

**ETUDE SPECTROGRAPHIQUE
DES ELEMENTS TRACES
ET LEUR DISTRIBUTION
DANS QUELQUES TYPES
DE SOLS DU CAMEROUN**



OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

CENTRE ORSTOM DE YAOUNDE

1970



ETUDE SPECTROGRAPHIQUE DES ELEMENTS
TRACES ET LEUR DISTRIBUTION DANS
QUELQUES TYPES DE SOLS DE CAMEROUN

par Lj. NALOVIC

P L A N

INTRODUCTION

- I. METHODES D'ANALYSES
- II. CARACTERES DES PROFILS ETUDIES ET TENEURS EN ELEMENTS TRACES
 - 2.1. Sols rouge ferrallitique sur embréchite
 - 2.2. Sols à sesquioxydes de fer-ferrugineux tropicaux.
 - 2.3. Sol brunifié-eutrophe tropical
 - 2.4. Sol sodique à structure dégradé - Solonetz solodise.
- III. DISCUSSION
 - 3.1. Influence de la roche-mère
 - 3.2. Rôle de la pédogénèse
 - 3.3. Autres facteurs.
- IV. CONCLUSION
- X. BIBLIOGRAPHIE

I N T R O D U C T I O N

La Recherche des éléments traces dans les sols des régions tropicales présente un intérêt du fait que jusqu'à nos jours peu des résultats existent dans ce domaine. C'est pourquoi une étude générale sur la distribution des éléments traces dans des sols tropicaux a été entreprise il y a quelques années par le service de spectrographie de l'ORSTOM.

Le but d'étude était :

- Vérification des niveaux de connaissance actuelle sur l'état des éléments traces dans les sols.
- Recherche des corrélations entre les constituants majeurs des sols et les éléments traces.
- Evaluation de l'importance du rôle de différents facteurs pédogénétiques susceptibles d'être responsables de leur distribution.
- Mise en évidence du caractère géochimique des grandes classes des sols tropicaux.

Les Sols du Cameroun ont un attrait particulier pour une telle étude à cause de leur variété pédogénétique et surtout de leur caractère marqué par un rajeunissement dû au volcanisme récent au Centre et par une puissante érosion au Nord.

BACHELIER, G. 1959 ; DIXEY, F. 1955 ; GAZEL, J. 1958 ; GEZE, B. 1943 ;
HUMBEL, F.X. 1967 ; JACQUES-FELIX, H. 1960 ; LASSERRE, M. 1961 ;
MARTIN, D. 1962 ; MARTIN, D. 1965 ; MARTIN D. et SEGALEN P. 1966 ;
PIAS, J. et GUICHAURD, E. 1957 , RUHE, R.V. 1954 ; SEGALEN, P. (1958 ;
SEGALEN, P. 1962 ; SEGALEN, P. 1967 .

Notre travail porte sur 18 profils de sols de six classes différentes (AUBERT et al. 1967) : 6 sols ferrallitiques, 4 sols à sesquioxydes de fer, 2 sols brunifiés, 2 sols sodiques, 2 sols hydromorphes et 2 vertisols.

Nous donnerons dans cette note les descriptions et les résultats analytiques pour 4 profils des classes géographiquement les plus étendues, caractéristiques au point de vue de la distribution des éléments traces. Il va de soit que les observations et les conclusions seront valables pour l'ensemble des sols étudiés.

I. METHODES D'ANALYSE

Les méthodes utilisées pour l'analyse des constituants majeurs des Sols sont celles utilisées dans tous les laboratoires de l'ORSTOM (NALOVIC, L. et al. 1968).

Les déterminations des éléments traces ont été effectuées par spectrographie d'émission dans l'arc (PINTA, M. 1961), méthode décrite en détail dans la précédente note (NALOVIC, L. et PINTA, M. 1969 / 70).

L'amélioration apportée à la méthode a été l'utilisation de palladium comme étalon interne. Les résultats obtenus sur les échantillons de contrôle soumis à l'analyse plus de trente fois nous ont donné une erreur inférieure à 5 % ce qui nous permet de considérer la méthode utilisée comme quantitative.

Les éléments recherchés sont : argent, baryum, bore, bismuth, césium, chrome, cobalt, cuivre, étain, gallium, germanium, lithium, manganèse, molybdène, nickel, plomb, rubidium, strontium, vanadium, zinc et zirconium.

II. C A R A C T E R E S G E N E R A U X D E S
P R O F I L S D E S O L S E T U D I E S

2.1. SOL ROUGE FERRALLITIQUE SUR EMBRECHITE

Description

Profil HY. 61/65 (HUMBEL, F.X. 1964).

Situation : Yaoundé Aéroport.

X = 777.7 Y = 424.1 ; Z = 700 m.

Climat : équatorial à deux saisons des pluies P = 1480 mm ; T = 23°5.

Unité géomorphologique : éléments de plateau.

Topographie : pente 40 % SE.

Drainage : bon, modifié par talus.

Roche mère : Embréchite granitifère à biotite.

Morphologie :

- 0 - 60 : horizon concrétionné de faible cohésion emballé dans une
B2 matrice argileuse 2,5 YR 4/6 imposant sa teinte et tachant
 les concrétions ; vraies concrétions, inférieures au cm
 généralement pâte rouge, poreuse, dure avec de fins éclats
 de quartz hyalin ; cuticule jaune fréquente ; patine brun-
 noirâtre ; surfaces lisses et arrondies.
 Passage net (cohésion).
- 60 -200 : horizon concrétionné nettement plus cohérent. Concrétions
B2 plus nombreuses, jointives, plus irrégulières mais moins
 dures, le marteau les sectionne sur le profil ; taille dé-
 passant souvent 2 cm ; pâte violacée, poreuse ; cuticule
 jaune épaisse ; patine discontinue brun rouge. Matrice peu
 abondante, moulant parfois les concrétions, teinte rouge
 10 R 4/4 qu'elle impose à l'horizon. De 180 à 200 les concrétions
 augmentent en taille et irrégularité, elles adhèrent
 légèrement ; passage progressif.
- 200 -430 : horizon concrétionné avec une matrice argileuse, rouge
B₂fe 2,5 YR 4/6 de plus en plus abondante vers le bas ; structurée
 en polyèdres friables. Les concrétions sont dans le 1er mètre
 de grande taille (3 à 4 cm) de forme torturée; irrégulière,
 jointives ; puis on n'observe plus que des petites concrétions
 (5 mm) dures à patine noire mélangée à des fragments
 de mica blanc. Vers la base la structure polyédrique s'élargit
 et les concrétions sont remplacées par des taches 10 YR
 6/6. Limite irrégulière (cet horizon pénètre jusqu'à 5 m de
 profondeur).

