

RECHERCHES SUR LES ELEMENTS TRACES DANS LES SOLS TROPICAUX: ETUDE DE QUELQUES SOLS DU CAMEROUN

L. NALOVIC et M. PINTA

Laboratoire des Sols O.R.S.T.O.M., Yaoundé (Cameroun)

Laboratoire de Spectrographie O.R.S.T.O.M., Bondy (France)

(Reçu le 15 Mars, 1971)

(Revision reçu le 19 octobre, 1971)

ABSTRACT

Nalovic, L. et Pinta, M., 1972. Recherches sur les éléments traces dans les sols tropicaux: étude de quelques sols du Cameroun. (Study of trace elements in some tropical soils of Cameroun.) *Geoderma*, 7: 249-267.

From a study of the distribution of the total trace-element content of 18 profiles in Cameroun, belonging to 6 different classes, the following conclusions have been reached:

- (1) The zone of influence of the parent material is constituted by the weathering horizons (BC and C).
- (2) The zone of influence of the pedogenetic factors is constituted by the horizons of the "solum" (A and B).
- (3) Each soil-type exhibits its own geochemical character which may be expressed as the sum of the total content of trace elements with the same physico-chemical behaviour.

The results of quantitative spectrographic analyses of the 14 most common trace elements as observations on the pedogenetic factors which may be responsible for their distribution have been set out in four profiles: a ferrallitic red soil; a ferruginous tropical soil; a brown soil; and a planosol.

RESUME

L'étude de la distribution des éléments traces totaux dans 18 profils de sols du Cameroun, appartenant à 6 classes différentes, a permis de dégager les conclusions suivantes:

- (1) Le domaine d'influence de la roche-mère est constitué par les horizons d'altérations (BC et C).
- (2) Le domaine d'influence des facteurs pédogénétiques est constitué par les horizons du "solum" (A et B).
- (3) Chaque type de sol présente dans le solum un caractère géochimique propre qu'on peut exprimer à l'aide de teneurs en éléments traces cumulés par groupes de mêmes comportements physico-chimiques.

30 JANV. 1984

O. R. S. T. O. M. Fonds Documentaire

N° :

4389

Cote

B

O. R. S. T. O. M.

Collection de Référence

n°

5595 Fedo

4389
B

- 4 AOUT 1972

Les résultats d'analyses spectrographiques quantitatives des 14 éléments traces les plus fréquents ainsi que des remarques sur les facteurs pédogénétiques susceptibles d'être responsables de leur distribution ont été donnés sur 4 profils: un sol ferrallitique rouge; un sol ferrugineux tropical; un sol brunifié eutrophe; et un planosol.

INTRODUCTION

La recherche des éléments traces dans les sols des régions tropicales présente un intérêt du fait qu'à nos jours peu de résultats existent dans ce domaine. C'est pourquoi une étude générale sur la distribution des éléments traces dans les sols tropicaux a été entreprise il y a quelques années au laboratoire de spectrographie de l'O.R.S.T.O.M.

Le but de l'étude était:

(1) Vérification des niveaux de connaissance actuelle sur l'état des éléments traces dans les sols.

(2) Recherche des corrélations entre les constituants majeurs des sols et les éléments traces.

(3) Evaluation de l'importance du rôle des différents facteurs pédogénétiques susceptibles d'être responsables de leur distribution.

(4) 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: Gèze (1943), Ruhe (1954), Dixey (1955), Pias et Guichard (1957), Gazel (1958), Ségalen (1958, 1962, 1967), Bachelier (1959), Jacques-Felix (1960), Lasserre (1961), Martin (1962, 1966), Martin et Ségalen (1966), Humbel (1967).

Notre travail porte sur 18 profils de sols de six classes différentes (Aubert et al., 1967): 6 sols ferrallitiques, 4 sols à sesquioxides de fer, 2 sols brunifiés, 2 sols sodiques, 2 sols hydromorphes et 2 vertisols. Nous rapportons dans cette note les résultats de quatre profils choisis comme exemple en raison de leurs caractères représentatifs de l'ensemble étudié; ils appartiennent à des classes géographiquement les plus étendues et typiques au point de vue de la distribution des éléments traces. Les observations et les conclusions sont valables en conséquence pour l'ensemble des sols étudiés.

