

# Analyse multivariable de données analytiques de sols ferrallitiques du Centre Cameroun

Dominique MARTIN

ORSTOM, Brazzaville, B.P. 181, Congo

## RÉSUMÉ

*Un fichier de résultats analytiques portant sur 37 profils de sols ferrallitiques du Centre Cameroun est étudié par des méthodes statistiques multivariées : distances de rangs, regroupement en constellation.*

*Cette étude permet d'affiner la comparaison entre les sols de forêt et de savanes, qui se partagent le fichier. L'existence d'horizons aberrants sous forêt permet de confirmer le passage de la savane à la forêt.*

## ABSTRACT

*Multivariate statistical methods have been used to analyse an index of data taken from 37 ferallitic soils in the central Cameroons. Groupings have been made according to rank order and grouping of points.*

*From this study forest and savannah soils may be compared and indexed. Some unusual soils horizons in the forest zone may be attributed to afforestation of the savannah.*

## 1. INTRODUCTION

Un article récent a comparé les sols ferrallitiques sous forêts et sous savanes du Centre-Cameroun (Martin, 1973). L'utilisation de méthodes statistiques multivariées permet d'affiner cette comparaison et en particulier de confirmer, comme la conclusion de l'article précité le laissait entendre, la possibilité d'un passage récent de la savane à la forêt : cette hypothèse est parfaitement en accord avec les connaissances botaniques et phytogéographiques locales (Letouzey, 1966, 1968).

## 2. GÉNÉRALITÉS

Rappelons les principales données régionales :

— Le climat est de type sub-équatorial avec une pluviométrie de 1 500 à 1 600 mm répartie sur 10 mois et une température moyenne annuelle de 24 °C ;

l'humidité relative est toujours élevée et l'évaporation de l'ordre de 770 mm ;

— Les sols ferrallitiques profonds se sont formés sur le socle granito-gneissique de composition chimique assez constante dans la région ; le matériau étudié sur un mètre d'épaisseur est formé essentiellement de kaolinite et d'hydroxydes de fer ; les sols sont classés comme sols ferrallitiques fortement désaturés typiques modaux ou indurés (CPCS, 1967) et correspondent aux ferralsols rouges de la Légende FAO (1968) et aux haplorthox de la 7<sup>e</sup> Approximation (Soil Taxonomy, 1973).

— La région étudiée est située à la zone de transition forêt-savane et tous les intermédiaires sont possibles entre ces deux types de végétation dans une zone moyennement habitée ; les profils de l'étude correspondent cependant à ces deux formations bien caractérisées, telles du moins qu'un non-spécialiste peut les déterminer : forêt dense semi-décidue, savane arbustive ou arborée à forte couverture graminéenne d'*Hyparrhenia*.

### 3. MÉTHODES UTILISÉES

Seules les caractéristiques analytiques sont utilisées, l'observation des données morphologiques n'ayant pas été suffisamment précise à l'époque de la prospection : actuellement, avec l'utilisation du Glossaire (1965), données morphologiques et analytiques peuvent être indifféremment employées (Martin, Aubry, 1975).

La « relation de dissemblance » utilisée entre horizons et groupes d'horizons est la mesure de distances de rangs, dont le principe a été exposé à diverses reprises : Van den Driessche (1972), Aubry *et al.* (1973), Van den Driessche (1974), Martin et Aubry (1975). Cette mesure sert de coefficient pour le regroupement en constellations selon un algorithme exposé en 1965 (Van den Driessche) et fréquemment utilisé : Bauzon *et al.* (1968), Aubry *et al.* (1973), Van den Driessche (1974), Martin et Aubry (1975).

Les moyennes des caractéristiques analytiques utilisées sont calculées par constellations et comparées graphiquement et/ou statistiquement.