- 430 - 550 : horizon juxtaposant des enclaves des horizons qui l'encadrent.
BC Plages bariolées, blanc, gris, jaunâtre et mauves, discontinues à l'emplacement de minéraux altérés ; ces plages coïncident avec les limites d'agrégats ; horizon friable riche en sables et limons.
- 550 - 600 : horizon de passage à roche altérée ; friable, poreux, texture
C sablo-limoneuse ; gros feldspaths blanc pulvérulents ; teinte finement polychrome, rouge violacé-jaune brun, un peu de vert, noirâtre et de rose.
- 600 : jusqu'au bas, roche altérée décrite ci-dessus.

CARACTERES PHYSIQUES ET CHIMIQUES

- Réaction : L'ensemble du sol est acide avec un minimum dans l'horizon brun-rouge concrétionné (pH 4,9).
- Granulométrie : L'horizon de surface (B₂) contient le maximum d'argile avec un rapport limon/argile de 0,14.
Le taux d'argile diminue avec la profondeur lorsque le rapport limon/argile augmente pour atteindre 1,5 dans la roche altérée. Le sable varie peu et se maintient autour de 50 %.
- Matière Organique : Le taux de la matière organique est insignifiant car nous sommes en présence d'un sol récent tronqué par l'action de l'homme.
- Complexe absorbant : Le sol est pauvre en éléments échangeables et la capacité d'échange du complexe est également très faible. Le pourcentage de saturation varie entre 10 et 20 % (sol fortement désaturé).
Le rapport SiO₂/Al₂O₃ est de 2 dans le sol et passe à 1,8 dans les horizons d'altération. La fraction fin contient beaucoup de produits amorphes et kaolinites.

ELEMENTS TRACES

Ce profil de sol ferrallitique sur embréchite peut être divisés en deux parties nettement différentes au point de vue de la teneur en éléments traces. Les horizons du sol (N^{os} 61-62 et 63) sont très riches par rapport aux horizons d'altération de la roche N^{os} 64 et 65). Les teneurs

maximales en éléments alcalins et alcaline terreux (litium, rubidium, strontium et barium) et en zirconium sont observées par contre dans les horizons d'altération. Les taux de nickel et cobalt sont semblables dans les deux parties du profil.

Les éléments : argent bismuth étain, germanium, molybdène, zinc et césium n'ont pas pu être décelés dans ce profil de sol. Les résultats analytiques sont présentés dans le tableau I.

T A B L E A U I

Sol rouge ferrallitique sur embréchite

Horizons	Profondeur en cm	Argile < 0,002 mm	Limon 0,002-0,05 mm	Sable > 0,05 mm	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O	M.O	pH
HY- 61	0 - 60	42.1	6.6	50.3	27.4	20.5	22.4	0.5	5.3
62	60 -200	26.1	10.5	62.0	26.1	26.5	25.0	0.1	4.9
63	200 -430	34.2	13.0	51.2	26.0	25.9	21.8	0.1	5.1
64	430 -550	30.3	32.9	35.6	25.3	10.5	23.9	-	5.2
65	550 -600	19.1	28.0	52.3	23.3	9.7	21.1	-	5.3

Eléments traces (p.p.m.)

	B	Mn	Pb	Ga	Cr	V	Cu	Zr	Ni	Co	Sr	Ba	Li	RB
HY-61	12.6	540	45	37.7	1120	296	138.6	155	65	19.3	9	18	9	27
62	17.2	322	19.4	37	1262	530	133.5	243	39	<2.6	<8.8	8.8	<8.8	<26.5
63	6.9	344	74	72	1220	416	163	100	80	10.4	<9	9	9	<27
64	<2.7	82	4.4	13.2	281	250	9.4	500	69	12.2	45	73	18.1	27.2
65	<2.7	78	5.3	12.7	472	154	9.9	490	64	12.7	36.3	227	18.2	27.2

2.2. SOL A SESQUIOXYDES DE FER - FERRUGINEUX TROPICAL

Description

Profil Tou-41/48 (HUMBEL, F.X. 1965)

- Situation : Touboro (Benoué).
X = 848.4 ; Y = 535 ; Z = 530 m.
- Climat : Tropical Nord ; P = 1370 mm ; T = 28°.
- Unité géomorphologique : glacis (pente 0,5 % Sud) incisé par une reprise d'érosion.
- Topographie : plateau de 2 km sur une ligne de partage des eaux ; pente nulle.
- Drainage : interne moyen, externe lent.
- Erosion : en nappe.
- Végétation : tapis graminéen serré, quelques beaux arbres (Daniella oliveri) et des repousses arbustives (Terminalia avicennioides, Piliostigma thonningii).
- Roche mère : granite leucocrate, calco-alcalin.
- Morphologie :
- 0.1 - 10 : horizon gris clair (2,5 YR 6/2) brun foncé en humide
A1 10 YR 3/3 ; texture sableuse, un peu argileuse ; sables grossiers anguleux tachés de gris ; quelques sables orangés plus arrondis et calibrés.
 - 10 - 18 : Structure formée d'éléments sphériques et grumeleux (5-30 mm)
A1 juxtaposés sans adhérer, provenant des constructions de vers ; cohésion moyenne de ces éléments d'où une forte porosité et cavités (5-20mm) ; la porosité tubulaire fine est élevée aussi ; toutes deux sont utilisées par un chevelu racinaire dense. Cet horizon peut atteindre 30 cm. L'horizon suivant est alors réduit et se présente comme une transition à l'horizon lessivé. Passage irrégulier et peu net.
 - 18 à 30 : horizon de même teinte mais nuance ocre à l'intérieur des
A1 agrégats ; même texture, les sables sont tachés de gris. Structure peu développée, polyédrique (20-50 mm), les agrégats résistent sensiblement à la pression mais se pulvérisent à la rupture. Cavités nombreuses mais incluses dans la masse dont la cohésion est notable ; passage net.
 - 30 à 45 : Horizon interprété comme étant lessivé en argile et en fer.
A2 Horizon beige 10 YR 6/4 brun rouge en humide 5 YR 4/4 ; sableux, peu argileux ; structure fondue, débit en polyèdres de cohésion moyenne ; assez dur ; porosité tubulaire et d'interstices élevée ; pas de cavités, quelques grosses racines et chevelu fin. Passage progressif de couleur et texture.
 - 50 à 110 : Horizon d'accumulation d'argile et de fer ; couleur rouge-
B2 jaune (5 YR 5/8) sec et humide ; texture devenant sablo-argileuse. Structure polyédrique (10-30 mm) pulvérisation des agrégats après une certaine résistance ; horizon assez dur, d'aspect fondu. Nombreux restes de minéraux (feldspaths et

ferromagnésiens s'écrasant au doigt) zones d'argilification plus violacées peu tranchées ; quelques concrétions (2 à 8 mm) cassables à la main ; intérieur noir. Cuticule rouille fréquente ; enracinement peu développé ; porosité tubulaire grossière et cavités de la faune. Passage progressif.