METHODES D'ANALYSE

Les méthodes utilisées pour l'analyse des constituants majeurs des sols sont celles utilisées dans tous les laboratoires de l'O.R.S.T.O.M. (Nalovic et al., 1968).

Les déterminations des éléments traces ont été effectuées par spectrographie d'émission dans l'arc (Pinta, 1962), méthode décrite en détail dans une précédente note (Nalovic et Pinta, 1969).

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 un coefficient de variation inférieur à 5% ce qui nous permet de considérer la méthode utilisée comme quantitative et fidèle.

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.

CARACTERES GENERAUX DES PROFILS DE SOLS ETUDIES

Sol rouge ferrallitique sur embréchite

Description

Profil: HY/61-65 (Humbel, 1968); (sol récemment tronqué jusqu'à l'horizon B2, par action de l'homme).

Situation: Yaoundé Aéroport.

$X = 777,7$ m; $Y = 424,1$ m; $Z = 700$ m.

Climat: équatorial à deux saisons des pluies; $P = 1480$ mm; $T = 23^{\circ}5$.

Unité géomorphologique: éléments de plateau.

Topographie: pente 40% SE.

Drainage: bon, modifié par talus.

Roche-mère: embréchite granitifère à biotite.

Végétation: ancienne forêt dense secondarisée.

Morphologie:

61 B2 0-60 cm Horizon concrétionné de faible cohésion emballé dans une 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).

62 B2 60-200 cm Horizon concrétionné nettement plus cohérent. Concrétions plus nombreuses, jointives, plus irrégulières mais moins dures, le marteau les sectionne sur le profil; taille dépassant souvent 2 cm; pâte violacée, poreuse; cuticule jaune épaisse; patine discontinue brun rouge. Matrice peu abondante, moulant parfois les concrétions, teinte rouge 10R 4/4 qu'elle impose à l'horizon. De 180 à 200 les concrétions augmentent en taille et irrégularité, elles adhèrent légèrement; passage progressif.

63 B2fe 200-430 cm Horizon concrétionné avec une matrice argileuse, rouge 2,5YR 4/6 de plus en plus abondante vers le bas; structurée en polyèdres friables. Les concrétions sont dans le premier mètre de grand 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 10YR 6/6. Limite irrégulière (cet horizon pénètre jusqu'à 5 m de profondeur).

64 BC 430–550 cm Horizon juxtaposant des enclaves des horizons qui l'encadrent. Plages bariolées blanches, grises, 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.

65 C 550–600 cm Horizon de passage à la roche altérée; friable, poreux, texture sablo-limoneuse gros feldspaths blanc pulvérulents; teinte finement polychrome, rouge violac jaune brun, un peu de vert, noirâtre et de rose.

600 cm Jusqu'au bas, roche altérée décrite ci-dessus.

Caractères physiques et chimiques

Réaction: l'ensemble du sol est acide avec un minimum dans l'horizontale 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 récemment 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 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ est de 2 dans le sol et passe à 1,8 dans les horizons d'altération; la fraction fine contient beaucoup de produits amorphes et de kaolinite.

Éléments traces

Ce profil de sol ferrallitique sur embréchite peut être divisé en deux parties nettement différentes au point de vue de la teneur en éléments traces. Les horizons du sol

TABLEAU I

Resultats analytiques: sol rouge ferrallitique sur embréchite (%)

Hori- zon HY	Profondeur (cm)	Argile <0,002 mm	Limon 0,002– 0,05 mm	Sable >0,05 mm	SiO_2 silicat.	Fe_2O_3	Al_2O_3	Mat. organ.	pH
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	25.3	9.7	21.1	–	5.3

TABLEAU II

Resultats analytiques: éléments traces (p.p.m.)

Hori- zon HY	B	Mn	Pb	Ga	Cr	V	Cu	Zr	Ni	Co	Sr	Ba	Li	Rb
61	12.6	540	45	37.7	1120	296	38.6	155	65	19.3	9	18	9	27
62	17.2	322	19.4	37	1262	530	33.5	243	39	2.6	8.8	8.8	8.8	26.5
63	6.9	344	74	72	1220	416	63	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

(n° 61–62 et 63) sont très riches par rapport aux horizons d'altération de la roche (n° 64 et 65). Les teneurs maximales en éléments alcalins et alcalino-terreux (lithium, rubidium, strontium et baryum) 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 mais avec des teneurs plus faibles dans l'horizon 62: on note une accumulation en surface et aussi en profondeur pour cobalt et nickel.

