ; peu fragile à dur à sec et friable humide ; porosité moyenne. Transition distincte à graduelle.

35 - 50 cm B₁ :

- Brun vif (6,25 YR 5/6) ; argileux ; structure polyédrique fine à très fine, peu nette ; dur à sec et friable humide ; microporosité moyenne. Transition graduelle.

50 - 110 cm B₂ :

- Brun vif à jaune-rougeâtre (6,25 à 5 YR 5/6) ; argileux ; structure polyédrique fine à très fine, peu nette ; fine microporosité.

110 - 600 cm :

- Le profil se prolonge avec quelques taches plus jaunes d'hydromorphie entre 330 et 510 cm puis apparition de points de roche altérée de plus en plus nombreux à partir de 520 cm.

A l'opposé du précédent, ce profil (fig. 3 et fig. 4E) présente un net appauvrissement marqué en particulier par :

- une couleur très foncée de la matière organique, qui pénètre de façon hétérogène l'horizon A₃ ;
- une nette dégradation de la structure dans cet horizon ;
- un fort gradient granulométrique entre les horizons A et B.

En fait ce profil est un cas extrême et n'est représenté qu'à 2 ou 3 exemplaires parmi les 35 profils de savane de l'étude : la grande majorité des profils, sous forêt et sous savane, se range dans les trois premiers types de la figure 3.

Pour résumer on peut opposer la grande variabilité des horizons A₁ à l'uniformité des horizons B₂. Pour les horizons A₁, les variations portent sur :

- l'épaisseur, toujours plus grande en savane ;
- la couleur : fonction des teneurs et types de matière organique et toujours plus foncée en savane qu'en forêt ;
- la texture : sablo-argileuse à argileuse, avec des variations plus ou moins accentuées par rapport à celle de l'horizon B₂ ;
- la structure : plus ou moins bien développée, selon les teneurs en argile et les taux et types de matière organique ;
- une porosité toujours bonne et une consistance fragile.

Quant aux horizons B₂, ils sont caractérisés par :

- une grande homogénéité sur plus d'un mètre et l'absence d'éléments grossiers ;
- une couleur vive et uniforme, sans taches ;
- une texture argileuse à très argileuse ;
- une structure polyédrique fine à très fine ;

— une fine microporosité assurant un bon drainage interne ;

— une consistance peu fragile à sec, mais toujours très friable humide.

4. ÉTUDE DES CARACTÉRISTIQUES DES SOLS

Les principales caractéristiques de ces sols sont étudiées plus ou moins en détail selon les analyses disponibles. Pour chaque caractéristique l'étude porte essentiellement sur les horizons A₁ et B₂ et éventuellement sur les variations dans le profil pour quelques profils caractéristiques. On s'efforce de préciser les différences observées sous les deux types de végétation (forêt et savane) et d'étudier, statistiquement dans la mesure du possible, les relations qui lient les caractéristiques entre elles.

Ainsi pour les caractéristiques suivantes, l'étude porte sur une trentaine de résultats de A₁ et B₂, respectivement sous forêt et sous savane : couleur, texture (teneur en argile, indice d'appauvrissement, rapport S.F./S.G.), matière organique (C, N et C/N), capacité d'échange, somme des bases échangeables, pH et S/T.

Pour d'autres caractéristiques l'étude ne porte que sur une vingtaine d'échantillons : humus (humus total, acides humiques, acides fulviques, rapport A.F./A.H.), fer total, fer libre (Fe libre/Fe total, Fe libre/Argile). Enfin pour les bases totales et le phosphore, elle ne porte que sur une quinzaine de profils.

4.1. Couleur

4.1.1. COULEUR DE A₁

La couleur des horizons A₁ est assez variable puisqu'on les trouve dans les planches 2,5 YR à 7,5 YR ; cependant sous forêt 70 % des échantillons sont dans les planches 2,5 YR et 5 YR alors qu'il n'y en a que 50 % sous savane. Les valeurs ne présentent que peu de variations et sont toujours de 3 à 4 aussi bien sous forêt que sous savane. Seuls les chroma sont assez nettement différents sous les deux types de végétation.

	chroma ≤ 2	chroma > 2
Forêt	21 %	79 %
Savane	60 %	40 %

Les horizons sous savane sont donc plus gris dans l'ensemble et on verra plus loin que cette caractéristique est approximativement liée à la composition de la fraction humifiée de la matière organique.

4.1.2. COULEUR DE B₂

Les couleurs de B₂ sont moins variables que celles de A₁, pour lesquelles jouent teneurs et types de matière organique.

On les trouve dans les mêmes planches que pour A₁, mais la répartition de celles-ci est différente sous forêt et sous savane.

	Planche \leq 2,5 YR (rouge)	Planche $>$ 2,5 YR (ocre et jaune)
Forêt	75 %	25 %
Savane	50 %	50 %

Contrairement aux horizons A₁, valeur et chroma sont identiques sous les deux végétations : valeur entre 4 et 6, chroma entre 6 et 8.

Des études récentes ont montré que les couleurs rouges des sols étaient liées à la présence d'hydroxydes de fer amorphe (SEGALIN, 1968). Les taux d'hydroxydes de fer amorphe semblent d'ailleurs en relation avec les conditions générales de drainage mais aussi avec les teneurs en fer du sol et les caractéristiques qui lui sont liées. Une étude rapide montre que pour l'horizon B₂ sous forêt les couleurs rouges (planche \leq 2,5 YR) sont notées avec des teneurs en fer libre supérieures à 8 %, un rapport Fe libre/Argile supérieur à 0,12 % et un rapport Fe libre/Fe total supérieur à 0,9. Sous savane ces liaisons sont beaucoup moins tranchées.

4.2. Granulométrie

4.2.1. TENEURS EN ARGILE

Les sols étudiés sont caractérisés par des teneurs élevées en argile et celles-ci présentent des variations caractéristiques dans le profil.

4.2.1.1. Horizons A₁ et B₂

Les teneurs en argile de l'horizon A₁ sont très variables puisqu'elles oscillent entre 15 et 70 %. Si l'histogramme pour l'horizon A₁ sous savane est

normal (fig. 4A), il n'en est pas de même pour les horizons sous forêt, qui sont nettement répartis en deux populations, le groupe de valeurs basses de la teneur en argile se situant dans la gamme des teneurs plus fréquentes en savane. Pour les sols sous forêt, la teneur en argile de l'horizon A₁ est la seule caractéristique qui présente une double population et on peut tenter d'y donner une explication.

LETOUZEY (1968) a en effet montré la réalité d'une progression actuelle de la forêt sur la savane sous la forme d'un recrû forestier d'aspect et d'espèces caractéristiques, mais il n'est pas impossible que certaines forêts à *Triplochiton* et *Celtis* paraissant normales soient issues de l'évolution d'un tel recrû et le résultat d'une reforestation datant d'une centaine d'années. Les sols de ces secteurs auraient pris avec le temps les caractéristiques normales de sols sous forêt, sauf la texture de l'horizon superficiel évidemment beaucoup plus difficile à modifier.

Sous savane les teneurs en argile de A₁ sont en général plus faibles que sous forêt (moyenne 36,5 % d'argile) et la répartition est normale.

Les teneurs en argile de l'horizon B₂ sont beaucoup plus homogènes et comprises entre 50 et 80 % ; elles sont légèrement plus élevées sous forêt (moyenne 67,5 %) que sous savane (moyenne 62,7 %) sans que la différence soit significative.

L'intervalle de variation des teneurs en argile de l'horizon B₂ (50 à 80 %) est suffisamment important pour qu'on en recherche une explication. La seule corrélation décelable l'est en fait avec la roche-mère. Les sols sur granite ont ainsi toujours un taux d'argile supérieur à 65 % et même compris entre 75 à 80 % sur granodiorite. Sur embrechite ces taux sont de l'ordre de 60-65 %, tandis qu'ils sont très variables sur gneiss (50 à 70 %).

4.2.1.2. Variation dans le profil

Les variations des teneurs en argile dans le profil peuvent être étudiées de différentes manières. Le calcul de l'indice d'appauvrissement (argile A₁/argile B₂) rend compte de la diminution plus ou moins prononcée de la teneur en argile de l'horizon A₁ par rapport à l'horizon B₂. Les chiffres obtenus sont assez étalés mais leur répartition marque une nette tendance à un appauvrissement plus marqué en savane (fig. 4C).

Sous forêt 40 % des profils ont un indice d'appauvrissement supérieur à 1/1,2 et 65 % inférieur à 1/1,4, tandis que sous savane 26 % seulement sont supérieurs