### 4. EXPOSÉ DES RÉSULTATS

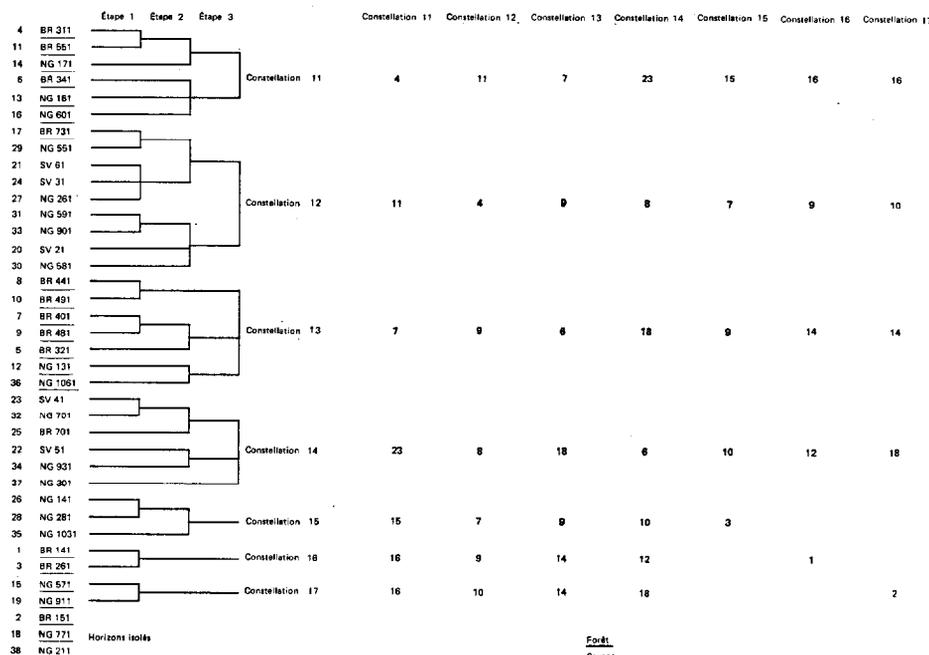
Les calculs ont porté sur l'horizon A<sub>1</sub>, l'horizon B<sub>2</sub> et le groupe horizon A<sub>1</sub>+horizon B<sub>2</sub> de 37 profils de forêts et de savanes : 46 variables analytiques, brutes ou dérivées (24 pour l'horizon A<sub>1</sub> et 22 pour l'horizon B<sub>2</sub>), sont disponibles, mais la forte corrélation calculée entre certaines d'entre elles (Martin, 1973) permet d'en éliminer, sans risque de pertes d'information, dans le calcul des distances et le regroupement en constellations.

#### 4.1. Horizon A<sub>1</sub>

Le regroupement en constellations a été effectué après calcul des distances à l'aide de 14 variables : Chroma, A+L, Arg A<sub>1</sub>/Arg B<sub>2</sub>, C, C/N, AF, AF/AH, pH eau, Fe libre, Fe l/Fe total, Mg/Ca éch., K éch., S, T.

Les résultats en sont donnés par le dendrogramme du tableau I :

TABLEAU I  
Dendrogramme pour l'horizon A<sub>1</sub>. Distances (× 100) inter et intra-constellations



— les profils sous forêt et sous savane se regroupent bien dans des constellations différentes ;

— les profils sous forêt forment deux constellations principales (C 11 = 6 profils et C 13 = 7 profils),

puis 2 constellations à 2 profils et 2 profils isolés ;

— un profil sous forêt (BER 73) se regroupe avec ceux sous savane : il s'avère que la forêt, bien que dense, contient de nombreux *Ceiba* et quelques palmiers ;