- 110 - 160 : Argilisation peu importante ; texture sablo-argileuse ;
BC structure fondue, enracinement faible. Fins débris minéraux donnent un piquetage blanc et rouille.
- 160 - 250 : Arène jaune blanche et brune ; texture sablo-argileuse.
C

CARACTERES PHYSIQUES ET CHIMIQUES

Réaction : Le pH est faiblement à moyennement acide avec un maximum de 6,5 dans l'horizon de surface et un minimum de 5,6 dans l'horizon d'accumulation d'argile et de fer.

Granulométrie : Le taux d'argile augmente régulièrement avec la profondeur et passe de 10 à 28 %, alors que le taux de limon demeure plutôt constant. Le rapport limon/argile varie entre 2 en surface et 0,6 en profondeur. Le taux de la fraction grossière diminue largement avec la profondeur.

Matière organique : Les teneurs en matière organique sont faibles dans les horizons de surface, avec un rapport C/N de 15 et deviennent négligeables à partir de 1 m de profondeur.

Complexe absorbant : La capacité d'échange est faible (3 - 6 meq %) avec un taux de saturation qui varie entre 70 % en surface et 40 % en profondeur. Le complexe est assez bien pourvu en calcium et magnésium. Les réserves minérales sont faibles. Le rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ est de 2,3 en surface et varie entre 1,8 et 2 dans les horizons de profondeur. La fraction argileuse contient beaucoup de produits amorphes, kaolinite et montmorillonite.

ELEMENT TRACES

Dans ce profil de sol ferrugineux tropicaux on observe une décroissance des teneurs en bore, manganèse, plomb, alcalins et alcalino-terreux avec la profondeur jusqu'aux horizons d'altération (BC et C), mal-

gré une teneur croissante en constituants fins !!!

Faut-il associer cette décroissance avec la teneur croissante en produits amorphes à partir de 50 cm de profondeur ?

Il faut remarquer que les métaux : vanadium, cuivre, nickel et cobalt sont plus abondants dans les horizons d'accumulation de fer (voir formes amorphes).

La teneur en zirconium plus élevée dans l'horizon le plus pauvre en tous les éléments traces étudiés (N° 45) mérite une attention particulière compte tenu de sa résistance à l'altération.

Les horizons d'altération reflètent surtout l'influence de la roche mère - beaucoup d'alcalins et d'alcalino-terreux - peu de métaux et de zirconium.

Les éléments argent, bismuth, étain, germanium, molybdène, zinc et césium n'ont pas été décélés dans ce profil du sol. Les résultats analytiques sont présentés dans le tableau II.

T A B L E A U II

Sol à sesquioxydes de fer - ferrugineux tropical

Horizons	Profondeur en cm	Argile <0.002 mm	Limon 0,002-0,05 mm	Sable > 0.05 mm	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	M. O.	pH
Tou - 41	0.1-10	9.6	21.5	67.7	4.87	3.63	1.40	1.45	6.5
42	10-18	10.4	19.7	68.4	4.39	3.59	1.35	1.40	6.2
43	18-30	11.6	16.6	70.3	4.91	4.24	1.55	1.07	6.2
44	30-45	13.8	17.1	68.4	5.59	4.65	1.65	0.82	5.9
45	45-100	26.1	14.6	58.2	13.21	12.27	3.60	0.36	5.6
46	100-110	25.6	18.0	55.6	14.59	14.03	4.70	0.19	5.7
47	110-160	27.5	16.9	55.0	17.34	14.42	4.30	0.12	5.8
48	160-250	27.8	15.4	56.0	19.19	15.36	4.40	0.12	5.8

Eléments traces (en p.p.m.)

	B	Mn	Pb	Ga	Cr	V	Cu	Zr	Ni	Co	Sr	Ba	Li	RB
Tou-41	18.2	1460	114	44	33.6	38.4	7.3	180	4.2	4.1	970	1950	9.7	1460
42	12.2	487	132	47	46	43	5.7	229	3.7	3.7	780	1460	<9.7	974
43	3.2	380	107	40	36	43	5.4	195	2.9	3.1	780	1460	<9.7	973
44	8	318	87	43	40	48	6.5	174	6.4	5.0	580	770	<9.6	770
45	<2.9	181	19	18	20	61	4.6	560	8.9	12.8	286	950	19	190
46	<2.8	378	57	44	<9.4	64	8.5	116	6.5	13.2	378	1130	18.9	236
47	<2.8	680	43	48	<9.4	58	7.3	94	7.6	8.1	660	1420	23.6	330
48	<2.8	638	73	66	<9.4	58	9.2	61	5.4	7.5	840	1870	18.7	328

2.3. SOL BRUNIFIE - EUTROPHE TROPICAL

Description

Profil NGD - 1051/1055 (HUMBEL, F.X. 1965).

Situation : Darang (Adamaoua).

X = 816,5 ; Y = 334,3 ; Z = 1110 m.

Climat : Tropical humide d'altitude ; P = 1575 ; T = 22°2.

Unité géomorphologique : Piedmont Ouest d'un volcan récent (Strombolien).

Topographie : raccord concave, à 50 m du bas de pente (2 % W).

Drainage : interne bon

Erosion : nulle

Végétation : tapis graminéen et quelques arbres.

Roche mère : basalte à olivine (projection de lave scoriacée).

Morphologie :

- 0 - 10 : horizon plus brun que 10 YR 4/3 (2/2 humide); poudre plus
A1 jaune ; limono-argileux ; fortement structuré ; polyèdres fins peu fragiles ; quelques noyaux plus résistants. Forte porosité tubulaire ; chevelu radicellaire fin. Limite distincte de structure.
- 10 - 25 : horizon brun 10 YR 4/3 (2/2 humide) ; limono-argileux ;
A1 moyennement structuré ; polyèdres émoussés grossiers, friables en grumeaux moyens (sous structure) ; morceaux de brique (ou de cuisson de sol) ; enracinement moyen. Limite distincte de couleur et texture.
- 25 - 83 : horizon brun rouge foncé 5 YR 3/3 (3/2 humide) plus rouge
B à partir de 55 cm ; poudre plus jaune ; argilo-limoneux ;

Fortement structuré ; polyèdres moyens durs sous structure plus fine ; l'intérieur des agrégats moins foncé ; forte porosité tubulaire ; enracinement bien réparti. Limite distincte par éléments grossiers et texture.