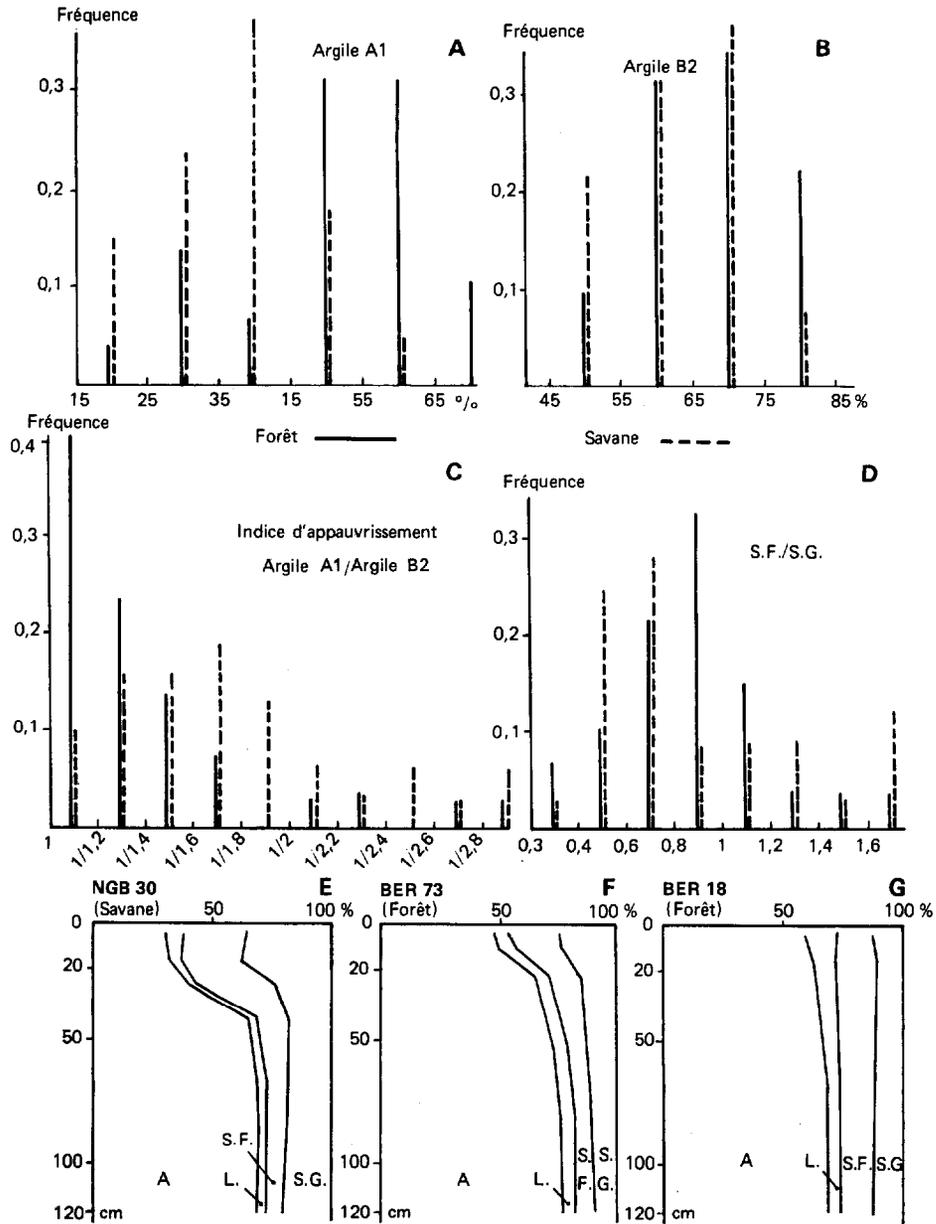


FIG. 4. — Granulométrie.

à 1/1,4 et 50 % compris entre 1/1,4 et 1/2 ; quelques profils, aussi bien sous forêt que sous savane, ont un indice d'appauvrissement inférieur à 1/2.

Cet indice est calculé uniquement pour l'horizon A_1 (0-10 cm) et ne rend donc pas compte de l'épaisseur de l'appauvrissement. Les figures 4E, F et G regroupent trois profils granulométriques montrant les différentes possibilités de variations du taux d'argile avec la profondeur, selon l'importance et l'épaisseur de l'appauvrissement.

Le profil NGB 30 montre un net appauvrissement sur au moins 30 cm : l'indice d'appauvrissement est encore de 1/1,6 à 25 cm et la teneur en argile augmente brusquement à 40 cm pour rester constante ensuite. Un tel type de profil n'a été vu qu'à quelques exemplaires en savane et plus souvent sur pentes que sur sommets aplanis de collines ou de plateaux : l'appauvrissement est suffisamment marqué pour être utilisé comme critère de classification.

Le profil BER 73 ne présente qu'un appauvrissement superficiel : de 1/1,4 en surface, l'indice d'appauvrissement passe à 1/1,17 à 20 cm. Ces types de profils se rencontrent indifféremment sous forêt et sous savane et en toute position topographique.

Le profil BER 18 n'est pas appauvri et les teneurs en argile sont élevées dès la surface : l'indice d'appauvrissement est supérieur à 1/1,15 dès l'horizon A_1 . Des profils de ce type ne se rencontrent pratiquement qu'en forêt et plus souvent sur les plateaux et sommets de collines.

Une autre manière d'étudier les teneurs en argile dans le profil est d'établir s'il existe une liaison entre les taux d'argile en A_1 et B_2 . Si une telle liaison existait, compte tenu de la variabilité due aux roches-mères dans l'horizon B_2 , c'est qu'un même phénomène affecterait de façon à peu près semblable tous les profils. C'est le cas sous forêt où Argile A_1 et Argile B_2 sont liées par la relation assez nettement significative :

$$\begin{aligned} \text{Arg. } A_1 &= 1,27 & \text{Arg. } B_2 &= 34,7 \\ r &= 0,70 & \text{et } N &= 28. \end{aligned}$$

($r = 0,70$: corrélation significative au risque 1 %).

Aucune liaison n'est au contraire décelée sous savane ($r = 0,1$) : on peut donc penser qu'à partir de profils de forêt, dans lesquels un même phénomène (appauvrissement faible ou nul) explique les variations des teneurs en argile du profil, la savanisation modifie

la texture des horizons supérieurs sous l'action possible de deux processus :

- érosion superficielle, d'intensité très variable selon la topographie, affectant les premiers centimètres du sol et due à la faible couverture végétale ;
- appauvrissement d'origine pédologique due à l'action particulière de la végétation de savane et pouvant expliquer les horizons appauvris épais.

Il est difficile d'admettre la solution inverse, à savoir que la savane se serait installée de préférence sur des sols déjà appauvris.

4.2.2. TENEURS EN LIMON

Les teneurs en limon n'ont pas fait l'objet d'étude spéciale, celles-ci étant uniformément faibles et ne présentant aucune liaison intéressante avec d'autres caractéristiques : en moyenne 6 à 10 % de limon dans l'horizon A_1 et 3,5 à 5 % dans l'horizon B_2 . Quant au rapport limon/argile, il est toujours très faible (inférieur à 0,1 dans l'horizon B_2), caractéristique de sols très évolués.

4.2.3. TENEURS EN SABLE

Les teneurs en sable ne présentent pas d'intérêt par elles-mêmes mais plutôt par les proportions relatives de sable fin et de sable grossier. En fait, les rapports S.F./S.G. s'étalent sur une large gamme de valeurs : S.F./S.G. de 0,3 à 1,6. Cependant les rapports S.F./S.G. < 1, donc à prédominance de S.G., sont nettement plus nombreux (fig. 4D).

Il a été impossible de relier les différentes valeurs du rapport S.F./S.G. aux principaux types de roches de la région, qui sont le granite, l'embranchite, le gneiss et le micaschiste. Il est vrai que les déterminations de la roche-mère des profils sont faites d'après la carte géologique et non d'après les affleurements toujours très rares.

4.3. Matière organique

La figure 5 regroupe les différents graphiques concernant la matière organique. Les répartitions

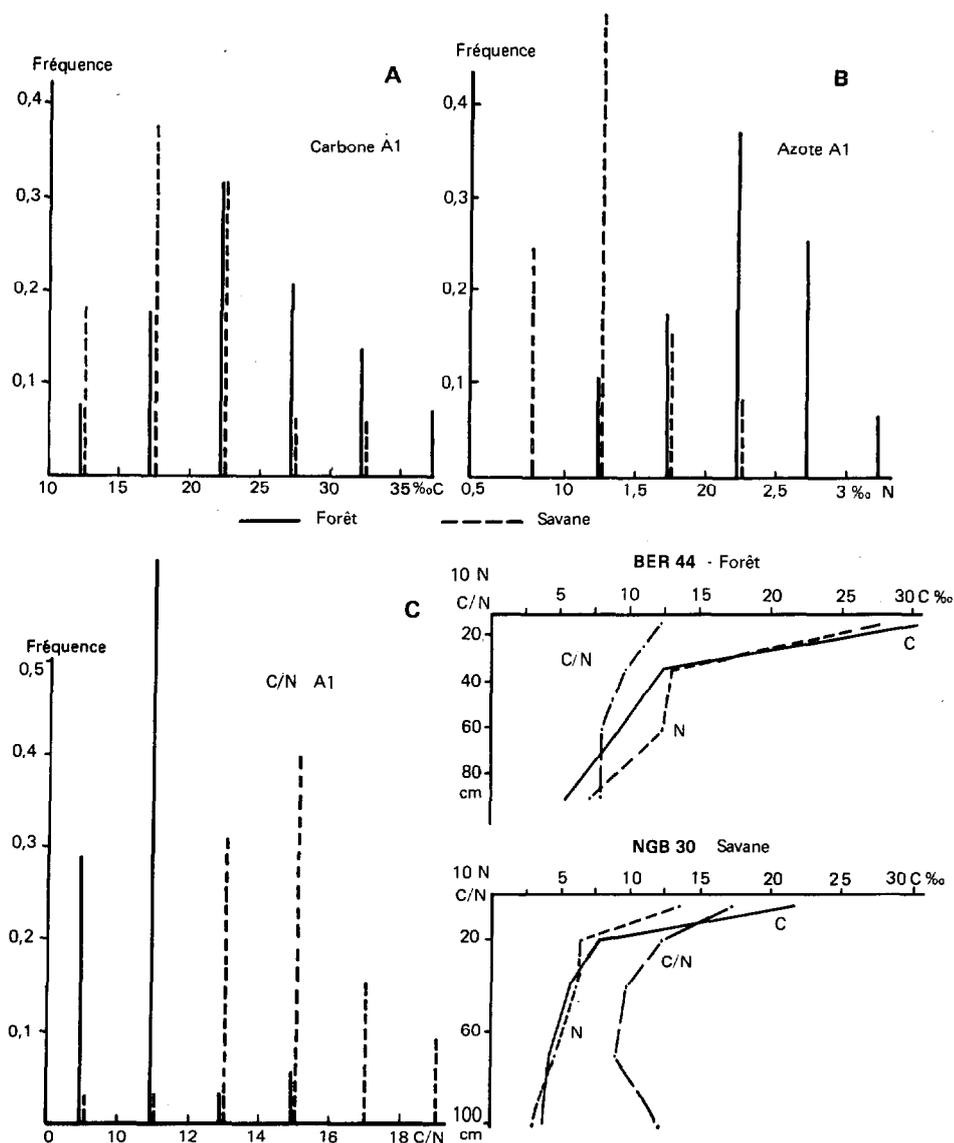


FIG. 5. — Matière organique : Carbone, Azote, C/N.

du carbone, de l'azote et du rapport C/N sont à peu près normales. Pour les horizons A_1 et B_2 les moyennes sont résumées dans le tableau 1.