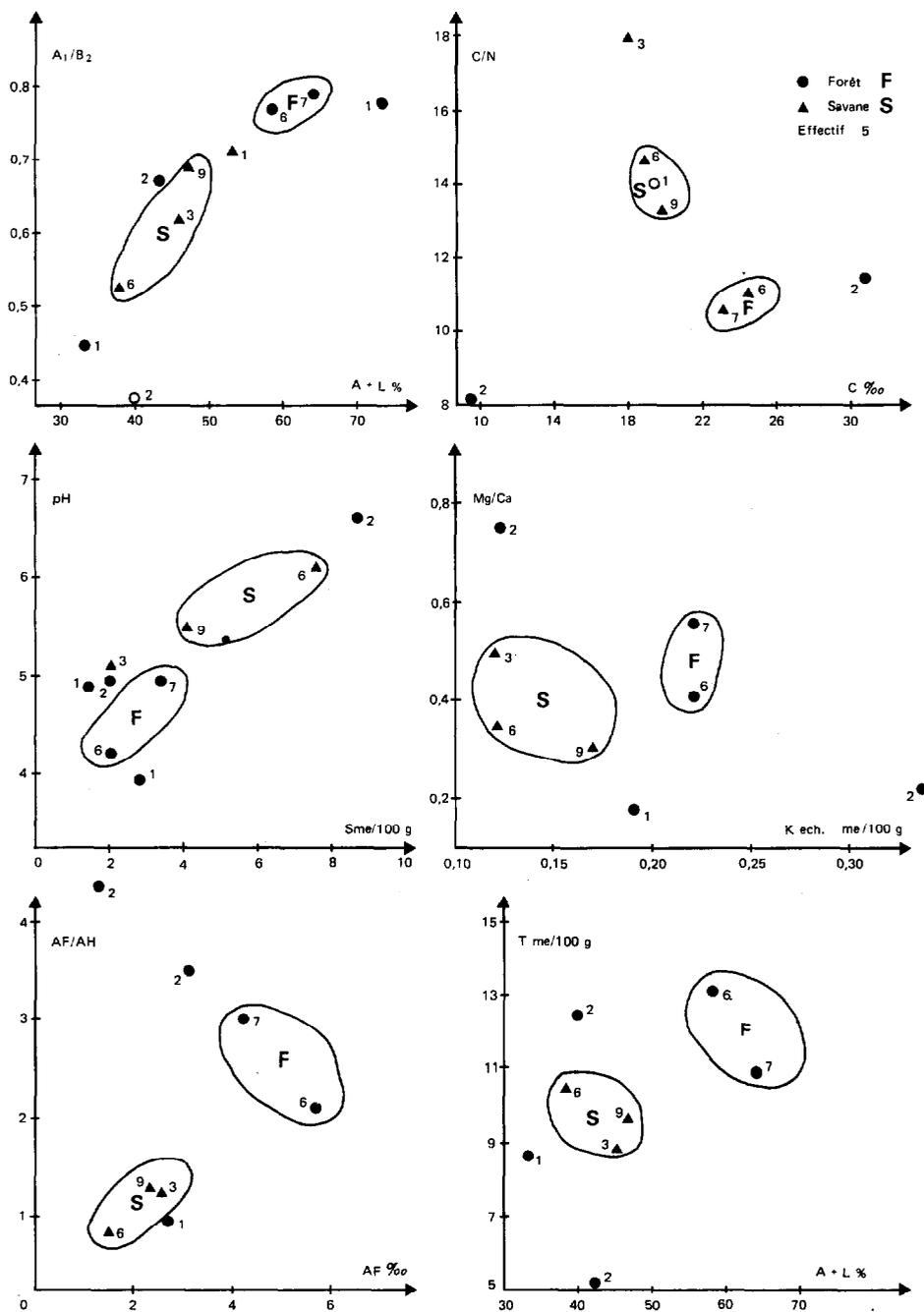


FIG. 1. — Horizon A<sub>1</sub> : principales caractéristiques par constellations.

— les profils sous savane forment 3 constellations principales, plus un profil isolé.

Les moyennes des variables, calculées pour chaque constellation, et avec indication de l'effectif, sont visualisées sur les graphiques de la figure 1, qui utilisent six couples de variables associées : le graphique Fe 1 et Fe1/Fe t s'est révélé inintéressant.

Concernant les constellations principales sous les deux types de végétation, on peut faire les remarques suivantes :

— les constellations C 11 et C 13 sous forêt sont très proches l'une de l'autre pour la plupart des caractéristiques : acide fulvique, AF/AH, somme S des BE et capacité d'échange T diffèrent légèrement et le pH n'est statistiquement différent qu'au risque 5 % ;

— les constellations C 12 et C 15 sous savane sont très voisines : les principales différences portent sur le pH, la somme S et le rapport C/N ;

— la constellation C 14 sous savane se distingue des deux précédentes par un appauvrissement et un pH, des teneurs en acide fulvique et en bases échangeables (S) statistiquement plus élevées au risque 1 % : le rapport AF/AH est également plus faible mais moins nettement ;

— le profil NGB 21 sous savane reste isolé en raison de certaines caractéristiques aberrantes : C/N de 7, AF/AH de 0,48, S de 11,4 me/100 g ;

— les six profils sous forêt restant isolés ou groupés par deux présentent des caractéristiques très variables.

Pour ces six derniers profils on note en particulier :

— tous sauf un (NGB 77) ont les caractéristiques d'appauvrissement des sols de savane de l'étude et même plus accentuées ;

— les teneurs en carbone et acide fulvique et les rapports C/N et AF/AH sont aberrants, aussi bien vis-à-vis des sols de savane que des sols de forêt ;

— pH et S sont généralement caractéristiques de sols de forêt sauf pour deux profils ;

— la capacité d'échange est très variable en liaison avec les écarts de teneurs en matière organique.