- 83 - 150 : horizon de morceaux de basalte et granite dans une matrice
C I brun-rouge foncé, de moins en moins abondante, sablo-limoneuse.
- Basalte bulleux plus ou moins friable altération rouille 7,5 YR 6/8 de l'olivine.
 - Granite (arraché au socle) souvent emballé dans la lave. Matrice 5 YR 3/3,5 ; forte porosité de cavités. Limite distincte.
- 150 : horizon 5 YR 3/4 gravelo-argileux formé de cendre et lapillis
C II plus ou moins argilisés, friable et frais.

CARACTERES PHYSIQUES ET CHIMIQUES

Réaction : Le pH du sol est faiblement acide avec un minimum dans l'horizon rougi et fortement structuré (B).

Granulométrie : Le taux de la partie fine se maintient entre 20 et 30 % sauf dans l'horizon mentionné ci-dessus où il est de 56 %. Le rapport limon/argile diminue avec la profondeur de 1,4 à 1. La fraction sableuse est de 30 % dans les premiers 25 cm de profil puis brusquement diminue presque à moitié dans l'horizon rougi, et puis devient 50 % dans l'horizon d'altération.

Matière organique : Le taux de matières organiques est élevé (9 %) et se maintient jusque dans les horizons d'altération (4,4 %). Le rapport C/N varie de 14 en surface à 18 cm en profondeur.

Complexe absorbant : La capacité d'échange du sol est élevée et diminue avec la profondeur de 32 à 22 meq %. Le complexe est bien pourvu en bases, surtout en magnésium et le taux de saturation est aux environs de 40 % dans l'ensemble de sol. Les réserves minérales sont bonnes surtout en magnésium (170 meq % dans l'horizon de l'altération).

Le rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ est de 1,6 dans le sol et 1,8 dans l'horizon d'altération. Ces sols peu évolués, contiennent beaucoup de produits amorphes : allophanes, oxydes de fer et d'alumine.

ELEMENTS TRACES

Ce profil de sol brunifié eutrophe tropical se caractérise par des teneurs très élevées en manganèse, gallium, chrome, vanadium, cuivre, nickel, cobalt et baryum. Les teneurs en éléments alcalins, alcalino-terreux, bore et plomb sont faibles par rapport aux autres sols du Cameroun étudiés. Encore une fois nous pouvons dire que la fraction fine très riche en formes amorphes d'hydroxydes de fer et d'alumine, peut être responsable d'avoir conservé des teneurs si élevées en éléments traces fournis par la roche mère.

Nous constatons aussi que les variations des teneurs en éléments traces étudiés avec la profondeur sont très faibles, car il s'agit d'un sol relativement jeune sur lequel la pédogénèse n'a pas eu de temps d'agir.

Comme dans tout les autres sols du Cameroun les teneurs en argent, bismuth, étain, germanium, molybdène, zinc et cesium sont au-dessous de limites inférieures de notre méthode. Les résultats analytiques sont présentés dans le tableau III.

TABLEAU III

Sol brunifié - eutrophe tropical

Horizons	Profondeur en cm	Argile < 0.002 mm	Limon 0,002-0,05 mm	Sable > 0.05 mm	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	M. O.	pH
NGD-1051	0 - 10	30.2	42.2	25.0	18.8	16.8	15.6	9.1	6.2
1052	10 - 25	26.5	41.2	30.6	19.4	20.2	14.7	7.4	6.2
1053	25 - 83	55.7	24.8	18.1	22.8	22.8	15.5	4.4	5.9
1054	83 - 150	21.0	27.4	50.1	23.4	22.2	17.6	0.9	6.6

Eléments traces (en p.p.m.)

	B	Mn	Pb	Ga	Cr	V	Cu	Zr	Ni	Co	Sr	Ba	Li	RB
EGD-1051	3.3	2400	20	32.6	192	106	54	1390	196	39	8.2	245	8.2	24.5
1052	3.5	2690	27.7	54	277	139	67	1220	227	44	16.8	420	16.8	25.2
1053	2.8	2760	22.4	147	198	138	72	673	224	44	12.9	300	17.3	34.5
1054	2.7	1535	9.5	140	307	167	59	452	630	51	13.5	253	9	27

2.4. SOL SODIQUE A STRUCTURE DEGRADEE - SOLONETZ SOLODISE

Description

Profil FH 80/85 (HUMBEL, F.X. 1964)

Situation : Mogom (Diamaré) ;
 X = 1160,8 ; Y = 430,6 ; Z = 380 m.
 Climat : Tropical (Soudano-sahélien) ; P = 800 mm ; T = 28°5.
 Unité géomorphologique : plaine alluviale (bassin du Tchad).
 Topographie : sommet d'un interfluve très surbaissé, pente nulle.
 Drainage : externe et interne mauvais.
 Erosion : en nappe.
 Végétation : sol nu avec quelques arbres et des plages de guiera senegalensis, Tamarindus indica et Faidherbia albida.
 Roche-mère : alluvions anciennes argilo-sableuses (sables fins).

Morphologie :

- O - 10 : horizon gris clair (10 YR 7/2, 4/2 en humide), peu humifère ;
 A11 sableux fin, un peu argileux (15 %) et limoneux (15 %) ;
 structure polyédrique peu développée ; agrégats assez cohérents ; plages gris blanchâtre et petites taches rouille plus abondantes à la base ; porosité tubulaire fine assez bonne ; fines racines abondantes, bien réparties ; petits graviers rubéfiés.
- 10 - 20 : horizon brun plus ou moins foncé en plages distinctes
 A12 (10 YR 7/3 à 5/3, 4/2 à l'état humide) et taches rouille plus vastes (10 mm) ; même texture ; structure mieux développée ; cohésion moindre des agrégats ; porosité tubulaire moyenne plus développée.
 Limite tranchée de couleur, texture, structure.
- 20 - 30 : horizon blanc à gris clair (10 YR 7,5/2, 4,5/2 humide) ;
 A2 sablo-argileux (60 % de sables fins) ; structure polyédrique fine bien développée, agrégats cohérents ; surstructure prismatique nette. La surface des agrégats est recouverte de sable blanc, poudreux, donnant la teinte de l'horizon ; l'intérieur des agrégats, plus brun est marqué par des grains rouille autour de certains pores ; forte porosité tubu-

laire ; nombreuses racines horizontales assez grosses ; à la base ligne poudreuse blanche sableuse épaisse de 3 cm, s'excauant au passage du doigt ou même spontanément. Il n'y a pas continuité des fentes de la structure prismatique de part et d'autre de cette ligne.
Limite brutale.