Les éléments: argent bismuth étain, germanium, molybdène, zinc et césium n'ont pas été décelés dans ce profil de sol.

Les résultats analytiques sont présentés dans les Tableaux I et II.

Sol à sesquioxides de fer – ferrugineux

Description

Profil: Tou/41–48 (Humbel, 1965). Il s'agit d'un sol developpé sur une ancienne altération ferrallitique.

Situation: Touboro (Benoué).

X = 848.4 m; Y = 535 m; 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*, *Poliostigma thonningii*).

Roche-mère: granite leucocrate, calco-alcalin.

Morphologie:

41 A1 0.1–10 cm Horizon gris clair (2.5YR 6/2) brun foncé en humide 10YR 3/3; texture sableuse, un peu argileuse; sables grossiers anguleux tachés de gris; quelques sables orangés plus arrondis et calibrés.

- 42 A1 10–18 cm Structure formée d'éléments sphériques et grumeleux (5–30 mm) juxtaposés sans adhérer, provenant des constructions de vers; cohésion moyenne de ces éléments d'où une forte porosité et cavités (5–20 mm); 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.
- 43 A1 18–30 cm Horizon de même teinte mais nuance ocre à l'intérieur des 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 incuses dans la masse dont la cohésion est notable; passage net.
- 44 A2 30–45 cm Horizon interprété comme étant lessivé en argile et en fer. Horizon beige 10YR 6/4 brun rouge en humide 5YR 4/4; sableux, peu argileux; structure fondue, débit en polyédres 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.
- 45–46 B2 50–110 cm Horizon d'accumulation d'argile et de fer; couleur rouge-jaune (5YR 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 (2–8 mm) cassables à la main: intérieur noir. Cuticule rouille fréquente; enracinement peu développé; porosité tubulaire grossière et cavités de la faune. Passage progressif.
- 47 BC 110–169 cm Argilisation peu importante; texture sablo-argileuse; structure fondue, enracinement faible. Fins débris minéraux donnant un piquetage blanc et rouille.
- 48 160–250 cm Arène jaune blanche et brune; texture sablo-argileuse.

Caractères 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 de 2 en surface à 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 dans l'ensemble du profil (3-6 mequiv. %) 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 SiO_2/Al_2O_3 est de 2,3 en surface et varie entre 1,8 et 2 dans les horizons de profondeur. La fraction argileuse contient de la kaolinite, de la montmorillonite et beaucoup de produits amorphes.

Eléments traces

Dans ce profil de sol ferrugineux tropical 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), malgré une teneur croissante en constituants fins.

TABLEAU III

Résultats analytiques: sol à sesquioxydes de fer-ferrugineux tropical (%)

Hori- zon TOU.	Profondeur (cm)	Argile 0,002 mm	Limon 0,002- 0,05 mm	Sable >0,05 mm	SiO ₂ silicat.	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Matière organ.	pH
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

TABLEAU IV

Résultats analytiques: éléments traces (p.p.m.)

Hori- zon Tou.	B	Mn	Pb	Ga	Cr	V	Cu	Zr	Ni	Co	Sr	Ba	Li	Rb
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

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'altérations 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 décelés dans ce profil du sol.

Les résultats analytiques sont présentés dans les Tableaux II et IV.

Sol brunifié tropical

Description

Profil: NGD/1051-1055 (Humbel, 1967).

Situation: Darang (Adamaoua).

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

Climat: tropical humide d'altitude; $P = 1575$ mm; $T = 22^{\circ}2$.

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:

- 1051 O-10 cm Horizon plus brun que 10YR 4/3 (2/2 humide); poudre plus jaune; limono-argileux; fortement structuré; polyèdres fins peu fragiles; quelques noyaux plus résistants. Forte porosité tubulaire; chevelu radicellaire fin. Limite distincte de structure.
- 1052 A1 10-25 cm Horizon brun 10YR 4/3 (2/2 humide); limono-argileux; moyennement structuré; polyèdres émoussés grossiers, friables en grumeaux moyens (sous structure); enracinement moyen. Limite distincte de couleur et texture.
- 1053 B 25-83 cm Horizon brun rouge foncé 5YR 3/3 (3/2 humide) plus rouge à partir de 55 cm; poudre plus jaune; argilo-limoneux. Fortement structuré; polyèdres moyens durs sous structure plus fine; intérieur des agrégats moins foncé; forte porosité tubulaire; enracinement bien réparti. Limite distincte par éléments grossiers et texture.
- 1054 C1 83-150 cm Horizon de morceaux de basalte et granite dans une matrice brun-rouge foncé, de moins en moins abondante, sablo-limoneuse.
Basalte bulleux ou moins friable altération rouille 7.5YR 6/8 de l'olivine.
Granite (arraché au socle) souvent emballé dans la lave. Matrice 5YR 3/3, 5; forte porosité de cavités. Limite distincte.