La comparaison multivariable de 37 horizons A<sub>1</sub> sous forêt et sous savane permet de conclure :

— tous les sols de savane et 2/3 des sols de forêt ont des caractéristiques bien groupées et nettement différentes sous les deux types de végétation pour

certaines d'entre elles : A + L, C et C/N, acide fulvique et AF/AH, pH et S, K échangeable ;

— six horizons de sols sous forêt (plus un horizon regroupé avec les sols de savane) n'entrent pas dans ce schéma et présentent le plus souvent des caractéristiques aberrantes aussi bien vis-à-vis de la normale des sols sous forêt que de la plupart des caractéristiques des sols de savane.

#### 4.2. Horizon B<sub>2</sub>

Le regroupement en constellations s'est effectué sur 12 variables : A + L, C, AF, AF/AH, pH eau, Mg/Ca éch., S, T, Fe libre, Fe total, Fe l/Fe t, Fe l/Arg.

Le calcul a pu être mené jusqu'à la 4<sup>e</sup> étape et aboutit au dendrogramme du tableau II. On remarque immédiatement que les deux constellations finales (C 21 et C 22), regroupent indifféremment sols de forêt et de savane dans des proportions égales, et il en était pratiquement de même pour les sous-constellations de la 3<sup>e</sup> étape.

La comparaison des moyennes des caractéristiques de ces deux constellations permet de se rendre compte de ce qui les différencie :

— les seules variables différentes au risque 1 % sont : C, AF, pH, Mg/Ca et T ; les variables liées à la granulométrie et à la minéralogie (A + L, variables liées au Fer) ne sont pas en cause ;

— un essai pour mettre en cause certaines variables de l'horizon A<sub>1</sub>, correspondant aux deux constellations pour l'horizon B<sub>2</sub> n'a donné aucun résultat.

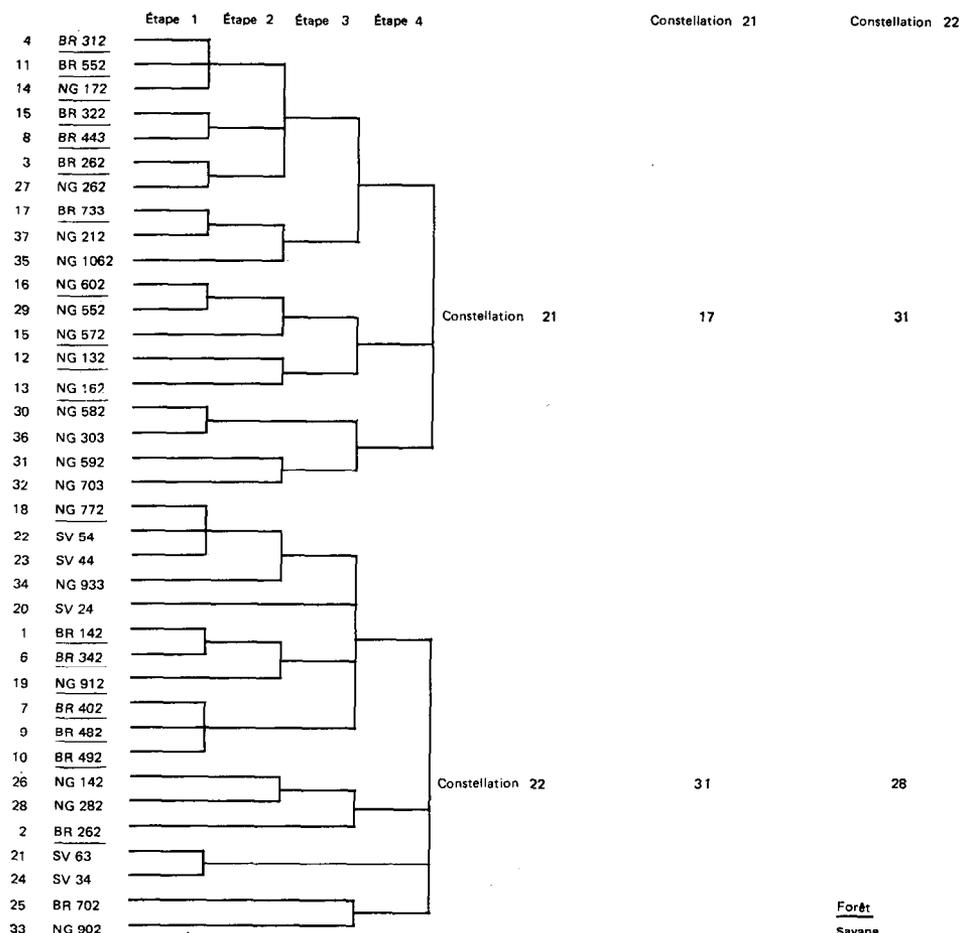
Il en a été de même pour impliquer la roche-mère des sols dans le partage des horizons B<sub>2</sub> en deux ensembles : les quatre principales roches-mères de la région (granite, gneiss, embrechite, micaschiste) se retrouvent indifféremment sous forêt et sous savane et dans l'une ou l'autre des constellations C 21 et C 22.