30 - 90 : horizon brun 10 YR 5/3 ; 2,5 Y 5/2 à l'état humide ; argilo-
AB sableux (50 % de sables fins) ; structure prismatique nette, fine de 30 à 40 cm tendance columnaire peu marquée, puis grossière et difficile à développer de 40 à 60 cm, massive ensuite coïncidant avec une porosité très faible ; sous-structure polyédrique de moins en moins facile ; humectation difficile ; sonore, compact ; petites concrétions noires abondantes à la base.
Limite graduelle.

90 - 120 : horizon d'accumulation des sesquioxides et des carbonates
B2 couleur brun jaune pâle, 10 YR 6/4 (2,5 Y 6/3 en humide) avec des taches rouille (10 YR 5/6) ; argilo-sableux ; structure polyédrique fine bien développée avec agrégats de cohésion moyenne à faciès lissées ; humectation plus facile ; frais, bien moins compact ; mouchetage par des concrétions ferromanganiques, noires (2 à 3 mm) ; nodules calcaires, friables, ronds, de quelques millimètres.

CARACTERES PHYSIQUES ET CHIMIQUES

Réaction : Le pH du sol est faiblement acide en surface, puis neutre vers 50 cm de profondeur, puis devient basique (pH 8.4) en profondeur.

Granulométrie: Le taux d'argile est de 15 à 25 % dans les premiers 30 cm du profil et se maintient autour de 37 % dans le reste du profil. Le rapport limon/argile est de 3 en surface !!! et décroît avec la profondeur jusqu'à 0,8. Le sable est distribué d'une façon uniforme sauf entre 10 et 20 cm de profondeur où il est plus abondant.

Matière organique: Le taux de matière organique est très faible dans l'ensemble du profil et le rapport C/N varie entre 12 et 8.

Complexe absorbant : La capacité d'échange est faible à moyenne et passe de 9 en surface à 20 meq % en profondeur. Le complexe absorbant est bien pourvu en calcium et magnésium et faiblement en potassium et sodium (1). Le taux de saturation est autour de

(1) Ce type de sol a été rapproché des sols solonchiques (solonetz solodisé), par ses caractères morphologiques bien que ses teneurs en Na échangeables soient souvent insuffisantes (BOCQUIER - 1964).

90 % et devient supérieur à 100 % à partir de 70 cm de profondeur.

Le rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ montre la même discontinuité que la distribution granulométrique. Il est de 2.4 dans les premiers 10 cm de profondeur puis 2 jusqu'à 50 cm pour devenir 3 et 3,6 dans l'horizon d'accumulation de sesquioxydes et de carbonates.

ELEMENTS TRACES

Ce sol, localement appelé "HARDE" et "NAGA" (au Tchad), qui présente des difficultés de classification, a été étudié ici à cause de ses caractères morphologiques particuliers et de son intérêt local.

On observe comme pour les autres caractères physiques, une discontinuité des teneurs en éléments traces entre l'horizon de surface (0-10 cm) et l'horizon sous-jacent. Les éléments : bore, manganèse, plomb, gallium, chrome, cuivre nickel et cobalt, montrent des teneurs nettement plus élevées dans les premiers 10 cm du profil que dans l'horizon de 10 à 20 cm.

Par contre les teneurs en éléments alcalins et alcalino-terreux sont plus faibles dans l'horizon de surface que dans tous les autres horizons de profondeur.

Si la forte teneur en zirconium dans l'horizon blanchi (20 à 30 cm) peut être attribuée, étant donné sa résistance à l'altération, à une accumulation relative dû à l'appauvrissement de l'horizon supérieur, il n'en est pas de même pour l'horizon de surface, où il s'agit plutôt d'une accumulation absolue.

Dans le même sens peuvent être interprétées les teneurs croissantes des éléments traces métalliques à partir de 20 cm de profondeur qui dans un milieu neutre à basique et réducteur tendent à s'accumuler.

Il est donc possible que dans notre cas, un matériau géochimiquement différent ait été apporté sur un sol en voie de dégradation par le lessivage et par l'hydromorphie.

Les teneurs en éléments traces sont moyennes sauf pour les éléments alcalins et alcalino-terreux.

Les éléments : argent bismuth, étain, germanium, molybdène, zinc et césium, encore une fois n'ont pas été décelés. Les résultats analytiques sont présentés dans le tableau IV.

T A B L E A U IV

Sol sodique à structure dégradée - Solonetz solodisé

Horizons	Profondeur en cm	Argile < 0.002 mm	Limon 0,002-0,05 mm	Sable > 0.05 mm	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	M. O.	pH
FH - 80	0 - 10	16.0	48.7	34.0	5.8	4.0	2.0	1.4	6.2
81	10 - 20	21.8	34.9	42.7	9.2	7.6	2.6	0.5	6.3
82	20 - 30	25.0	38.3	36.3	9.8	7.7	3.8	0.4	6.6
83	30 - 70	37.5	29.2	32.7	15.8	12.4	4.8	0.3	7.3
84	70 - 90	36.9	26.6	35.7	17.8	10.1	4.0	0.2	8.4
85	90 - 120	37.1	30.3	32.7	20.3	9.5	4.6	0.1	8.4

Eléments traces (en p.p.m.)

	B	Mn	Pb	Ga	Cr	V	Cu	Zr	Ni	Co	Sr	Ba	Li	RB
FH - 80	11.7	438	35	37.4	78	66	13.8	593	12.2	7	175	438	14.6	97
81	2.9	233	30	22.3	42	69	8.7	213	11.4	2.9	213	776	97	388
82	< 2.9	369	42	26.2	48	79	10.7	834	13.1	4.6	155	678	78	290
83	7.5	325	12	17.2	63	69	20	497	22	10.1	239	670	67	191
84	5.2	334	6.3	12.4	55	78	20	716	25.3	14.5	115	620	19	67
85	5.7	495	4.4	7.1	75	71	16.7	810	26.7	16.7	286	810	67	95

III. D I S C U S S I O N

Le rôle du matériau originel pour la distribution des éléments traces dans le profil génétique de sol est connu depuis longtemps et nous l'avons constaté nous-mêmes dans nos travaux sur les sols de Madagascar (HERVIEU, J. et NALOVIC, L. 1965 ; NALOVIC, L. et PINTA, M. 1969/70).