C2 150 cm Horizon 5YR 3/4 gravelo-argileux forme de cendre et lapillis plus ou moins argilisés, friable et frais.

Caractères 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 en profondeur.

Complexe absorbant: la capacité d'échange du sol est élevée et diminue avec la profondeur de 32 à 22 mequiv. %. Le complexe est bien pourvu en bases, surtout en magnésium et le taux de saturation est d'environ 40% dans l'ensemble de sol. Les réserves minérales sont bonnes surtout en magnésium (170 mequiv.% 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 récents contiennent beaucoup de produits amorphes tels que hydroxydes de fer et d'alumine, allophanes (Nalovic et Humbel, 1970).

Eléments 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

TABLEAU V

Résultats analytiques: sol brunifié tropical (%)

Hori- zon NGD	Profondeur (cm)	Argile <0,002 mm	Limon 0,002- 0,05 mm	Sable >0,05 mm	SiO_2 silicat.	Al_2O_3	Fe_2O_3	Matière organ.	pH
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	44	5.9
1054	83-150	21.0	27.4	50.1	23.4	22.2	17.6	0.9	6.6

TABLEAU VI

Résultats analytiques: éléments traces (p.p.m.)

Hori- zon NGD	B	Mn	Pb	Ga	Cr	V	Cu	Zr	Ni	Co	Sr	Ba	Li	RB
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	47	198	138	72	673	224	44	12.9	300	17.3	34.5
1054	2.7	1535	9.5	40	307	167	59	452	630	51	13.5	253	9	27

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 tous les autres sols du Cameroun les teneurs en argent, bismuth, étain, germanium, molybdène, zinc et césium sont au-dessous de limites inférieures de notre méthode.

Les résultats analytiques sont présentés dans les Tableaux V et VI.

Planosol à morphologie de solonetz solodisé

Description

Profil: FH/80-85 (Humbel, 1965)

Situation: Mogom (Diamaré):

$X = 1160,8$ m; $Y = 430,6$ m; $Z = 380$ m.

Climat: tropical (Soudano-sahélien); $P = 800$ mm; $T = 28^{\circ}5$

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).¹

Morphologie: 80 0-10 cm Horizon gris clair (10YR 7/2, 4/2 en humide), peu humifère; sableux fin, un peu argileux (15%) et limoneux (15%); structure polyédrique peu développée; agrégats assez cohérents; plages gris blanchâtre et petites taches rouilles

- plus abondantes à la base; porosité tubulaire fine assez bonne; fines racines abondantes, bien réparties; petits graviers rubéfiés.
- 82 10–20 cm Horizon brun plus ou moins foncé en plages distinctes (10YR 7/3 à 5/3, 4/2 à l'état humide) et taches rouilles plus vastes (10 mm); même texture; structure mieux développée; cohésion moindre des agrégats; porosité tubulaire moyenne plus développée. Limite tranchée de couleur, texture, structure.
- 82 20–30 cm Horizon blanc à gris clair (10YR 7,5/2, 4,5/2 humide); sablo-argileux (60% de sables fins); structure polyédrique 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 rouilles autour de certains pores; forte porosité tubulaire; nombreuses racines horizontales assez grosses; à la base ligne poudreuse blanche sableuse épaisse de 3 cm, s'excavant 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.
- 83 30–90 cm Horizon brun 10YR 5/3; 2,5Y 5/2 à l'état humide; argilo-sableux (50% de sables fins); structure prismatique nette, fine de 30–40 cm tendance colonnaire peu marquée, puis grossière et difficile à développer de 40–60 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.
- 85 90–120 cm *Horizon d'accumulation des sesquioxides et des carbonates*, couleur brun jaune pâle, 10TR 6/4 (2,5Y 6/3 en humide) avec des taches rouilles (10Yr 5/6); argilo-sableux; structure polyédrique fine bien développée avec agrégats de cohésion moyenne à faciès lissés; humectation plus facile; frais bien moins compact; mouchetage par des concrétions ferro-manganiques, noires (2–3 mm); nodules calcaires, friables, ronds, de quelques millimètres.