Pour l'horizon A_1 graphiques et moyennes font apparaître une nette différence significative au détriment des sols sous savane, différence surtout marquée pour l'azote et amplifiée pour le rapport C/N : les sols de savane se caractérisent par un net déficit en

azote et une mauvaise assimilabilité de celui-ci par suite du rapport C/N élevé.

Dans l'horizon B_2 les taux de carbone (correspondant à plus de 1 % de M.O.) et d'azote diminuent nettement mais ceux de savane restent toujours inférieurs à ceux de forêts : seul le carbone est significativement différent ($t = 2,14$ $P < 0,04$).

Les variations de la matière organique avec la

TABLEAU 1
Valeurs moyennes de MO, C, N et C/N

	MO (%)	C (‰)	N (‰)	C/N (‰)
Horizon A ₁				
Forêt	4,25	24,7	2,35	10,6
Savane	3,3	19,2	1,3	14,8
Horizon B ₂				
Forêt	1,3	7,6	0,8	9,5
Savane	1,05	6,15	0,6	10,6

profondeur ne présentent pas de différence entre les profils pour un même type de végétation : un profil

sous forêt (BER 44) et un profil sous savane (NGB 30) sont donnés à titre d'exemple (fig. 5D et E).

La matière organique est bien concentrée dans les dix premiers centimètres, aussi bien sous forêt que sous savane, puis la décroissance est rapide et régulière en profondeur pour le carbone et l'azote. Sous forêt le rapport C/N diminue régulièrement et se stabilise entre 7,5 et 8 vers 80 cm. Par contre en savane le rapport C/N élevé ne concerne que l'horizon humifère : il chute fortement en profondeur, tout en restant supérieur à celui observé sous forêt.

Les principales corrélations entre la matière organique (C, N et C/N) et les teneurs en argile et en éléments fins (A, A+L) sont résumées dans le tableau suivant :

TABLEAU 2
Valeurs du coefficient de corrélation r (1)
Horizon A₁

	C et A	C et A+L	N et A	N et A+L	C/N et A	C/N et A+L
Forêt	0,28	0,44*	0,37	0,54***	NS	NS
Savane	0,39*	0,64***	0,58***	0,53***	NS	NS

(1) Coefficients de corrélation significatifs aux risques : 1 %*** ; 2 %** ; 5 %* ; NS : non significatif.

Les meilleures corrélations sont en général obtenues avec la somme Argile + Limon (A+L), plutôt qu'avec Argile : c'est un fait souvent observé pour les sols ferrallitiques. D'autre part les liaisons sont moins bonnes sous forêt que sous savane.

Les droites de régression ont pour équation :

$$\text{Forêt} \begin{cases} C \text{ ‰} = 0,25 (A+L) + 9,7 & N = 28 \\ N \text{ ‰} = 0,021 (A+L) + 1,16 \end{cases}$$

$$\text{Savane} \begin{cases} C \text{ ‰} = 0,27 (A+L) + 7,2 & N = 34 \\ N \text{ ‰} = 0,02 (A+L) + 0,51 \end{cases}$$

Il faut noter que les pentes des droites C/A+L et N/A+L sont pratiquement les mêmes sous forêt et sous savane et qu'il y a donc un décalage constant de 2,5 ‰ de C et 0,65 ‰ de N au détriment des sols sous savane pour une teneur en A+L donnée.

Aucune corrélation intéressante n'a été mise en évidence pour l'horizon B₂. Par contre les teneurs

en C et N des horizons A₁ et B₂ ne sont pas indépendantes : aussi bien sous forêt que sous savane, les liaisons C.A₁ et C.B₂ et N.A et N.A₂ ont des coefficients de corrélations compris entre 0,4 et 0,5 (significatifs entre 2 et 5 ‰). La présence de matière organique dans l'horizon B₂ est donc mieux liée aux teneurs de celle-ci dans l'horizon A₁ qu'à sa propre teneur en A ou A+L.

4.4. Matières humiques

La figure 6 et le tableau 3 résument les principales données concernant les matières humiques.

Les différences sont assez accentuées pour les horizons A₁ sous les deux types de végétation : sous forêt on note de plus fortes teneurs en humus total et en acide fulvique ainsi qu'un meilleur taux d'humification (AH+AF/C) et un rapport AF/AH plus élevé. Un essai pour mettre en liaison le chroma de l'horizon

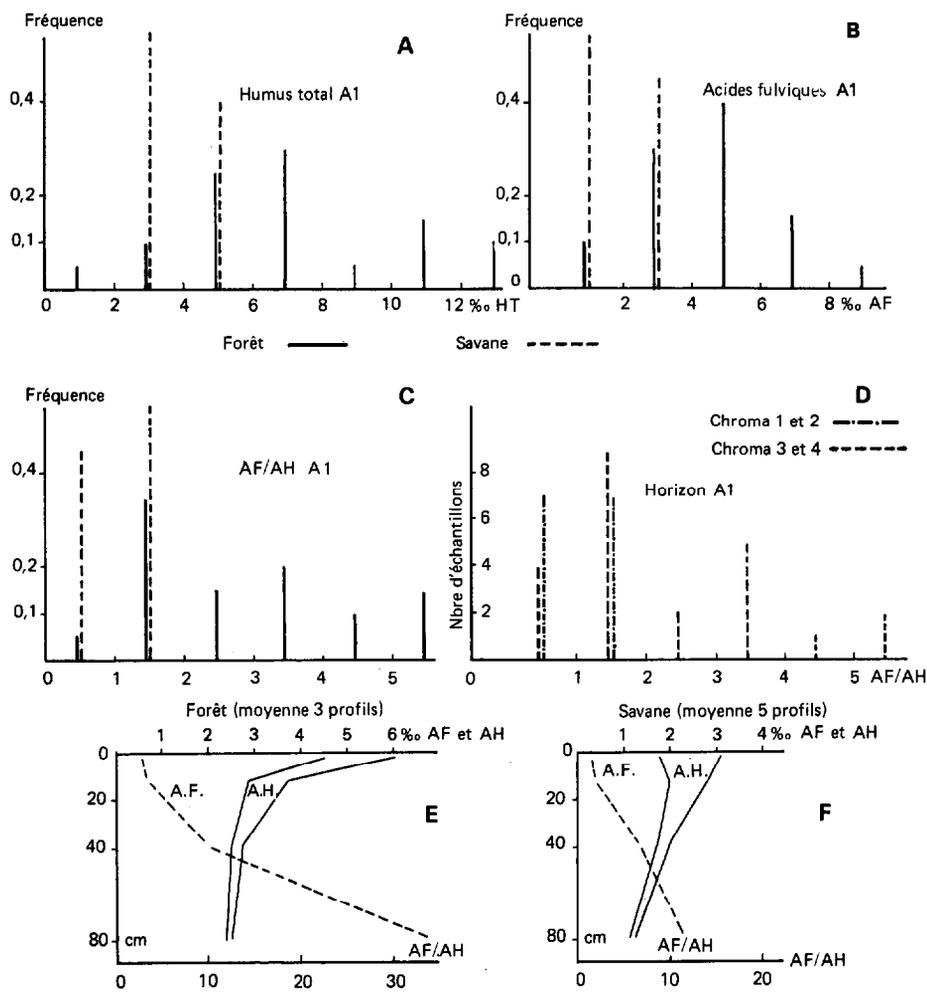


FIG. 6. — Humus : acide humique (AH) - acide fulvique (AF).

TABLEAU 3

Valeurs moyennes de HT, AH, AF, AH+AF/C et AF/AH

		HT (AH + AF)	AH	AF	AH + AF/C	AF/AH
Horizon A ₁	Forêt	6,95	2,3	4,65	0,28	2,75
	Savane	4,0	1,9	2,1	0,21	1,12
Horizon B ₂	Forêt	2,16	0,16	2	0,30	17,9
	Savane	2	0,2	1,8	0,29	12,2

A₁ avec le rapport AF/AH (fig. 6D) montre que tous les chromas inférieurs ou égaux à 2 ont également un rapport AF/AH inférieur à 2, mais que la réciproque n'est pas vraie ; de plus 80 % de ces horizons A₁ à chroma et AF/AH < 2 sont observés sous savane. Les sols de forêt sont donc dominés par la présence d'acide fulvique et c'est l'absence relative de celui-ci qui contribue à la coloration plus grise des sols de savane ; ces résultats devraient cependant être complétés et précisés par des analyses plus complètes de la fraction humifiée de la matière organique.

Pour les horizons B₂ les différences s'estompent sous les deux types de végétation pour les quantités moyennes mais restent importantes pour le rapport AF/AH. Les figures 6E et 6F confirment cette différence de répartition en profondeur des fractions de l'humus : sous forêt concentration d'acide fulvique dans les dix premiers cm, puis maintien en profondeur après une diminution forte et rapide ; sous savane l'acide fulvique est moins bien représenté dans le profil et ne présente pas des variations aussi accentuées que sous forêt.

TABLEAU 4

Valeurs du coefficient de corrélation *r* pour HT

	A	A+L	C	N	C/N	HT (B ₂)	
Horizon A ₁ {	Forêt	0,49*	0,58**	0,78***	0,74***	0,48*	0,28
	Savane	0,35	0,35	0,46	0,24	NS	0,84***
Horizon B ₂ {	Forêt	NS	NS	0,90***	0,82***	NS	
	Savane	NS	NS	0,91***	0,66***	NS	

Le tableau 4 regroupe les principales corrélations pour l'humus total (H.T.). Pour l'horizon A₁ sous forêt on note de bonnes corrélations aussi bien avec la texture qu'avec les autres caractéristiques de la matière organique. Par contre sous savane l'absence totale de corrélations et donc la différence de compor-

tement entre forêt et savane sont inexplicables.

Dans l'horizon B₂ les teneurs en H.T. ne dépendent plus de la texture mais des seules teneurs en C et N, ainsi que des teneurs en H.T. de l'horizon A₁ pour les profils sous savane ($r = 0,84$ entre HT (A₁) et HT (B₂)).