Nous avons également vérifié (NALOVIC, L. 1969) que le rôle de la pédogénèse est très important dans cette distribution étant donné les différences de composition géochimique des classes des sols étudiés.

Nous avons essayé dans cette courte note sur les sols du Camcroun d'évaluer les rôles et les domaines d'influence respectifs de ces deux facteurs majeurs que sont la roche-mère et la pédogénèse sans entrer dans l'étude détaillée des différents agents pédogénétiques qui peuvent intervenir dans la distribution des éléments traces.

3.1. INFLUENCE DE LA ROCHE-MERE

Parmi tous les sols étudiés, ce sont les sols brunifiés-eutrophes qui sont les plus riches en éléments traces (Tableau V).

Ces sols relativement jeunes, développés sur basaltes, très riches en éléments traces, reflètent surtout le caractère de la roche-mère.

On constate que les roches éruptives (basalte, syénite, granite, granodiorite) et métamorphiques (micaschiste, embréchite) donnent en général des sols plus riches en éléments traces que les roches sédimentaires (grès, alluvions), quelle que soit la pédogénèse superposée.

On observe également que les vertisols, les sols ferrallitiques rouges et certains sols à sesquioxydes de fer sont riches et semblables au point de vue des teneurs en éléments traces étudiés. D'autre part, les sols hydromorphes et les sols ferrallitiques jaunes sont aussi semblables mais plus pauvres que les premiers quelle que soit la roche-mère.

TABLEAU V.- Eléments traces totaux (*)
(Σ Mn, Pb, Ga, Cr, V, Cu, Ni, Co, Sr, Ba, Li, Rb)

Sols ferrallitiques	Sols à sesquioxydes de fer	
1. _____		Sols brunifiés eutro- phes sur basalte (6,61)
2. rouge sur basalte (5,66)		
3. _____		Vertisol sur mica- schiste (4,48)
4. _____	sur syenite (4,25)	
5. _____	sur granite (4,03)	
6. _____	sur micaschiste (3,40)	
7. rouge sur embréchite (3,07)		
8. _____		Vertisol sur grano- dorite (2,96)
9. rouge sur basalte (2,70)		
10. _____		Sols sodiques (2,58)
11. ocre sur embréchite (1,75)		
12. jaune sur micaschiste (1,36)		
13. _____		Sols hydromorphes (1,25)
14. jaune sur argile-sableu- se ferrallitique (1,13)		
15. _____	sur grès (0,63)	

Ces différences entre les sols peuvent-elles être attribuées d'une façon catégorique à l'influence de la pédogénèse ?

Pour répondre à cette question nous avons d'abord comparé les te- neurs moyennes en éléments traces totaux des altération (horizons BC et C) des différentes roches, sans tenir compte du type de la pédogénèse (Tableau VI).

Nous pouvons constater que l'ordre établi correspond sans exception à une classification des roches d'après leur richesse chimique.

Donc même sous le climat brutal des régions tropicales, les horizons d'altération ont conservé les caractères géochimiques du matériau originel.

(*) (Les résultats entre parenthèse présentent la somme des teneurs moyennes des douze éléments traces les plus fréquents, en milimols % de sol - sèche à 105°C).

TABLEAU VI.- Eléments traces dans les horizons d'altération (BC et C).

Métaux lourds (Mn, Pb, Ga, Cr, V, Cu, Ni, Co)		Alcalins et alcalino-terreux (Sr, Ba, Li, Rb)	
1. basalte	(5,10)	1. granite	(2,74)
2. micaschiste	(2,67)	2. syénite	(2,07)
3. embréchite	(1,53)	3. granodiorite	(1,59)
4. granodiorite	(1,45)	4. micaschiste	(0,85)
5. granite	(1,45)	5. argile-sableuse ferralli-	
6. syénite	(1,43)	tique	(0,64)
7. argile-sableuse fer-		6. basalte	(0,62)
rallitique	(0,78)	7. grès	(0,48)
8. grès	(0,25)	8. embréchite	(0,38)

(Somme des teneurs moyennes en milimols ‰)

3.2. ROLE DE LA PEDOGENESE

Le caractère géochimique hérité de la roche mère commence à se modifier si on monte dans le "Solum" (horizons de la pédogénèse). Dans quelle mesure ce caractère géochimique peut-il être modifié ou conservé, selon le type et le degré d'évolution du "Solum" ?

Pour essayer de mettre en évidence le rôle des facteurs pédogénétiques nous avons comparé les différents types de sols d'après leurs teneurs en éléments traces alcalins et alcalino-terreux dans les horizons du "Solum" (horizons A et B). Bien que l'ordre des sols établi d'après les teneurs de ces éléments très mobiles, reflète encore le caractère géochimique du matériau originel (Tableau VII), les résultats de l'action des facteurs pédogénétiques commencent à apparaître.

On observe que les différents sols développés sur un matériau de même composition chimique ont des teneurs en éléments alcalins et alcalino-terreux très différentes. Un sol à sesquioxydes de fer, est plus riche en : lithium, rubidium, strontium et baryum, qu'un vertisol et beaucoup plus riche qu'un sol ferrallitique jaune, bien que tous les trois aient des horizons d'altération semblables au point de vue teneurs en ces éléments.

On observe également que les sols sodiques et les vertisols sont semblables et plus riches que les sols ferrallitiques, sols hydromorphes et sols brunifiés, quelle que soit la roche sous-jacente.

TABLEAU VII.- Alcalins et alcalino-terreux dans le "Solum"
(horizons A et B).

Sols ferrallitiques	Sols à sesquioxydes de fer	
1. _____	sur granite	(2,68)
2. _____	sur syénite	(2,31)
3. _____		Sols sodiques (1,57)
4. _____	sur micaschiste	(1,47)
5. _____		Vertisol sur micaschiste (1,01)
6. _____		Vertisol sur granodiorite (0,90)
7. rouge sur basalte	(0,72)	
8. _____		Sols hydromorphes (0,58)
9. _____		Sols bruns eutrophes sur basalte (0,55)
10. jaune sur argile-sableuse ferrallitique	(0,36)	
11. ocre sur embréchite	(0,30)	
12. rouge sur basalte	(0,30)	
13. jaune sur micaschiste	(0,25)	
14. _____	sur grès	(0,19)
15. rouge sur embréchite	(0,14)	

(Somme des teneurs moyennes en milimols %)

Il est intéressant de remarquer que dans les sols à sesquioxydes de fer et les vertisols les éléments alcalins et alcalino-terreux ont tendance à s'accumuler dans le "Solum" par rapport aux horizons d'altération (Tableau VI et VII).