#### 4.3. Horizons A<sub>1</sub> + B<sub>2</sub>

Les mêmes 14 + 12 (26) variables des calculs pour les horizons A<sub>1</sub> et B<sub>2</sub> ont été utilisées pour le groupe horizon A<sub>1</sub> + horizon B<sub>2</sub>. Les résultats du calcul sont donnés par le dendrogramme du tableau III et appellent les remarques suivantes :

— les constellations C31 et C34 ne comprennent respectivement que des sols de forêt et de savane ;

TABLEAU II  
Dendrogramme pour l'horizon B<sub>2</sub>. Distances (× 100) inter et intra-constellations



— la constellation C32 ne comprend également que des sols de savane, plus le profil sous forêt (BER 73) déjà regroupé avec les sols de savane dans le calcul pour l'horizon A<sub>1</sub> ;

— la constellation C33 est formée à égalité de sols de forêt et de savane ;

— on note que les six profils de forêt anormaux pour l'horizon A<sub>1</sub>, sont soit groupés avec des sols de savane, soit isolés.

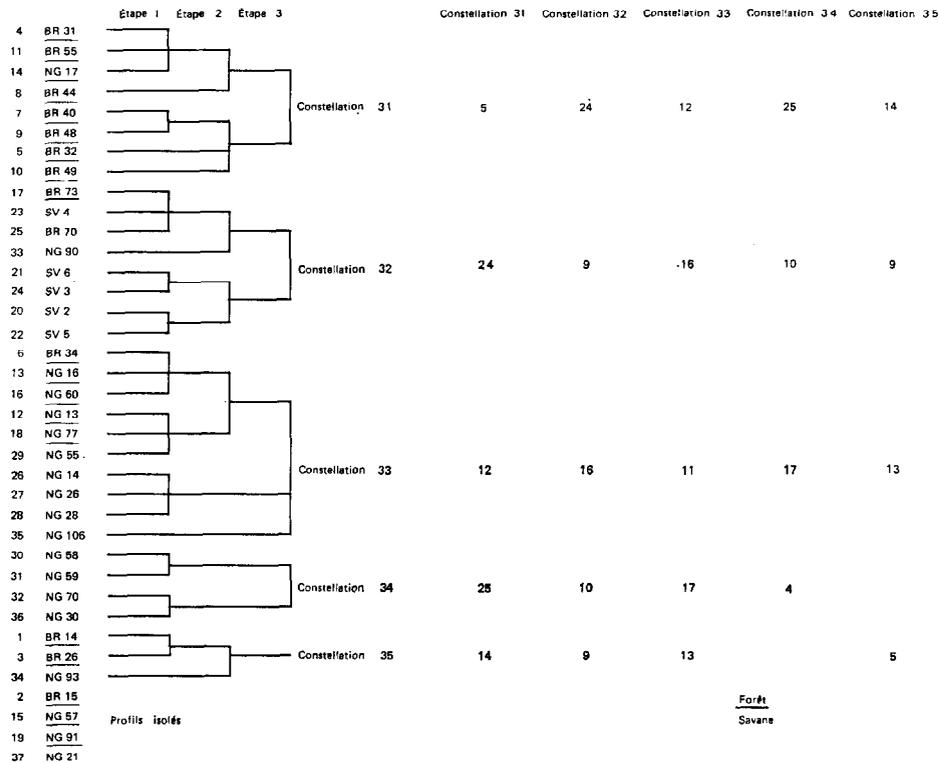
La séparation forêt-savane, bonne pour l'horizon A<sub>1</sub>, et nulle pour l'horizon B<sub>2</sub>, n'est donc que moyenne pour le groupe horizon A<sub>1</sub> + B<sub>2</sub>. L'examen des moyennes des caractéristiques par variables n'a été fait en détail que sur les deux premières constellations : celles-ci respectivement sous forêt et sous savane

sont pratiquement les plus éloignées (d = 24 sur le tableau III) pour des constellations à effectif élevé et semblent représenter le profil moyen le plus typique ou le plus accusé sous chaque type de végétation. Le tableau IV récapitule les caractéristiques différentes au risque 1 % entre ces deux constellations.