TABLEAU 5

VALEURS du coefficient de corrélation *r*

	AH et C	AH et N	AH et C/N	AF et C	AF et N	AF et C/N	AFA ₁ AH A ₁ et B ₂ et B ₂	
Horizon A ₁ {	Forêt	0,73***	0,63***	0,60***	0,74***	0,74***	0,35	0,41 0,62***
	Savane	0,27	NS	NS	0,44	0,29	NS	NS NS
Horizon B ₂ {	Forêt	0,66***	0,48*	NS	0,88***	0,82***	NS	
	Savane	0,83***	0,72***	NS	0,83***	0,61***	NS	

Le tableau 5 concerne les corrélations entre les deux fractions de l'humus total, acide humique (A.H.) et acide fulvique (A.F.), et d'autres caractéristiques de la matière organique : ces corrélations sont bonnes pour les deux horizons de sols sous forêt ; mais aucune corrélation n'est décelée pour l'horizon A₁ sous

savane, comme pouvait le laisser présager l'observation faite précédemment pour l'humus total. Une liaison entre horizons A₁ et B₂ n'est notée que pour l'acide humique sous forêt.

Pour les variables dérivées la seule corrélation intéressante est une liaison inverse ($r = -0,63***$)

entre les rapports AF/AH et C/N des horizons A₁ sous forêt : la proportion d'acide fulvique augmente, caractéristique de sols forestiers, en même temps que le rapport C/N diminue.

4.5. Capacité d'échange

L'histogramme des capacités d'échange de l'horizon A₁ (fig. 7A) montre que celles-ci sont comprises entre 6 et 18 mé/100 g dans leur ensemble et plus faibles sous savane que sous forêt : les moyennes, respectivement de 12,1 et 9,9 mé/100 g, sont significativement

différentes ($t = 2,41, P < 0,02$). En profondeur la différence s'atténue entre les deux types de végétation et la capacité d'échange reste toujours plus faible sous savane : les moyennes respectives de 6,4 et 5,5 mé/100 g ne sont plus que faiblement différentes ($t = 2,14, P < 0,04$).

Les figures 7E et F montrent les variations de la capacité d'échange avec la profondeur sur des moyennes de profils caractéristiques : celle-ci chute fortement dès 10-20 cm, puis baisse graduellement jusqu'à un palier qui doit être atteint vers 1 m ; l'allure de la courbe est identique sous les deux types de végétation ; sinon une chute plus rapide sous forêt, car le point de départ y est plus élevé.

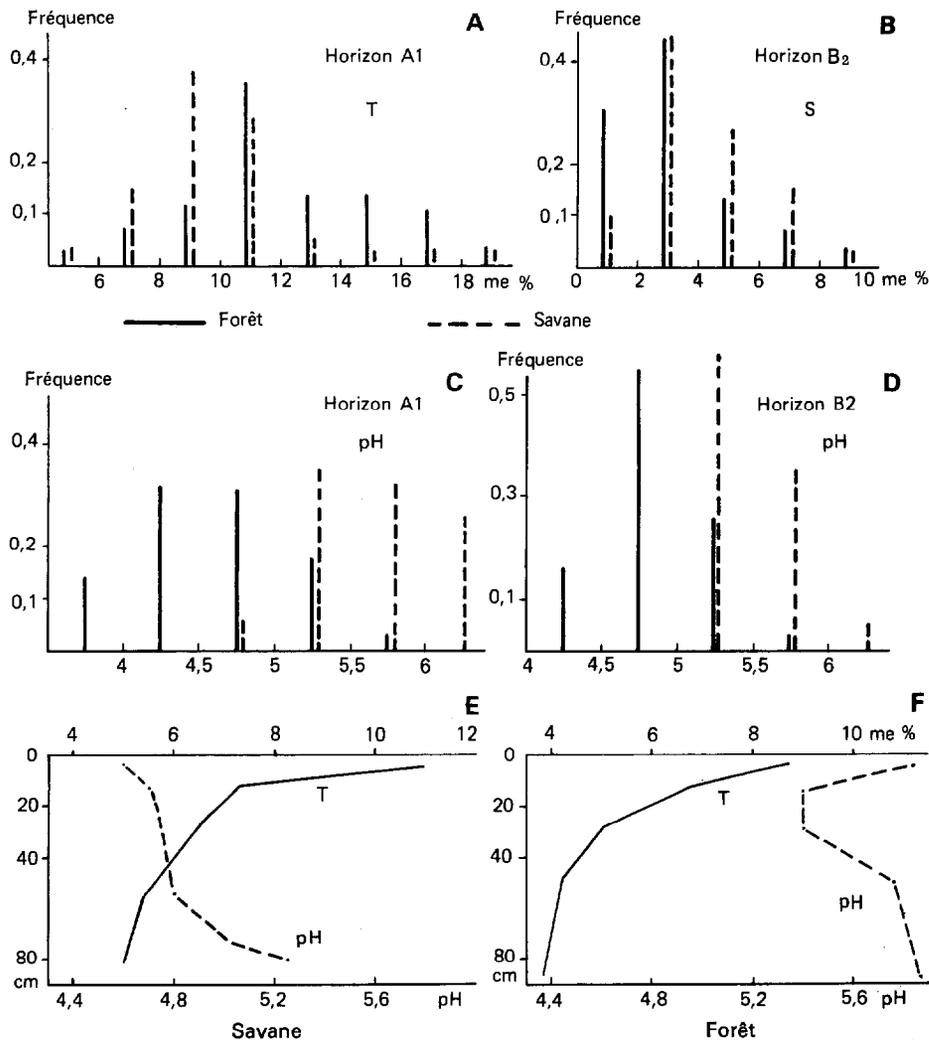


FIG. 7. — Capacité d'échange. Bases échangeables, pH.

TABLEAU 6

Valeurs du coefficient de corrélation r pour T

	A	A+L	C	N	C/N	HT	AH	AF	AF/AH	
Horizon A ₁	Forêt ..	0,44*	0,58***	0,89***	0,87***	0,56***	0,87***	0,81***	0,83***	-0,53***
	Savane	0,40*	0,68***	0,67***	0,86***	NS	NS	NS	NS	NS
Horizon B ₂	Forêt ..	NS	NS	0,54***	0,44***	0,44***	0,69***	0,65***	0,64***	-0,40
	Savane	NS	NS	0,59***	0,42***	0,36*	0,74***	0,49*	0,72***	-0,21

Le tableau 6 regroupe les résultats des calculs de corrélation effectués entre la capacité d'échange et les caractéristiques de texture et de matière organique.

Pour l'horizon A₁ sous forêt les liaisons sont bonnes avec la texture et les diverses caractéristiques de la matière organique. Les équations de régression les plus intéressantes sont les suivantes :

$$\text{Horizon A}_1 \left\{ \begin{array}{l} T = 0,14 (A+L) + 3,7 \quad N = 30 \\ T = 0,37 C \text{ ‰} + 3 \\ \text{Forêt} \quad T = 0,09 + 0,355 C \text{ ‰} + 0,055 \\ \quad \quad \quad (A+L) \end{array} \right.$$

Pour l'équation de régression multiple entre T , C et $A+L$, l'ajustement est relativement bon avec un coefficient de détermination $R^2 = 0,78$.

L'analyse n'a pas été poussée plus loin pour les fractions de l'humus, compte tenu du faible nombre d'analyses disponibles. Il faut cependant noter une liaison directe de la capacité d'échange avec le rapport C/N et inverse avec le rapport AF/AH , ces deux variables étant elles-mêmes en liaison inverse comme déjà vu : l'excès d'acide fulvique semble donc diminuer la capacité d'échange des sols sous forêt.

Sous savane on retrouve des résultats semblables à l'exception d'une absence totale de corrélation avec les différentes fractions de l'humus, ce qui rejoint l'observation précédente inexplicée sur la même absence avec les teneurs en C et N .

$$\text{Horizon A}_1 \left\{ \begin{array}{l} T = 0,15 (A+L) + 3,2 \quad N = 34 \\ \text{Savane} \quad T = 0,42 C \text{ ‰} + 1,84 \\ \quad \quad \quad T = 0,54 + 0,348 C \text{ ‰} + 0,06 (A+L) \end{array} \right.$$

L'ajustement pour l'équation de régression multiple est beaucoup moins bon ($R^2 = 0,60$) que sous forêt.

La capacité d'échange de l'horizon B₂ est caractérisée par de bonnes liaisons avec les différentes caractéristiques

de la matière organique, mais une absence de corrélations aussi bien avec l'argile qu'avec la somme « argile + limon ».

Avec le carbone les équations de régression sont :

$$\text{Horizon B}_2 \left\{ \begin{array}{l} \text{Forêt} \quad T = 0,37 C \text{ ‰} + 3,6 \quad N = 31 \\ \text{Savane} \quad T = 0,32 C \text{ ‰} + 3,5 \quad N = 37 \end{array} \right.$$

L'absence de liaison de la capacité d'échange avec la matière minérale, telle du moins qu'elle peut être représentée par les teneurs en argile + limon, pose un problème, alors qu'on aurait pu penser que, comme en Côte d'Ivoire (DE BOISSEZON, 1970), la diminution des teneurs en matière organique et l'augmentation des taux d'argile devraient mieux assurer cette liaison qu'en surface. Des essais de corrélation avec les caractéristiques liées au fer (Fe total, Fe libre, Fe/Fet) n'ont donné aucune indication intéressante. Rappelons que les sols étudiés sont caractérisés minéralogiquement par des rapports SiO_2/Al_2O_3 inférieurs à 2 et même à 1,8, et que l'analyse thermique différentielle et les rayons X ne décelent que kaolinite et hydroxydes. La seule variabilité porte sur la présence ou l'absence de gibbsite, celle-ci ne semblant pas dépasser la teneur de 10 % dans les échantillons les mieux pourvus. Dans ces conditions le calcul du rapport T/A pour caractériser globalement la capacité d'échange de la fraction minérale n'a aucune signification. Les raisons qui pourraient expliquer cette absence de corrélation entre capacité d'échange et matière minérale ne peuvent être que suggérées : forte variabilité de la composition minéralogique des sols et surtout de l'agencement des minéraux entre eux, mais les différentes fractions ont de toute façon des capacités d'échange faibles ou même nulles ; faible signification du taux d'argile obtenue par la méthode d'analyse utilisée vis-à-vis des fractions minéralogiques qui ont une capacité d'échange intéressante.