L'importance des différents facteurs pédogénétiques ne peut être vue sous son vrai jour que si on compare les différents types de sols d'après leur teneurs en métaux lourds dans le "Solum" Tableau VIII. Ces éléments moins mobiles que les éléments alcalins et alcalino-terreux ont tendance à s'accumuler (précipiter ?) avec les hydroxydes de fer et probablement d'alumine, mais dans des proportions qui sont différentes de celles existantes dans le matériau originel.

TABLEAU VIII.- Métaux lourds dans le "Solum"

Sols ferrallitiques		Sols à sesquioxydes de fer	
1.	_____		Sols brunifiées-eutrophes sur basalte (5,50)
2.	rouge sur basalte (5,23)		
3.	rouge sur embréchite (4,10)		
4.	_____		Vertisol sur micaschiste (3,38)
5.	_____ sur micaschiste (3,12)		
6.	rouge sur basalte (1,99)		
7.	_____		Vertisol sur granodiorite (1,98)
8.	_____ sur syénite (1,50)		
9.	ocre sur embréchite (1,28)		
10.	_____ sur granie (1,21)		
11.	_____		Sols sodiques (0,01)
12.	_____		Sols hydromorphes (0,67)
13.	jaune sur argile-sableuse ferrallitique (0,48)		
14.	jaune sur micaschiste (0,41)		
15.	_____ sur grès (0,34)		

(Somme des teneurs moyennes en milimols %).

A l'examen des tableaux VI et VIII on constate une accumulation des métaux lourds dans les "Solum" de tous les profils de sols étudiés sauf dans les sols ferrallitiques jaunes. D'autre part on observe que les sols ferrallitiques rouges sont plus riches en métaux lourds que les sols ferrallitiques jaunes, quels que soient leur degré de désaturation et la roche sous-jacente.

Vu les teneurs élevées en éléments traces métalliques des sols brunifiés et de tous les sols rouges étudiés, on ne peut pas s'empêcher de penser au rôle possible des formes amorphes du fer (SEGALEN, P. 1968) pour leur accumulation. Une étude sur les formes amorphes des hydroxydes de fer et d'alumine des différents types des sols en relation avec les teneurs en éléments traces nous paraît maintenant indispensable.

Dans notre travail sur les sols de Madagascar (NALOVIC L. et PINTA M. 1969-70) nous avons conclu à une plus grande richesse relative des sols ferrallitiques par rapport aux sols ferrugineux tropicaux. A la lumière des résultats obtenus au Cameroun et exposés dans cette note il importe de préciser la valeur de cette conclusion : sur les neuf sols ferrallitiques de Madagascar faisant l'objet de l'étude mentionnée ci-dessus huit étaient des sols rouges et un seul était jaune.

D'autre part le caractère particulier des sols à sesquioxydes de fer du Cameroun (MARTIN D., SIEFFERMANN, G. et VALLERIE M. 1966 ; MAIGNIEN R. 1968), peut dans une certaine mesure justifier leur teneurs très élevées en éléments traces étudiées.

3.3. AUTRES FACTEURS

En ce qui concerne le rôle des différents agents pédogénétiques dans la distribution des éléments traces nous constatons que :

- Les matières organiques n'ont pas une influence marquée sur la distribution des éléments traces. Il est probable que la vitesse de décomposition de la matière organique, dans le cas de la plupart des sols tropicaux, avant même qu'ils aient eu le temps d'atteindre un niveau d'évolution qui lui permettrait de former des complexes organo-métalliques, peut être une des raisons de l'absence de la corrélation cherchée.

- La réaction du sol ne montre pas une corrélation significative avec les teneurs en éléments traces dans les sols étudiés.

- La corrélation entre éléments majeurs et éléments traces de même propriétés géochimiques est évident. Ce point mérite une étude plus approfondie car il pourrait aboutir à la caractérisation des différents types des sols et venir en appui de leur classification.

IV. C O N C L U S I O N

A l'examen des résultats obtenus nous pouvons faire les observations suivantes :

- Le domaine d'influence de la roche-mère dans la distribution des éléments traces est surtout constitué par les horizons d'altération (BC et C).
- Le "Solum" (horizons A et B) peut être considéré comme le domaine de la pédogénèse. Le caractère géochimique des matériaux originels peut être plus ou moins modifié ou effacé, suivant le degré et le type d'évolution du "Solum". Les facteurs tels que la quantité de pluie, la température, les produits néoformés, la végétation, les microorganismes et les autres, peuvent donner au "Solum" un caractère géochimique propre en fonction de la durée et de l'intensité, de leur action.

Donc, l'action de différents types de pédogénèse sur un matériau originel semblable a comme résultat des "Solum" de compositions géochimiques différentes.

- Les sols brunifiés - eutrophes, très riches en éléments traces (Tableau IX), reflètent surtout le caractère géochimique de la roche-mère. Ces sols sont jeunes et peu évolués sur des roches chimiquement très riches.
- Les sols ferrallitiques sont relativement riches en éléments traces métalliques mais très pauvres en alcalins et alcalino-terreux. Exception faite des sols ferrallitiques jaunes, qui sont très pauvres en tous les éléments étudiés. Les différences au point de vue teneurs en éléments traces métalliques observées entre Sols ferrallitiques rouges et sols ferrallitiques jaunes pourront être expliquées par leur différence de teneurs en oxydes amorphes de fer.
- Les sols à sesquioxydes de fer sont aussi riches que certains sols ferrallitiques au point de vue des métaux lourds mais plus riches en alcalins et alcalino-terreux. L'accumulation des éléments lithium, rubidium, strontium et baryum, dans les "Solum" des sols à sesquioxydes de fer et des vertisols, par rapport à leurs horizons d'altération, paraît dû aux affinités de ces éléments pour le milieu bien cristallisé de type 2/1.

TABLEAU IX. -- Comparaison des teneurs moyennes en éléments traces (en p.p.m.)
des différents types des sols (en p.p.m.)