Caractères 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 assez 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 mequiv. % en profondeur. Le complexe absorbant est bien pourvu en calcium et

*Ce type de sol a été rapproché des sols sodiques (solonetz solodisé), par ses caractères morphologiques bien que ses teneurs en Na échangeable soient souvent insuffisantes (Bocquier, 1964).

magnésium et faiblement en potassium et sodium.* Le taux de saturation est autour de 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.

Eléments 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 la plupart des 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 10–20 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 (20–30 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.

TABLEAU VII

Résultats analytiques: sol sodique à structure dégradée-Solonetz solodisé (%)

Hori- zon FH	Profondeur (cm)	Argile <0,002 mm	Limon 0,002– 0,05 mm	Sable >0,05 mm	SiO_2 silicat.	Al_2O_3	Fe_2O_3	Matière organ.	pH
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

TABLEAU VIII

Résultats analytiques: éléments traces (p.p.m.)

Hori- zon	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

Les éléments argent, bismuth, étain, germanium, molybdène, zinc et césium, encore une fois n'ont pas été décélés.

Les résultats analytiques sont présentés dans les Tableaux VII et VIII.

DISCUSSION

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

Nous avons également vérifié (Nalovic, 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 Cameroun d'évaluer les rôles et les domaines d'influence respectifs de ces deux facteurs 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.

Influence de la roche-mère

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

Ces sols relativement jeunes, développés sur basaltes, très riches en éléments traces, reflètent surtout la caractéristique 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.

TABLEAU IX

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

Sols ferrallitiques	Sols à sesquioxydes de fer	Autres types de sols	
1.		sols brunifiés sur basalte	(6,61)
2. rouge sur basalte	(5,66)		
3.		vertisol sur micaschiste	(4,48)
4.	sur syénite	(4,25)	
5.	sur granite	(4,03)	
6.	sur micaschiste	(3,40)	
7. rouge sur embréchite	(3,07)		
8.		vertisol sur granodiorite	(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 sableuse-ferrallitique	(1,13)		
15.	sur grès	(0,63)	

* Les résultats entre parenthèses présentent la somme des teneurs moyennes des douze éléments traces les plus fréquents, en millimoles pour 100 g de sol séché à 105°C.

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.

On devait s'assurer que ces différences pouvaient être attribuées d'une façon catégorique à l'influence de la pédogenèse. A cet effet nous avons d'abord comparé les teneurs

TABLEAU X

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 ferrallitique	(0,64)
6. syénite	(1,43)	6. basalte	(0,62)
7. argile-sableuse ferrallitique	(0,78)	7. grès	(0,48)
8. grès	(0,25)	8. embréchite	(0,38)

* Somme des teneurs moyennes en millimoles pour 100 g.

moyennes en éléments traces totaux des altérations (horizons BC et C) des différentes roches, sans tenir compte du type de la pédogénèse (Tableau X). 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 pour les traces du matériau originel.

Rôle de la pédogénèse

Le caractère géochimique hérité de la roche-mère commence à se modifier si on monte dans le "solum" (horizons de la pédogénèse). On peut se demander dans quelle mesure ce caractère géochimique est 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 XI), 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

TABLEAU XI

Alcalins et alcalino-terreux dans le "solum" (horizons A et B)*

Sols ferrallitiques	Sols à sesquioxydes de fer	Autres types de sols	
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 brunifiés 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 millimoles pour 100 g.

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 des 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.

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 (Tableaux X et XI).

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 leurs teneurs en métaux lourds dans le "solum" (Tableau XII). 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'aluminium, mais dans des proportions qui sont différentes de celles existant dans le matériau originel.

A l'examen des Tableaux X et XII, on constate une accumulations 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.