Pour la matière organique l'utilisation des équations de régression donnent des chiffres de capacité d'échange qui sont compris entre 215 et 245 mé/100 g en surface et 190 à 220 mé/100 g en profondeur : ces chiffres sont voisins de ceux obtenus par l'analyse en Côte d'Ivoire (DE BOISSEZON, 1970). mais on ne peut donner une signification aux différences observées entre surface et profondeur ou sous forêt et savane, compte tenu de la précision des méthodes d'analyses utilisées.

Cette étude de la capacité d'échange de ces sols n'a été faite qu'en utilisant des méthodes d'analyses classiques sur des échantillons de routine : elle mériterait d'être approfondie, aussi bien par un fractionnement plus poussé des matières humiques, qui permettrait d'élucider le rôle des différentes fractions, que par une étude de l'action de la matière minérale et de ses divers constituants (analyse granulométrique par d'autres méthodes ménageant plus ou moins les hydroxydes, rôle des hydroxydes cristallisés et amorphes).

4.6. Somme des bases et bases échangeables

L'histogramme de la figure 7B montre que les sommes des bases échangeables (S) sont bien groupées entre 1 et 8 mé/100 g : bien qu'inférieures dans l'ensemble sous forêt, les moyennes respectives de 3 mé/100 g (forêt) et 3,7 mé/100 g (savane) ne sont pas significativement différentes ($t = 1,08$, $P = 0,28$). La somme S s'abaisse graduellement en profondeur en liaison avec la capacité d'échange et reste toujours légèrement supérieure en savane (moyennes respectives dans l'horizon B₂ de 1,15 et 0,9 mé/100 g).

Les calculs de corrélation de S avec les autres caractéristiques déjà étudiées (texture, matière organique) sont très décevants. Les seules liaisons intéressantes, et encore sont-elles difficilement explicables, concernent les horizons A₁ sous savane :

Horizon A₁ | S et N $r = 0,52^{***}$ N = 34
Savane | S et AF $r = 0,59^{***}$ N = 18

Aucune liaison n'est observée sous forêt, ni dans l'horizon B₂ sous savane.

La répartition des bases échangeables n'a pas donné lieu à une étude très poussée. Les alcalino-terreux Ca et Mg représentent en moyenne respectivement 91 % et 95 % de la somme des B.E. sous forêt et sous savane dans l'horizon A₁, sans que la différence soit significative : l'équilibre entre calcium et magné-

sium restant pratiquement identique (moyenne de Mg/Ca variant de 0,38 à 0,42).

En profondeur la dominance des alcalino-terreux est encore plus prononcée (93 à 95 % de S), mais la répartition change assez nettement aussi bien par rapport à l'horizon de surface qu'entre forêt et savane : le rapport Mg/Ca moyen passe à 0,52 sous forêt, ce qui représente une accumulation relative de Mg, et à 0,18 sous savane, ce qui est au contraire un lessivage relatif en Mg. On ne peut suggérer comme explication que des conditions différentes de lessivage et en particulier le rôle possible de certaines fractions de la matière organique comme les acides fulviques plus abondants sous forêt.

Les teneurs en potassium échangeables sont moyennes à faibles dans l'horizon A₁ : elles sont en général comprises entre 0,15 et 0,3 mé/100 g sous forêt et 0,1 et 0,25 mé/100 g sous savane : les moyennes respectives de 0,23 mé/100 g et 0,16 mé/100 g sont significativement différentes ($t = 2,63$, $P = 0,01$).

4.7. pH et degré de saturation

Les moyennes du pH et du degré de saturation S/T pour les différentes situations, avec rappel des valeurs de S, sont regroupées dans le tableau 7.

TABLEAU 7

Valeurs moyennes de pH, S/T et S

	pH	S/T	S
Horizon A ₁			
Forêt	4,8	0,3	3,7
Savane	5,45	0,45	3
Horizon B ₂			
Forêt	4,9	0,14	1,1
Savane	5,5	0,2	0,9

Ces moyennes ne sont en fait significativement différentes ($P < 0,001$) que pour le pH : voir également les histogrammes des figures 7C et D. Le pH est donc franchement supérieur sous savane, et plus faiblement le rapport S/T, tandis que la somme S est légèrement inférieure. Il y a donc une nette différence de comportement pour le pH sous les deux types de végétation, ce que confirme également les courbes

de variations du pH avec la profondeur (fig. 7E et F) : sous forêt le pH est minimum en surface, puis augmente peu jusqu'à 50 cm, puis plus rapidement ensuite ; au contraire sous savane, le pH est élevé en surface puis présente un net minimum de 0,4 pH dans la plupart des profils entre 15 et 35 cm, et augmente nettement en profondeur. Quelques profils sous forêt peuvent présenter un léger minimum de 0,1 à 0,2 pH entre 10 et 20 cm, mais celui-ci est toujours moins accentué que sous savane.

L'ensemble des caractéristiques pH, S/T et S de l'horizon B₂ sert à déterminer la sous-classe des sols ferrallitiques (AUBERT, SEGALEN, 1966) et il est donc particulièrement important d'étudier ces critères et les liaisons qui les lient, aussi bien dans l'horizon A₁ que dans l'horizon B₂. La figure 8 regroupe les droites de régression pour les liaisons pH-S et pH-S/T et les caractéristiques des équations de régression sont données ci-après :

Horizon A ₁	Forêt	pH = 0,25 S + 4,05 r = 0,76***	pH = 3,45 S/T + 3,7 r = 0,74***	N = 28
	Savane	pH = 0,11 S + 5,09 r = 0,65***	pH = 1,76 S/T + 4,71 r = 0,87***	N = 34
Horizon B ₂	Forêt	pH = 0,35 S + 4,59 r = 0,58***	pH = 2 S/T + 4,62 r = 0,65***	N = 35
	Savane	r = 0,33 NS	pH = 0,96 S/T + 5,3 r = 0,44***	N = 37

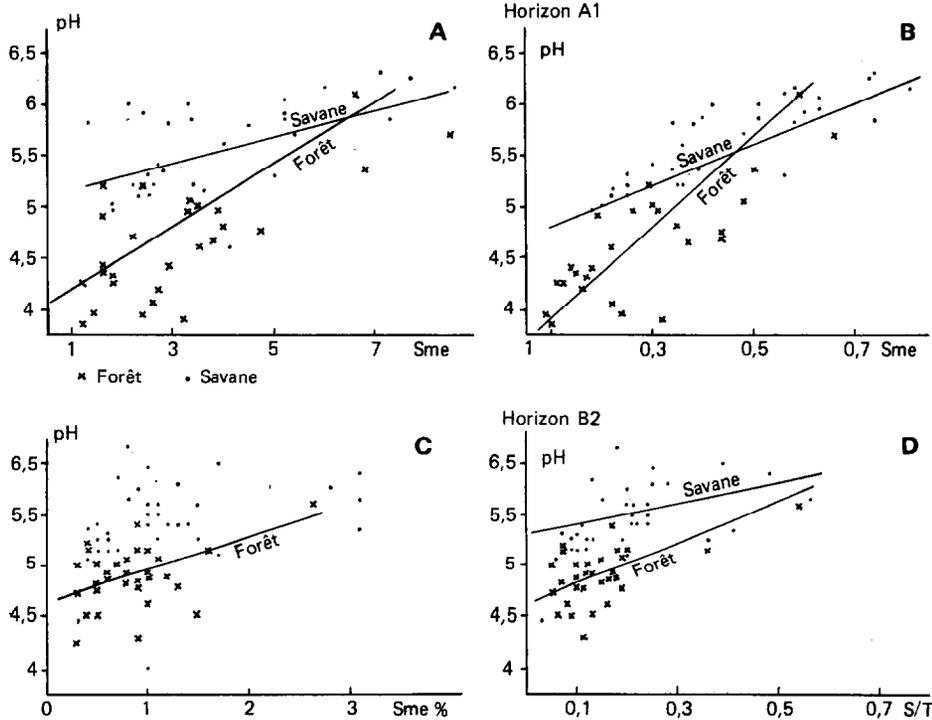


FIG. 8. — Correlations pH, S et S/T.

A l'examen des droites et équations de régression, on peut faire les remarques suivantes :

— les liaisons sont meilleures entre pH et S/T qu'entre pH et S ;

— les liaisons sont meilleures dans l'horizon A₁ que dans l'horizon B₂ : absence de liaisons entre pH et S dans l'horizon B₂ sous savane ;

— les pentes des diverses droites sont nettement différentes sous savane et sous forêt.

Cette différence de comportement trouve son explication dans le cycle des éléments minéraux sous les deux types de végétation :

— sous forêt les éléments minéraux s'accumulent en surface à partir de la lente décomposition de la matière organique tombée au sol et peuvent provenir des horizons profonds par l'intermédiaire des racines des arbres ;

— sous savane, le brûlis annuel de la végétation graminéenne rend beaucoup plus rapide la rotation des éléments minéraux, qui se lixivient partiellement en profondeur et remontent beaucoup moins facilement : avec des taux de saturation et somme des bases échangeables assez voisins de ceux observés sous forêt, le pH est nettement différent.