	B	Mn	Pb	Ga	Cr	V	Cu	Zr	Ni	Co	Sr	Ba	Li	RB
1	2.7	2165	127	143	1321	146	68	690	380	52	88	432	10.8	22.6
2	4.8	576	16.4	27.4	285	169	39.1	740	59	15.1	46	188	9.6	32
3	5.4	546	31	37	49	127	18	542	12.4	12.8	496	748	15.4	225
4	6.6	351	17.4	18.9	71	65	15.4	566	20.3	11.2	234	711	43	136
5	9.2	1086	21.2	40	49	167	37	470	23	25.7	398	1495	13.5	64
6	3.4	111	12.2	12.8	110	70	11.5	1054	41	6.7	51	208	18.6	82

1 - Sols brunifiés - eutrophes tropicaux	(8 échantillons)
2 - Sols ferrallitiques	(47 échantillons)
3 - Sols à sesquioxydes de fer	(28 échantillons)
4 - Sols sodiques	(10 échantillons)
5 - Vertisols	(8 échantillons)
6 - Sols hydromorphes	(9 échantillons)

- Quant aux autres types des sols étudiés ; vertisols, sols hydromorphes et sols sodiques, on constate qu'ils ont des caractères géochimiques très marqués par leurs pédogénèses respectives.

Bien que les teneurs en éléments traces tels que : argent, bizmuth, étain, germanium, molybdène, zinc et césium, n'aient pas été décelables dans la plupart des sols du Cameroun étudiés, nous pouvons dire que ces sols sont relativement riches en éléments traces par rapport aux sols des autres pays tropicaux.

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

- AUBERT et al - 1967 - Classification des Sols. Labo Géol. Pédol. E.N.S.A. Grignon. Publ., p. 87.
- BACHELIER, G.- 1959 - Etude pédologique des Sols de Yaoundé. Contribution à l'étude de la pédogénèse des sols ferrallitiques. Agron. Trop. 3, pp. 279-305.
- BOCQUIER, G.- 1964 - Présence et caractères de Solonetz Solodisés dans le bassin tchadien. 8ème Congrès J.S.S.S. Bucarest, V. 76; pp. 687-695.
- BRABANT, P.- 1968 - Sols ferrugineux tropicaux et sols apparentés du Nord-Cameroun. Aspect de leur pédogénèse. Rapport I.R.CAM., p. 168, p. 41.
- DIXEY, F.- 1955 - Erosion surfaces in africa. Trans. Géol. Soc. South Africa 58, pp. 265-280.
- GAZEL, J.- 1958 - Géologie du Cameroun. Atlas du Cameroun, Yaoundé, p. 10.
- GEZE, B.- 1943 - Géographie physique et géologie du Cameroun Occidental. Mem. Mus. Hist. Nat. XVII.
- HERVIEU, J. et NALOVIC, L.- 1965 - Dosage des éléments cobalt, nickel, cuivre et zinc et leur distribution dans quelques types de Sols de Madagascar. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., III, N° 3, pp. 237-267.
- HUMBEL, F.X.- 1965 - Etude de sols halomorphes du Nord-Cameroun (Maroua). Rapport I.R.CAM. P. 146, 63 p.
- HUMBEL, F.X.- 1966 - Etude pédologique du secteur d'extension de la palmeraie de Kompina (Mungo). Rapport I.R.CAM., p. 152, p. 65.
- HUMBEL F.X.- 1967 - Notice de la carte pédologique au 1/50.000ème de NGAOUNDERE Rapport I.R.CAM., P. 164, p. 120.
- HUMBEL, F.X.- 1968 - Etude pédologique comparative de deux paysages ferrallitiques du Sud-Cameroun. Rapport I.R.CAM., P. 167, p. 29.

- JACQUES-FELIX, H.- 1950 - Géographie des dénudation et dégradation du Sol au Cameroun
S.T.A.T. Nogent. Bull. Scient. 3, P. 127.
- LASSERRE, M.- 1961 - Etude géologique de la partie orientale de l'Adamaoua.
Bull. Dir. Mines. Géol. Yaoundé, 125 p.
- MAIGNIEN, R.- 1968 - Les sols ferrineux tropicaux - Unité pédogénétique.
O.R.S.T.O.M. - Centre de Yaoundé, Publ. p. 34
- MARTIN, D.- 1965 - Etudes pédologiques dans le Centre Cameroun (Nanga-Eboko à Bertoua).
Rapport I.R.CAM., P. 142, P. 159.
- MARTIN, D., SEGALEN, P.- 1966 - Notice sur la carte pédologique du Cameroun Oriental
au 1/1.000.000°, O.R.S.T.O.M., P. 133.
- MARTIN, D., SIEFFERMANN, G., VALLERIE, M.- 1966 - Les Sols rouges du Nord-Cameroun,
Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol. Vol. IV, 3, pp. 3-28.
- NALOVIC, L., GAVINELLI, E. et PETARD, J.- 1968 - Les Méthodes d'analyse des sols et des
eaux, utilisées au Centre d'Adiopodoumé (Côte d'Ivoire).
O.R.S.T.O.M. Publ., p. 123.
- NALOVIC, L.- 1969 - Etude spectrographique des éléments traces et leur distribution
dans quelques types de sols de Madagascar.
Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol. Vol. VII, N° 2, pp. 1-49.
- NALOVIC, L. et PINTA, M.- 1969/70 - Recherches sur les éléments traces dans les sols
Tropicaux : étude de quelques sols de Madagascar
Geoderma - N° 3, pp. 117 - 132.
- PELLIER, J.L.- 1967 - Etude pédologique d'un Secteur forestier sous climat équatorial.
Rapport I.R.CAM., P. 163, p. 63.
- PIAS, J. et GUICHARD, E.- 1957 - Etude pédologique du bassin alluvionnaire du Logone-
Chari (Nord-Cameroun). Rapport O.R.S.T.O.M., p. 304
- PINTA, M.- 1962 - Recherches et dosage des éléments traces. Dunod, Paris, p. 726.
- RUHE, R.V.- 1954 - Erosion surfaces of central african interior high plateaus.
J.N.E.A.C., N° 59, 4, p. 41.

SEGALEN, P.- 1958 - Les sols du Cameroun. Atlas du Cameroun, Yaoundé, p. 6.

SEGALEN, P.- 1962 - Notice de la carte pédologique au 1/100.000° de Maroua.
Rapport I.R.CAM., P. 126, p. 67.

SEGALEN, P.- 1967 - Les sols et la géomorphologie du Cameroun.
Cah. O.R.S.T.O.M. sér. Pédol., vol. V, N° 2, pp. 137-188.

SEGALEN, P. - 1968 - Note sur une méthode de détermination des produits minéraux amorphes dans certains sols à hydroxydes tropicaux.
Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol. I, vol. VI, N° 1, pp. 105-126.

SEGALEN, P.-1969 - Contribution à la connaissance de la couleur des sols à sesquioxides de la zone inter-tropicale : Sols jaunes et Sols rouges I.
Cah. ORSTOM Sér. Pédol. Vol. VII N° 2.