On remarque que les sols étudiés à teneurs élevées en éléments traces métalliques (sols brunifiés et sols rouges) contiennent aussi des formes amorphes d'oxyde de fer

TABLEAU XII

Métaux lourds dans le "solum"*

Sols ferrallitiques	Sols à sesquioxydes de fer	Autres types de sols
1.		sols brunifiés 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 granite (1,21)	
11.		sols sodiques (1,01)
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 millimoles pour 100 g.

(Segalen, 1968.). 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 et Pinta, 1969-70) nous avons conclu à une plus grande richesse relative des sols ferrallitiques par rapport aux sols ferrugineux tropicaux. Les résultats obtenus au Cameroun et exposés dans cette note permettent de confirmer et 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 un sol jaune.

D'autre part le caractère particulier des sols à sesquioxydes de fer du Cameroun (Martin et al., 1966; Maigniën, 1968), peut dans une certaine mesure justifier leurs teneurs très élevées en éléments traces étudiées.

Autres facteurs

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

(1) Les matières organiques ne paraissent pas avoir une influence marquée sur la distribution des éléments traces dans les sols tropicaux. 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.

(2) Le pH du sol ne montre pas une corrélation significative avec les teneurs en éléments traces dans les sols étudiés.

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

CONCLUSION

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

(1) L'influence de la roche-mère dans la distribution des éléments traces est surtout marquée dans les horizons d'altération (BC et C).

(2) Le "solum" (horizons A et B) peut être considéré comme caractéristique de la pédogenèse. Les facteurs tels que le climat, les produits néoformés, la végétation, les microorganismes . . . peuvent donner au "solum" un caractère géochimique intéressant également les éléments traces et lié à la durée et à l'intensité de leur action.

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

(3) Les sols brunifiés, très riches en éléments traces (Tableau XIII), reflètent surtout le caractère géochimique de la roche-mère: ces sols dérivés de roches chimiquement très riches sont effectivement jeunes et peu évolués.

TABLEAU XIII

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

(*)	B	Mn	Pb	Ga	Cr	V	Cu	Zr	Ni	Co	Sr	Ba	Li	Rb
1.	2.7	2165	127	43	321	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	495	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 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).

(4) Les sols ferrallitiques sont relativement riches en éléments traces métalliques mais très pauvres en alcalins et alcalino-terreux. Exception doit être faite des sols ferrallitiques jaunes, qui sont très pauvres en tous les éléments étudiés. Les différences au point de vue des teneurs en éléments traces métalliques observées entre sols ferrallitiques rouges et sols ferrallitiques jaunes pourront être expliquées par leur différence de teneurs en hydroxydes amorphes de fer.

(5) 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 peut être rapprochée de l'affinité de ces éléments pour le milieu bien cristallisé de type 2/1.

(6) Quant aux autres types des sols étudiés, vertisols, sols hydromorphes et sols sodiques, on constate que leurs caractères géochimiques sont très marqués par leurs pédogénèses respectives.

Bien que les teneurs en éléments traces tels que: argent, bismuth, 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.

De cette étude nous n'avons retenu que les propriétés générales de l'ensemble des profils de sols étudiés; les caractéristiques qui pourraient être spécifiques n'ont pas été prises en considération.

BIBLIOGRAPHIE

- Aubert, G. et al., 1967. *Classification des Sols*. Commission de Pédologie et de Cartographie des sols, Grignon, 87 pp. (multigr.)
- Bachelier, G., 1959. Etude pédologique des sols de Yaoundé. Contribution à l'étude de la pédogénèse des sols ferrallitiques. *Agron. Trop.*, 14 (3): 279-305.