Dans ces conditions, on peut se poser la question de la validité d'emploi des critères pH, S/T et S pour caractériser les sols ferrallitiques à un niveau aussi élevé que la sous-classe. L'application des critères retenus jusqu'à présent pour l'horizon B₂ (AUBERT, SEGALLEN, 1966) donne les résultats suivants :

— tous les sols sous forêt sont dans la sous-classe des sols ferrallitiques fortement désaturés : le rapport S/T est compris entre 0,05 et 0,15 (critère retenu

Horizon A ₁	Forêt	4 < pH < 5	1 < S < 4 mé/100 g	0,1 < S/T < 0,4
	Savane	5 < pH < 6,2	2 < S < 6 mé/100 g	0,15 < S/T < 0,7
Horizon B ₂	Forêt	4,25 < pH < 5,25	0,3 < S < 1,5 mé/100 g	0,05 < S/T < 0,15
	Savane	5 < pH < 6	0,4 < S < 2 mé/100 g	0,05 < S/T < 0,3

Signalons d'autre part que les liaisons pour une même caractéristique entre les horizons A₁ et B₂ ne paraissent pas suffisamment strictes, pour que l'on

Forêt	pH A ₁ et pH B ₂	r = 0,43*	Savane
	S/T A ₁ et S/T B ₂	r = 0,38	
	SA ₁ et SB ₂	r = 0,27	

pH A ₁ et pH B ₂	r = 0,43*	S/T A ₁ et S/T B ₂	r = 0,46**
	S/T A ₁ et S/T B ₂		r = 0,46**
	SA ₁ et SB ₂		r = 0,38

Un des inconvénients de l'utilisation des caractéristiques de l'horizon B₂ comme critères de classification est enfin la détermination exacte de la position de celui-ci dans le profil. Les courbes de variations du pH avec la profondeur (fig. 7E et F) montrent qu'il est nécessaire de préciser la position de l'horizon B₂ utilisé : dans cette étude il s'agit du premier horizon B₂ déterminé après disparition des critères morphologiques concernant la matière organique qui permettent de déterminer A₃ et B₁ ; la profondeur de cet horizon est comprise entre 40 et 60 cm.

S/T < 0,2) ; la somme S comprise entre 0,3 et 1,5 mé/100 g dépasse légèrement la limite retenue (1 mé/100 g) ; le pH compris entre 4,25 et 5,25 est toujours inférieur à la limite supérieure de pH 5,5 ;

— les sols sous savane, en utilisant préférentiellement les critères S/T et S se partageraient entre les deux sous-classes fortement et moyennement désaturés ; le pH ferait à peu près le même partage, mais se situerait toujours (pH > 5) à la limite supérieure des normes de la sous-classe fortement désaturée, quand les critères S/T et S sont réalisés pour celle-ci.

L'utilisation de critères relatifs à l'horizon A₁, ce qui est possible ici compte tenu de la sélection des données selon les types stricts de végétation, serait-elle plus précise ? Les liaisons sont beaucoup plus strictes entre les trois caractéristiques et nettement différentes sous forêt et sous savane, mais les domaines de variations sont beaucoup plus étendus, ce qui enlève évidemment de la précision à la détermination.

Pour un ensemble de sols, répartis sur une surface limitée à l'intérieur de laquelle les variations écologiques ne semblent pas pouvoir jouer et après élimination du cas particulier des sols de bas de pente, les trois caractéristiques répondent aux normes suivantes :

puisse utiliser indifféremment les caractéristiques de l'un ou l'autre horizon.

Les liaisons du pH avec S/T et S ne sont pas les seules intéressantes. Le pH, qui sera seul étudié puisque la corrélation avec le rapport S/T est suffisamment stricte, est également en liaison avec les caractéristiques de texture et de matières organique : le tableau 8 présente les principales corrélations.

Avec la texture les liaisons sont assez nettes dans l'horizon A₁ pour les deux types de végétation : corrélation inverse avec A et A + L, corrélation directe avec l'indice d'appauvrissement Arg. A₁/Arg. B₂. Il y a donc impossibilité d'avoir en même temps à

TABLEAU 8

Valeurs du coefficient de corrélation r pour le pH

	A	A+L	Arg A ₁ Arg B ₂	C	HT	AH	AF	AF/AH	
Horizon A ₁	Forêt	-0,68***	-0,53***	0,86***	NS	-0,56**	0,56**	0,58**	0,22
	Savane . .	0,57***	-0,55***	0,69***	NS	-0,55**		0,75***	0,58**
Horizon B ₂	Forêt	NS	NS	—	0,69***	0,89***	0,70***	0,86***	0,33
	Savane . .	NS	NS	—	0,56***	0,67***	0,53*	0,61***	0,31

l'état naturel une texture à teneur élevée en argile, gage de bonnes caractéristiques physiques de rétention d'eau et de structure, et un pH élevé, gage d'un bon potentiel minéral. Il en résulte aussi que l'appauvrissement en argile s'accompagne paradoxalement d'une hausse du pH : ceci pourrait s'expliquer si l'appauvrissement était lié anciennement à la savanisation et/ou à la mise en culture en savane ou en forêt, tous faits qui s'accompagnent d'une hausse du pH.

Certaines corrélations inverses sont assez nettes entre le pH et l'humus total et certaines fractions de l'humus : noter en particulier l'effet néfaste de l'acide fulvique sur le pH des horizons A₁ de savane. Là encore il y a impossibilité d'avoir en même temps pH élevé et bonnes teneurs en humus, ou, inversement, l'élévation du pH après mise en culture s'accompagne d'une baisse des teneurs en humus, en supposant les liaisons conservées.

En profondeur, les liaisons cessent avec la texture, mais deviennent plus strictes avec les caractéristiques de la matière organique : l'augmentation du pH dans le profil paraît lié à la disparition progressive de la matière organique et en particulier de l'acide fulvique.

4.8. Réserves minérales

Les réserves minérales sont faibles dans l'ensemble, comme il est normal dans des sols ferrallitiques très évolués. Les chiffres moyens de réserve sont compris entre 2 et 5 mé/100 g, quelques rares profils atteignent 8 à 10 mé/100 g.

Le magnésium est presque toujours mieux représenté que le calcium : 0,4 à 2 mé/100 g de calcium

contre 0,5 à 5 mé/100 g de magnésium. Les teneurs en potassium total varient entre 0,1 et 0,5 mé/100 g, mais quelques échantillons atteignent 0,8 à 1 mé/100 g. Ces variations semblent liées à des roches-mères de composition chimique particulière et aucune différence n'est notée entre forêt et savane.

Les teneurs en phosphore total sont moyennes à correctes. Dans l'horizon A₁ elles oscillent entre 0,4 et 1,4 ‰, mais les moyennes respectives de 0,95 ‰ et 0,76 ‰ sous forêt et sous savane ne sont pas significativement différentes ($t = 1,65$, $P < 0,1$). En profondeur les taux de phosphore baissent mais beaucoup moins rapidement que ceux de matière organique.

5. COMPARAISON AVEC D'AUTRES PAYS

La confrontation des résultats obtenus avec ceux d'autres pays permettent d'utiles comparaisons à l'intérieur de la zone ferrallitique.

5.1. Côte d'Ivoire

Les sols de la zone forestière de Côte d'Ivoire ont fait l'objet d'importantes études récentes (DE BOISSEZON, 1970 et PERRAUD, 1971 a et b) et la comparaison y est d'autant plus intéressante qu'il s'agit de la même association phytogéographique, la forêt semi-décidue à *Celtis* et *Triplochiton* (zone II de PERRAUD), qu'au Cameroun. Ce type de forêt n'est cependant pas exactement dans les mêmes conditions écologiques dans les deux pays.

ERRATUM

Cah. ORSTOM, sér. PEDOL., vol. XI n° 2, 1973 (article de D. MARTIN- « Les Horizons supérieurs des sols ferrallitiques sous forêt et sous savane du Centre-Cameroun »), p. 173.
remplacer le Tableau 8 par le tableau suivant :

TABLEAU 8

Valeurs du coefficient de corrélation r pour le pH

		A	A+L	$\frac{\text{Arg. A}_1}{\text{Arg. B}_2}$	C	HT	AH	AF	AF/AH
Horizon A ₁	Forêt	-0,68***	-0,53***	0,86***	NS	-0,56**	-0,56**	-0,58**	0,22
	Savane	-0,57***	-0,55***	0,69***	NS	-0,55**	NS	-0,75***	-0,58**
Horizon B ₂	Forêt	NS	NS	—	-0,69***	-0,89***	-0,70***	-0,86***	0,33
	Savane	NS	NS	—	-0,56***	-0,67***	-0,53*	-0,61***	0,31

	Pluviométrie (mm)	Température (t °C)	Saison sèche (mois)	Drainage calculé (AUBERT-HENIN) (mm)
Cameroun	1 500 - 1 600	23 - 25	3	500 - 550
Côte d'Ivoire	1 400 - 1 600	25 - 28	3 - 4	400 - 450

Au Cameroun, l'altitude diminue la température moyenne et l'évaporation, ce qui doit améliorer les

conditions hydriques, mais augmente également le drainage calculé.

TABLEAU 9

Sols de forêt Cameroun et Côte d'Ivoire (zone II)

	Argile (%)	C (‰)	C/N	AF/AH	T (mé %)	S	pH	S/T	
Horizon A ₁	Cameroun	25 - 65	15 - 35	9 - 12	1 - 4	8 - 16	1 - 4	4 - 5	0,1 - 0,4
	Côte d'Ivoire.....	10 - 40	20 - 30	9 - 12	1 - 1,6	6,7 - 15	2,5 - 18	5,2 - 6,5	0,6
Horizon B ₂	Cameroun	50 - 75	05 - 10	8 - 10	—	4 - 9	0,3 - 1,5	4,2 - 5,2	0,05 - 0,15
	Côte d'Ivoire	20 - 60				4 - 12	1 - 3	5 - 6	0,2 - 1,5

Du tableau 9 résumant les principales caractéristiques comparables, on peut tirer les observations suivantes :

— La texture est nettement plus argileuse au Cameroun dans tout le profil, ce qui semble impliquer des matériaux différents ou au moins une évolution différente : les matériaux du Centre-Cameroun représenteraient une pédogenèse plus ancienne que ceux de Côte d'Ivoire et correspondraient mieux au concept « oxisols » de la 7^e approximation (U.S.D.A., 1967) ; de l'illite est signalée en Côte d'Ivoire alors qu'il n'en existe pas au Cameroun.

— Les taux de matière organique (% de C) et son évolution (rapport C/N) sont tout à fait semblables : la diminution de t° moyenne n'amène pas la teneur plus importante en matière organique à laquelle on aurait pu s'attendre, mais les modalités de prélèvement sont peut-être différentes et il faudrait des études plus précises pour déterminer, par exemple, la masse organique totale du sol dans les deux pays. Le taux d'acide fulvique et le rapport AF/AH sont plus élevés au Cameroun et se rapprochent davantage de ceux de la forêt sempervirente de Côte d'Ivoire (zone I à P > 1 600 mm).