On peut ainsi caractériser ces deux catégories de sols :

— les sols de forêt sont des sols très argileux, aussi bien en surface qu'en profondeur, et à faible appauvrissement ; ils ont une bonne teneur en N et AF et un rapport AF/AH élevé ; pH et bases échangeables S sont faibles pour une bonne capacité d'échange T en surface ; les taux de K échangeable sont corrects ;

TABLEAU III

Dendrogramme pour les horizons A<sub>1</sub>+B<sub>2</sub>. Distances (× 100) inter et intra-constellations

— par contraste, les sols de savane de la constellation C32 ont des teneurs en argile moins élevées aussi bien en surface qu'en profondeur et présentent un plus fort appauvrissement ; teneurs en N et AF sont également nettement plus faibles pour un rapport C/N plus élevé et un rapport AF/AH plus faible ; par contre pH et bases échangeables S sont plus élevées pour une capacité d'échange T plus faible ; le taux de K échangeable est plus faible que sous forêt.

Il faut noter cependant que les quatre profils sous savane de la constellation C34 ont certaines de ces caractéristiques encore plus accusées en particulier l'indice d'appauvrissement (0,51), le rapport AF/AH (0,83) et la somme S (6,3 me/100 g) de l'horizon A<sub>1</sub> : le calcul horizon A<sub>1</sub>+horizon B<sub>2</sub> sélectionne donc des profils de forêts et de savane bien typés, mais pas parfaitement représentatifs de l'ensemble.

TABLEAU IV

Constellations C 31 et C 32. Caractéristiques différentes au risque 1 %

	Horizon A <sub>1</sub>										Horizon B <sub>2</sub>				
	A+L %	A <sub>1</sub> /B <sub>2</sub>	N ‰	C/N	AF ‰	AF/AH	pH	Fe I %	S	T me/100 g	K	A+L %	pH	AF/AH	T me/100 g
C 31 Forêt 8	68	0,82	2,3	9,9	5,3	3,0	4,5	8,0	2,8	11,8	0,27	78	4,8	22	5,6
C 32 Savane 8	40	0,61	1,3	14,3	1,7	1,1	5,8	4,9	4,8	8,6	0,12	56	5,6	9	4,4

## 5. DISCUSSION

Les résultats des calculs pour l'horizon B<sub>2</sub> sont décevants quant à la séparation forêt-savane : il faut donc considérer que cet horizon ne joue pas un rôle important dans l'installation de l'un ou de l'autre type de végétation. D'ailleurs la faible différenciation finalement obtenue entre les constellations C21 et C22 est beaucoup plus due à des caractéristiques biologiques et chimiques (C, AF, pH, Mg/Ca, T) qu'à des critères physiques (A+L, variables liées au Fer) et est peut-être en liaison avec la profondeur variable du prélèvement (30 à 80 cm) ou certaines caractéristiques de l'horizon A<sub>1</sub>.

L'affirmation, qui pourrait s'en suivre, selon laquelle forêts et savanes s'installent de façon indifférente sur un matériau homogène doit cependant être nuancée par l'examen des résultats « horizons A<sub>1</sub>+B<sub>2</sub> ». Ceux-ci montrent que les savanes ont une certaine tendance à être plus fréquentes sur des sols à horizon B<sub>2</sub> à plus faible teneur en argile (constellations C32

et C34) : les quelques sols sur quartzite de la région (moins de 40 % d'argile en B<sub>2</sub>) exclus de l'étude sont toujours en savanes. Cependant, et comme il était prévisible, le fait que dans la comparaison C31-C32 (Tableau IV), sur 26 variables utilisées et 15 fortement différenciantes, 11 appartiennent à l'horizon A<sub>1</sub> et seulement 4 à l'horizon B<sub>2</sub>, montre bien que l'horizon A<sub>1</sub> a beaucoup plus de poids dans la séparation de ces 16 profils sous forêt et sous savane.