- Bocquier, G., 1964. Présence et caractères des solonetz solodisés tropicaux dans le bassin tchadien. *Int. Congr. Soil. Sci., 8th, Bucarest, 1964*. 5: 687-695.
- Brabant, P., 1968. *Sols ferrugineux tropicaux et sols apparentés du Nord Cameroun. Aspect de leur pédogenèse*. Rapport I.R.Cam., Yaoundé, 168: 41 pp. (multigr.)
- Dixey, F., 1955. Erosion surfaces in Africa. *Trans. Geol. Soc. Afr.*, 58: 265-280.
- Gazel, J., 1958. Géologie du Cameroun. In: *Atlas du Cameroun*. I.R. Cam., Yaoundé, 10 pp.
- Gèze, B., 1943. Géographie physique et géologie du Cameroun occidental. *Mem. Mus. His. Nat.*, XVII: 271 pp.
- 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 (3): 237-267.
- Humbel, F.X., 1965. *Etude de sols halomorphes du Nord-Cameroun (Maroua)*. Rapport I.R.Cam., Yaoundé, 146: 63 pp. (multigr.)
- Humbel, F.X., 1966. *Etude pédologique du secteur d'extension de la palmeraie de Kompina (Mungo)*. Rapport I.R.Cam., Yaoundé, 152: 65 pp. (multigr.)
- Humbel, F.X., 1967. *Notice de la carte pédologique au 1/50.000ème de Ngaoundere*. Rapport I.R.Cam., Yaoundé, 120 pp. (multigr.)
- Humbel, F. X., 1968, *Etude pédologique comparative de deux paysages ferrallitiques du Sud-Cameroun*. Rapport I.R.Cam., Yaoundé, 167: 29 pp. (multigr.)
- Jacques-Felix, H., 1950. Géographie des dénudation et dégradation du sol au Cameroun. *S.T.A.T. Bull. Sci., Nogent-sur-Marne*, 3: 128 pp.
- Lasserre, M., 1961. Etude géologique de la partie orientale de l'Adamoua. *Bull. Dir. Mines. Géol. Cameroun*, 4: 131 pp.
- Maignien, R., 1968. Les sols ferrugineux tropicaux - Unité pédogénétique. *ORSTOM, Réunion Ann. Pédol.*, 1968, 34 pp. (multigr.)
- Martin, D., 1966. Etudes pédologiques dans le Centre Cameroun (Nanga-Eboko à Bertoua). *Mém. ORSTOM, Paris*, 19: 91 pp.
- Martin, D., et Segalen, P., 1966. *Notice sur la carte pédologique du Cameroun oriental au 1/1.000.000ème*. ORSTOM, Yaoundé, 134 pp.
- Martin, D., Sieffermann, G. et Vallerie, M., 1966. Les sols rouges du Nord-Cameroun. *Cah. ORSTOM, Sér. Pédol.*, IV (3): 3-28.
- Nalovic, L., Gavinelli, E. et Petard, J., 1968. *Les méthodes d'analyse des sols et des eaux utilisées au centre d'Adiopodoumé (Cote d'Ivoire)*. ORSTOM, Adiopodoumé, 123 pp. (multigr.)
- Nalovic, L., 1969. Etude spectrographique des éléments traces et leur distribution dans quelques types de sols de Madagascar. *Cah. ORSTOM, Sér. Pédol.*, (2): 1-49.
- Nalovic, L. et Pinta, M., 1969-1970. Recherches sur les éléments traces dans les sols tropicaux: étude de quelques sols de Madagascar. *Géoderma*, 3 (2): 117-132.
- Nalovic, L. et Humbel, F.X., 1970. *Contribution à l'étude de la localisation des différentes formes de fer au sein de quelques sols du Cameroun*. ORSTOM, Yaoundé, 49 pp. (multigr.)
- Pellier, J.L., 1967. *Etude pédologique d'un secteur forestier sous climat équatorial*. Rapport I.R.Cam., Yaoundé, 163: 63 pp. (multigr.)
- Pias, J. et Guichard, E., 1957. *Etude pédologique du bassin alluvionnaire du Logone-Chari (Nord-Cameroun)*. ORSTOM, Paris, 2 vol. 312 pp. (multigr.)
- Pinta, M., 1962. *Recherches et dosage des éléments traces*. Dunod, Paris, 726 pp.
- Ruhe, R.V., 1954. Erosion surfaces of central african interior high plateaus. *I.N.E.A.C. Publ. Ser. Sci.*, 59: 38 pp.
- Segalen, P., 1958. Les sols du Cameroun. In: *Atlas du Cameroun*. I.R.Cam., Yaoundé, 6 pp.
- Segalen, P., 1962. *Notice de la carte pédologique au 1/100 000ème de Maroua*. Rapport I.R.Cam., Yaoundé, 126: 67 pp. (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 tropicaux à hydroxydes. *Cah. ORSTOM, Sér. Pédol.* VI (1): 105-126.
- Segalen, P., 1969. Contribution à la connaissance de la couleur des sols à sesquioxydes de la zone inter-tropicale: sols jaunes et sols rouges, I. *Cah. ORSTOM, Sér. Pédol.*, VII (2): 225-236.