— La capacité d'échange ne présente pas de grandes différences entre les deux pays, malgré les différences de texture et éventuellement de matière organique.

— Tous les critères de saturation sont assez nettement différents, aussi bien dans l'horizon A₁ que dans l'horizon B₂ : les sols sont fortement désaturés au Cameroun et moyennement désaturés en Côte d'Ivoire, comme les légères différences climatiques pouvaient le laisser prévoir : les caractéristiques camerounaises se rapprochent là encore de celles de la forêt sempervirente (zone I à P > 1 600 mm).

Cette comparaison montre que la forêt semi-décidue à *Celtis* et *Triplochiton* s'installe au Cameroun dans de meilleures conditions hydriques (meilleure texture du sol, saison sèche moins sévère) sur un substrat chimiquement moins riche (lixiviation des bases plus accentuée) qu'en Côte d'Ivoire. Elle montre également la difficulté d'utiliser les caractéristiques des horizons de surface à un niveau élevé de la classification des sols ferrallitiques : cette utilisation ne semble possible qu'à l'échelon régional, quand un nombre limité de facteurs écologiques ou autres sont en cause.

Les sols de forêt au contact même de la savane (zone III de PERRAUD) sont déjà différents de ceux de

la forêt à *Celtis* et *Triplochiton* et donc encore plus difficiles à comparer à ceux du Cameroun. Ces sols ainsi que ceux de savane voisins ont également fait l'objet de travaux importants (AVENARD *et al.*, 1972 et LATHAM, 1970) mais ceux-ci furent surtout axés sur le problème spécifique du contact forêt-savane et en particulier sur le rôle du régime hydrique. Ce contact se présente de façon beaucoup plus complexe que dans la région étudiée au Cameroun et peut être soit approximativement une limite lithologique (contact granite-schiste), soit une imbrication complexe

due à des différences de sol et de régime hydrique selon la pente. Aussi compte tenu des différences assez sensibles de climat et de matériaux (granulométrie, degré d'évolution), la comparaison Cameroun-Côte d'Ivoire doit plutôt porter sur le sens des variations des caractéristiques entre forêt et savane plutôt que sur les valeurs absolues de celles-ci.

En utilisant les chiffres moyens donnés par LATHAM et DU GERDIL (1970) repris dans le tableau 10, on peut faire les constatations suivantes :

TABLEAU 10
Caractéristiques chimiques moyennes sous divers types de végétation
(Côte d'Ivoire)

	Forêt dense		Savane boisée		Savane arbustive	
	Horizons humifères	Horizons profonds	Horizons humifères	Horizons profonds	Horizons humifères	Horizons profonds
MO (%)	6,5		3,5		3,3	
N (‰)	4		1,1		1,2	
C/N	12,2		14,9		15,8	
pH	7,1	5,9	6,9	5,7	6,1	6,1
S (mg/100 g)	21,8	4	7,9	3,2	5	2,2

— en Côte d'Ivoire, les taux de matière organique et d'azote passent respectivement en savane à un peu plus de la moitié et du quart de ce qu'ils sont en forêt, alors qu'ils ne baissent que de 20 % et 45 % au Cameroun ;

— le rapport C/N s'élève fortement dans les deux pays entre forêt et savane ;

— pH et bases échangeables sont nettement plus élevés en forêt qu'en savane en Côte d'Ivoire, alors que c'est l'inverse au Cameroun.

On comprend dès lors l'abandon presque total de la culture en savane dans la zone de contact en Côte d'Ivoire (AVENARD *et al.*, 1972), alors qu'au Cameroun

la préférence va souvent aux sols de savane pour les cultures vivrières (TISSANDIER, 1969).

5.2. Congo

La comparaison est possible au Congo avec les sols sur granite du massif du Chaillu, que l'on trouve aussi bien sous forêt que sous savane (de BOISSEZON, GRAS, 1970).

La pluviométrie est plus élevée au Congo ($P > 1\ 700$ mm) mais la température moyenne est comparable, compte tenu d'une altitude voisine (5 à 600 m).

Pour l'horizon A1, les principales caractéristiques sont les suivantes :

	Argile (%)	C (%)	C/N	pH	S	S/T
Forêt	40 - 52	3 - 4	11 - 14,5	3,6 - 4	0,3 - 0,8	0,1
Savane	45 - 52	2,5 - 3,8	14 - 18	4,5 - 4,7	0,3 - 0,6	0,15

Les textures sont comparables dans les deux pays. Le taux de matière organique serait légèrement plus élevé au Congo ainsi que les rapports C/N : la même différence s'observe pour ces deux caractéristiques entre forêt et savane. Les sols sont toujours fortement désaturés et même peut-être plus désaturés qu'au Cameroun. La différence est surtout nette en savane, où l'augmentation du pH et de S est plus limitée qu'au Cameroun. Les caractéristiques de la saison sèche sont peut être à l'origine de ces différences : longue, humide (humidité atmosphérique), fraîche et couverte au Congo, la saison sèche est plus courte, sèche, chaude et ensoleillée au Cameroun.

5.3. République Centrafricaine

En République Centrafricaine, les études permettant une comparaison avec le Cameroun ne sont disponibles qu'en savane et ne concernent que de faibles superficies (stations agricoles, environs de Grimari), qui ne sont donc pas représentatives de l'ensemble des savanes centrafricaines (OLLAT, COMBEAU, 1960 ; THOMANN, 1963 ; QUANTIN, 1965).

Les principales différences portent sur les points suivants :

TABLEAU 11
Sols de savane Cameroun et RCA

		Argile (%)	C (‰)	C/N	AF/AH	T (mé/100 g)	S	pH	S/T
Horizon A ₁	Cameroun	20 - 55	10 - 25	12 - 18	0,5 - 1,5	6 - 12	2 - 8	5 - 6,5	0,3 - 0,5
	RCA	15 - 35	8 - 17	13 - 17	1 - 1,8	7 - 12	3 - 8	5,5 - 6,3	0,5 - 0,6
Horizon B ₂	Cameroun	45 - 75	5 - 7	8 - 11			0,5 - 1,5	5 - 6	0,1 - 0,2
	RCA	35 - 45	4	9 - 11			2 - 3,5	5,5 - 6	0,25 - 0,35

— la texture est nettement plus argileuse au Cameroun dès les horizons de surface, mais surtout en profondeur ;

— les teneurs en matière organique sont plus élevées au Cameroun, mais avec des C/N identiques à ceux de R.C.A. ;

— dans les horizons de surface, capacité d'échange, bases échangeables, pH et S/T sont assez voisins dans les deux pays, avec un léger avantage à la R.C.A. ;

— en profondeur, la désaturation nettement plus accentuée au Cameroun se traduit sur les trois caractéristiques S, pH et S/T : alors que les sols de savane camerounais se partagent entre les sous-classes fortement et moyennement désaturés, tous les sols centrafricains sont moyennement désaturés.

Les relations entre caractéristiques ne concernent que l'horizon A₁ :

— comme au Cameroun, la capacité d'échange est liée aux teneurs en matière organique et en argile, mais l'influence de celle-ci paraît un peu plus importante ;

— il n'y a par contre aucune liaison entre la capacité d'échange et les différentes fractions de l'humus (humus total, acide humique, acide fulvique) : cette particularité, pour les sols de savane, a été soulignée au Cameroun, alors que les liaisons existent pour les sols de forêt ;

— pH et S/T sont fortement liés.

5.4. Guyane

Pour la Guyane (LEVEQUE, 1967), les comparaisons sont plus difficiles en raison des différences climatiques plus nettes : la pluviométrie y est toujours supérieure à 2 m. Des roches-mères variées entraînent également une plus grande différenciation des profils. Les matériaux sont peut-être également différents, puisqu'on y signale assez fréquemment de l'illite. Il s'agit d'autre part uniquement de sols sous forêt.

Les granulométries, le plus souvent argileuses dans l'horizon B, sont comparables. Les taux de matière

organique semblent plus élevés dans l'ensemble ; les horizons humifères sont plus épais ; il existe aussi, à basse altitude, d'authentiques sols ferrallitiques à accumulation humifère sur 20 à 30 cm. Le rapport C/N supérieur à 12 en surface serait un peu plus élevé qu'au Cameroun, mais il devient identique en profondeur. Le rapport AF/AH est du même ordre de grandeur qu'au Cameroun (compris entre 1 et 4) et donc plus élevé qu'en Côte d'Ivoire.

La pluviométrie élevée entraîne une forte désaturation du complexe absorbant : les pH sont compris entre 3,7 et 5 dans l'horizon A1 et augmentent en profondeur ; le rapport S/T est le plus souvent inférieur à 0,2 et ces sols se rangent dans la sous-classe fortement désaturée.

5.5. Brésil

Parmi les études récentes permettant une comparaison avec le Cameroun, citons celles de SOMBROEK (1966, Amazonie), ASKEW *et col.* (1970, Mato Grosso) et de GOODLAND (1971, Minas Gerais).

Les sols d'Amazonie étudiés par SOMBROEK sont essentiellement situés en forêt sous une pluviométrie de l'ordre de 2 000 mm. Ils couvrent une gamme étalée de texture, aussi les valeurs absolues de certaines caractéristiques sont-elles très variables. Parmi les faits les plus intéressants, notons une liaison assez lâche entre teneur en matière organique et taux d'argile dans les horizons de surface, liaison plus stricte en profondeur et dans les horizons B2. Le rapport C/N est en moyenne de 10,5 en surface pour les sols argileux. La capacité d'échange, dans tous les horizons, est essentiellement liée à la matière organique et très faiblement à l'argile : la capacité d'échange de celle-ci serait comprise entre 1,8 et 4 mé/100 g. Dans les horizons de surface les taux de saturation sont compris entre 5 et 40 % (moyenne 15 %) en liaison avec des pH très acides entre 3,7 et 4,7. En profondeur pH et rapport S/T s'élèvent légèrement : pH 4 à 5,4, S/T entre 10 et 40 % (moyenne 23 %). Les convergences avec le Cameroun sont surtout nettes pour la capacité d'échange et la saturation du complexe absorbant.