Ce sont cependant les résultats obtenus sur le seul horizon A<sub>1</sub> qui sont les plus intéressants. Ils permettent d'abord d'avoir des chiffres moyens plus objectifs des caractéristiques analytiques en éliminant de façon rationnelle les horizons aberrants ou « éloignés ». Le tableau V reprend ces valeurs moyennes pour 23 caractéristiques avec 13 horizons (constellations C12 et C14) pour les sols de forêts et 15 horizons (constellations C12 et V14 pour les sols de savane). Le domaine de variation comprend près de 80 % des échantillons totaux et la comparaison entre forêts et savane est donnée au risque 1 %<sup>+</sup> et 0,1 %<sup>++</sup>.

TABLEAU V

Caractéristiques moyennes et domaine de variations (Horizon A<sub>1</sub>)

	Argile <sup>++</sup> (%)	A+L <sup>++</sup> (%)	A <sub>1</sub> /B <sub>2</sub> <sup>++</sup>	C <sup>+</sup> (‰)	N <sup>++</sup> (‰)	C/N <sup>++</sup>	AF <sup>++</sup> (‰)	AH (‰)
Forêt	55 42-68	63 50-75	0,8 0,67-0,93	24,5 18,5-30,5	2,3 1,6-2,9	10,5 8,5-12,5	5,1 3,1-7,1	2,3 1-3,6
Savane	37 26-48	43 32-54	0,63 0,46-0,8	19,5 15,5-23,5	1,4 1-1,8	14,1 11,6-16,6	2,0 1-3	1,8 1,2-2,4
	Hum. Tot. <sup>++</sup> (‰)	AFH/C <sup>+</sup>	AF/AH <sup>++</sup>	pH <sup>++</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg (mé/100 g)	K <sup>+</sup>	Mg/Ca <sup>+</sup>
Forêt	7,5 4,3-10,7	30,0 20-40	2,6 1,3-3,9	4,55 3,9-5,2	1,7 0,7-2,7	0,8 0,3-1,3	0,25 0,13-0,37	0,53 0,29-0,77
Savane	3,9 2,7-5,1	20 15-25	1,1 0,6-1,7	5,75 5,2-6,3	4,1 1,8-6,4	1,2 1,5-1,9	0,15 0,07-0,23	0,33 0,13-0,53
	S <sup>++</sup> mé/100 g	T	S/T <sup>++</sup>	Fe I <sup>++</sup> (‰)	Fe t <sup>+</sup> (%)	Fe I/Fe t	Fe I/A	
Forêt	2,8 1,3-4,3	12,4 9-15,8	0,23 0,1-0,36	7,0 4,4-9,6	7,7 5,4-10,0	0,89 0,8-0,97	12,5 8,3-16,7	
Savane	5,5 2,5-7,5	10,0 6,7-13,3	0,54 0,3-0,78	4,5 2,6-6,4	5,6 3,2-8,0	0,78 0,68-0,88	12,2 7,8-16,6	

Si l'utilisation des constellations principales est intéressante pour caractériser l'ensemble des horizons  $A_1$  des sols étudiés, il n'en reste pas moins à expliquer l'existence d'horizons aberrants : ceux-ci sont exclusivement observés sous forêt et sont au nombre de 7, si on y inclut l'horizon BER 731 parfaitement groupé avec les sols de savane. Pour les six autres, les différentes caractéristiques sont soit proches de celles de savane, soit proches de celles de forêt, soit éloignées de celles des uns et des autres. Une des principales caractéristiques est cependant que la plupart de ces horizons sont appauvris en argile et même certains très appauvris (BER 141, BER 261, NGB 771) : ce critère est assez nettement lié aux sols de savane. Une explication qui vient à l'esprit et qui est compatible avec les observations des phytogéographes (Aubreville, 1966 et Letouzey, 1968) est qu'après un changement de végétation, qui serait le passage de la savane à la forêt, le sol, essentiellement son horizon de surface n'aurait pas repris des caractéristiques normales vis-à-vis de sa nouvelle couverture végétale. Il est évident qu'un sol, qui a été appauvri en savane, ne peut que conserver cette caractéristique après son passage en forêt. Quant aux autres caractéristiques, certaines sont aberrantes (carbone, acide fulvique), d'autres plus proches de celles sous savanes (C/N, AF/AH) ou sous forêts (pH, S) : on ne peut voir là que le reflet d'une histoire complexe de la végétation dans les périodes récentes, histoire qu'il est impossible d'élucider plus avant avec les données disponibles.