Le secteur du Minas Gerais étudié par GOODLAND bénéficie d'un climat tropical humide (P de 1 600 mm) et ne comporte que des savanes. Les sols épais et rouges y sont classés comme oxisols. Les horizons de surface n'ont pas plus de 15-20 % d'argile, ce qui se répercute sur les différentes caractéristiques du sol. Dans les horizons de surface, les teneurs en matière

organique sont en moyenne de 3,4 % et le pH de 5,3. La comparaison avec le Cameroun est cependant rendu difficile par la basse latitude (20° S), le climat franchement tropical et l'éloignement de la forêt.

La région du Mato Grosso étudiée par ASKEW *et al.* (1970) est au contraire située à la limite savane-forêt, mais cette dernière a des caractéristiques différentes de celles du Cameroun. Le climat est sub-équatorial et peu pluvieux (P de 1 400 mm) et l'altitude est inférieure à 200 m. Les auteurs distinguent sols dystrophiques et sols mésotrophiques selon la richesse en bases. Les premiers sont des sols profonds, peu différenciés, de couleur vive, classés comme oxisols. Ce sont des sols très évolués, pratiquement sans limon, et à dominance de sables : les teneurs en argile varient de 10 à 40 %. Aussi les caractéristiques plus ou moins liées à l'argile sont-elles plus faibles qu'au Cameroun : 1,7 à 1,8 % de matière organique, capacité d'échange de 3,8 mé/100 g en surface. La capacité d'échange qui s'abaisse à 1,6 mé/100 g dans l'horizon B paraît liée essentiellement à la matière organique. Le taux de saturation est presque toujours inférieur à 10 % et le pH passe de 4,2-4,5 en surface à 5 en profondeur. Il n'y a pas de comparaison entre sols de forêts et sols de savane, mais on peut remarquer que la limite forêt-savane laisse les sols les plus argileux en forêt et les plus sableux en savane.

Les sols mésotrophiques, qui ont une localisation et une végétation particulières, tranchent nettement avec ces oxisols. Ils sont beaucoup plus argileux et très riches en limon, contiennent de l'illite, ont 7,5 % de matière organique, un pH de 5,2 et un taux de saturation de 50 % dans l'horizon de surface. Ces sols ont ou non un horizon argillique et sont classés comme alfisols ou inceptisols : ce serait, pour la classification française, des sols ferrallitiques faiblement désaturés peu évolués ou des sols bruns eutrophes.

6. CONCLUSIONS

Plusieurs enseignements peuvent être tirés de cette étude : ils sont d'ordre agronomique et pédologique.

Du point de vue agronomique on a mis en évidence un type de sols relativement homogène par sa texture et sa minéralogie, à bonnes caractéristiques physiques et à potentiel de fertilité organique et chimique assez nettement différencié par la végétation. Si la mise en valeur des sols de savane pose moins de problèmes au départ (pas de gros défrichement), leur exploitation

doit se faire avec davantage de précautions : il faudra veiller en particulier à compenser le déficit en azote et à se prémunir contre les dangers qu'entraînerait pour la structure une trop rapide destruction de la matière organique. Les sols de savane du Centre-Cameroun nettement plus argileux que ceux de Grimari (R.C.A.), mais chimiquement moins riches, doivent supporter aussi bien, si ce n'est mieux, les différents traitements expérimentés dans cette station (MOREL, QUANTIN, 1972) et permettre une utilisation beaucoup plus intensive. L'apparente déficience chimique des sols de forêt, qui ne porte en fait que sur le pH, n'est qu'illusoire car il faut compter avec l'énorme masse végétale de la forêt et les minéraux qu'elle contient, minéraux qui ne peuvent être que mis à la disposition du sol au moment du défrichement, soit directement par brûlis, soit plus lentement par lente décomposition.

Au point de vue pédogénétique le seul phénomène décelé dans le premier mètre de sol, objet volontairement limité de l'étude, est l'appauvrissement. Semblant plus fréquent en savanes, il paraît lié en partie à des faits récents de changements de végétation qu'accompagnent ou non la mise en culture : la région située

à la limite savane-forêt a pu voir se succéder localement différents types de végétation à la suite d'influences complexes englobant l'action de l'homme et une tendance naturelle à la reforestation. D'un point de vue plus strictement pédologique, l'étude de la capacité d'échange, intégrateur de caractéristiques organiques et minéralogiques du sol, a mis en évidence la faible signification de l'analyse granulométrique classique : le problème était déjà connu et est en cours d'étude. Enfin sont soulignées les difficultés d'utiliser dans la classification des sols ferrallitiques aussi bien les critères de saturation de l'horizon B que les caractéristiques organiques et chimiques des horizons de surface. S'il est certain que l'équilibre actuel sol-végétation-climat se répercute sur les caractéristiques de divers horizons du profil, un changement naturel ou artificiel de la végétation les modifie profondément et l'influence des divers facteurs écologiques est trop complexe pour donner lieu à une classification simple à l'échelle mondiale.

Manuscrit reçu au S.C.D. le 6 septembre 1973.

BIBLIOGRAPHIE

- ASKEW (G.P.) *et al.*, 1970. — Soil landscape in north eastern Mato Grosso. *Geogr. J.*, 136, 2 : 211-217.
- AVENARD (J.M.) *et al.*, 1972. — Quelques aspects du contact forêt-savane dans le centre et l'ouest de la Côte d'Ivoire. ORSTOM, Adiopodoumé, 378 p. *multigr.*
- AUBERT (G.), SEGALIN (P.), 1966. — Projet de classification des sols ferrallitiques. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, IV, 4 : 97-112.
- AUBREVILLE (A.), 1966. — Les lisières forêt-savanes des régions tropicales. *Adansonia*, VI, 2 : 175-187.
- AUBREVILLE (A.), 1949. — Climats, forêts et désertification de l'Afrique tropicale. Soc. Ed. géogr. Mar. Col., Paris, 523 p.
- BACHELIER (G.), CURIS (M.), MARTIN (D.), 1957. — Les sols des savanes du Sud-Cameroun. *Bull. IEC*, 13-14 : 7-27.
- BOISSEZON (P. de), 1970. — Etude du complexe absorbant des sols ferrallitiques forestiers de Côte d'Ivoire. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, VIII, 4 : 391-418.
- BOISSEZON (P. de), GRAS (F.), 1970. — Notice explicative n° 44. Carte pédologique au 1/500 000° SIBITI-Est. ORSTOM, Paris, 144 p., 1 carte.
- ELDIN (M.), 1971. — Le climat in : « Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire ». *Mém. ORSTOM*, n° 50, Paris, : 73-108.
- GOODLAND (R.), 1971. — Cerrado oxisols of the triangulere Mineiro. *Anais Acad. Brasil. Ciencias*, 43, 2 : 407-414.
- LATHAM (M.), DUGERDIL (M.), 1970. — Contribution à l'étude de l'influence du sol sur la végétation au contact forêt-savane dans l'ouest et le centre de la Côte d'Ivoire. *Adansonia*, 10, 4 : 553-576.
- LETOUZEY (R.), 1966. — Etude phytogéographique du Cameroun. *Adansonia*, VI, 2 : 205-215.
- LETOUZEY (R.), 1968. — Etude phytogéographique du Cameroun. Le Chevalier, Paris, 508 p.
- LEVEQUE (A.), 1967. — Les sols ferrallitiques de Guyane française. *Mém. ORSTOM*, n° 3, Paris, 168 p.
- MARTIN (D.), 1966. — Etudes pédologiques dans le Centre-Cameroun. *Mém. ORSTOM*, n° 19, Paris, 91, p.
- MARTIN (D.), 1967. — Géomorphologie et sols ferrallitiques dans le Centre-Cameroun. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, V, 2 : 189-218.
- MARTIN (D.), 1970. — Quelques aspects des zones de passage entre surfaces d'aplanissement du Centre-Cameroun. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, VIII : 219-239.
- MARTIN (D.), SEGALIN (P.), 1966. — Carte pédologique au 1/1 000 000° du Cameroun Occidental. Notice explicative. ORSTOM, Paris, 133 p.
- MOREL (R.), QUANTIN (P.). — Observations sur l'évolution à long terme de la fertilité des sols cultivés à Grimari (RCA). *Agron. trop.*, XXVII, 6, 7 : 667-739.

- MULLER (J.P.), 1972. — Etude macromorphologique de sols appauvris en argile du Gabon. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, X, 1 : 77-93.
- OLLAT (C.), COMBEAU (A.), 1960. — Méthodes de détermination de la capacité d'échange et du pH d'un sol. Relations entre le complexe absorbant et le pH. *Sols africains*, V, 3 : 343-372.
- PERRAUD (A.), 1971. — La matière organique des sols forestiers de Côte d'Ivoire. Thèse Nancy, CNRS AO 5683, ORSTOM, Paris, 134 p. *multigr.*
- PERRAUD (A.), 1971b. — Les Sols, in « Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire ». *Mém. ORSTOM*, n° 50, Paris, : 265-391.
- QUANTIN (P.), 1965. — Les sols de Grimari. Carte pédologique au 1/50 000°. ORSTOM, Paris, 60 p. *multigr.*
- SEGALEN (P.), 1967. — Les sols et la géomorphologie du Cameroun. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, V, 2 : 137-188.
- SEGALEN (P.), 1968. — Note sur une méthode de détermination des produits minéraux amorphes dans certains sols à hydroxydes tropicaux. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, VI, I : 105-126.
- SOMBROEK (W.G.), 1966. — Amazon Soils. Center for Agric. Publ. and Docum., Wageningen, 292 p.
- TISSANDIER (J.), 1969. — Zengoaga : étude d'un village camerounais et de son terroir au contact forêt-savane. ORSTOM, Mouton, Paris, La Haye, 88 p.
- THOMANN (Ch.), 1963. — Quelques observations sur l'extraction de l'humus dans les sols. Méthode au pyrophosphate de sodium. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, 3 : 43-72.
- TURENNE (J.F.), 1970. — Influence de la saison des pluies sur le dynamisme des acides humiques dans des profils ferrallitiques et podzoliques de Guyane française. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, VIII, 4 : 419-450.