Les observations de terrain ou sur photographies aériennes montrent en particulier qu'il y a deux processus possibles du passage de la savane à la forêt :

— un processus naturel, où « des cellules d'une formation mosaïque savane-forêt digitée » (Aubreville, 1966) s'enforestent lentement après mise à l'abri du feu plusieurs années successives ;

— un processus avec intervention humaine, quand une zone cultivée en savane se transforme en jachère

forestière, plus ou moins enrichie en palmiers et autres arbres utiles, qui peut passer, avec le temps, à la forêt, si la région est abandonnée (cas probable et en cours d'évolution du profil BER 73).

Cette histoire complexe ne pourrait être élucidée et des dates absolues proposées qu'en mesurant au C14-C13 les âges des différentes fractions humiques de sols de forêts, de savanes et de forêts récentes, comme l'ont fait récemment Lobo *et al.* (1974).

## 6. CONCLUSION

L'analyse multivariable de données pédologiques avec les méthodes et les programmes disponibles à la Banque de Données Pédologiques (distance de rangs, constellations) permet d'affiner l'étude d'un fichier en comparant, regroupant et séparant horizons et groupes d'horizons. L'étude du fichier Centre-Cameroun a permis de mieux séparer et préciser les caractéristiques analytiques des horizons de surface sous forêt et sous savane, tout en montrant que, dans la région étudiée, l'installation de la forêt ou de la savane, ne semble pas obéir à des critères pédologiques. Au contraire, l'étude des horizons  $A_1$  aberrants, tous situés sous forêt, tend à confirmer les observations des phytogéographes sur la réalité de changements récents de végétation par remplacement de la savane par la forêt.

## REMERCIEMENTS

L'utilisation des programmes de la B.D.P. n'aurait pu se faire sans l'aide bienveillante de R. Van den Driessche et A.M. Aubry.

*Manuscrit reçu au S.C.D. de l'ORSTOM le 16 février 1976*

## BIBLIOGRAPHIE

- AUBREVILLE (A.), 1966. — Les lisières forêts-savanes des régions tropicales. *Adansonia*, VI, 2 : 175-187.
- AUBRY (A.M.) *et al.*, 1973. — Measures of rank distances followed by repeated clustering and tests of rank correlations in the study of biological and chemical data from tropical forest. *Bull. Ecol. Res. Comm.*, 17 : 433-442.
- AUBRY (A.M.), 1976. — Programmes FORTRAN pour distances de rangs, constellations et corrélations. *Init. Doc. Tech.* ORSTOM, Paris (en préparation).
- BAUZON (D.) *et al.*, 1968. — Caractérisation respirométrique et enzymatique des horizons de surface de sols forestiers. *Sc. du Sol*, 2 : 55-78.
- C.P.C.S., 1967. — Classification des sols. ENSA Grignon, 82 p. multigr.
- F.A.O., 1968. — Définition of soil units for the soil map of the world. FAO, Rome, 72 p.
- Glossaire de Pédologie, 1969. — ORSTOM, *Init. Doc. Tech.*, n° 13, 82 p.
- LETOUZEY (R.), 1966. — Etude phytogéographique du Cameroun. *Adansonia*, VI, 2 : 205-215.
- LETOUZEY (R.), 1968. — Etude phytogéographique du Cameroun. Le Chevalier, Paris, 508 p.
- LOBO (P.F.S.) *et al.*, 1974. — Essai de détermination du temps de résidence de fractions humiques de sols ferrallitiques. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. XII, n° 1 : 115-124.
- MARTIN (D.), 1973. — Les horizons supérieurs des sols ferrallitiques sous forêt et sous savane du Centre Cameroun. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. XI, n° 2 : 155-179.
- MARTIN (D.), AUBRY (A.M.), 1975. — Comparaison de profils du Congo par des distances. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. XIII, n° 2 : 175-190.
- U.S.D.A., 1973. — Soil Taxonomy (sous presse).
- VAN DEN DRIESSCHE (R.), 1965. — La recherche de constellations de groupes à partir des distances généralisées de Mahalanobis. *Biom. Praxim.*, 4I, 1 : 36-47.
- VAN DEN DRIESSCHE (R.), et GARCIA GOMEZ (A.), 1972. — Distances non paramétriques entre profils. *Rev. Ecol. Biol. Sol*, IX, 4 : 617-628.
- VAN DEN DRIESSCHE (R.). — La Banque de Données Pédologiques de l'ORSTOM. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. XII, n° 1 : 125-132.