

Recherchés physico-chimiques des éléments-traces dans les sols tropicaux—I

I. Etude de quelques sols du Dahomey

M. PINTA* et C. OLLAT†

Laboratoire de Spectrographie de l'O.R.S.T.O.M.
et Laboratoire de Chimie des sols de l'O.R.S.T.O.M.

(Received 4 February 1961)

Abstract—Within the framework of the researches by l'O.R.S.T.O.M. on the composition of tropical soils, a general study was undertaken by l'Institut d'Enseignement et de Recherches Tropicales at Bondy on the distribution of trace-elements in these soils. The purpose of this study is to present evidence of the principal factors connected with these trace-elements.

Resumé—Dans le cadre des recherches effectuées par l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer, sur la connaissance des sols tropicaux, une étude générale a été entreprise à l'Institut d'Enseignement et de Recherches Tropicales à Bondy, sur la répartition des éléments traces et des oligo-éléments dans les sols tropicaux; cette étude a pour but de mettre en évidence les principaux facteurs liés à la présence des éléments traces dans les sols.

LES travaux rapportés ci-dessous concernent quelques sols typiques de la République du Dahomey.‡ Ont été retenus comme sols caractéristiques de cette région: trois sols faiblement ferrallitiques, un sol ferrugineux tropical et un sol noir tropical. La définition de ces sols est conforme à la classification des sols d'AUBERT et DUCHAUFOR (1956).

Les prélèvements effectués à différentes profondeurs permettent de suivre l'évolution des éléments traces dans le profil, dans la mesure du possible, depuis la roche mère jusqu'à l'horizon de surface.

METHODES D'ANALYSES

Chaque échantillon a été soumis à une analyse totale aussi complète que possible, portant sur les constituants de base et les *éléments traces*. Les principaux facteurs paraissant jouer un rôle sur l'évolution des éléments traces sont: pH, matière organique totale, argile, silice, hydroxydes de fer et d'alumine.

Les méthodes chimiques mises en oeuvre sont les suivantes (OLLAT et PELLOUX, 1957), pH: méthode électrométrique sur une suspension sol/eau égale à 1/2,5, Matière organique totale: dosage du carbone par oxydation au bichromate, Argile: analyse mécanique classique, avec dispersion au pyrophosphate de sodium, Silice, fer, alumine: analyse par attaque aux trois acides, méthode classique.

Les éléments traces recherchés sont: argent, béryllium, bore, chrome, cobalt, cuivre, étain, gallium, germanium, manganèse, molybdène, nickel, plomb, vanadium, zinc.

A l'exception du zinc, déterminé par polarographie, tous les éléments sont

* Maître de Recherchés.

† Maître de Recherchés.

‡ Les échantillons étudiés ont été prélevés par FAUCK (1961), pédologue représentant l'O.R.S.T.O.M., chargé d'une mission d'étude dans ce pays.

recherchés et déterminés par spectrographie d'émission dans l'arc, selon une technique semi-quantitative de comparaison des caractéristiques de raies (PINTA, 1961).

Un échantillon moyen est calciné à 600°C, le résidu, homogénéisé et broyé.

Un premier examen spectrographique est effectué dans les conditions suivantes:

(1) Mélange spectrographié: 25 mg de produit et 25 mg de poudre de graphite.

(2) Électrodes: graphite "Carbone Lorraine" qualité 207; (a) anode, baguette de graphite, de diamètre 5 mm, avec cratère de 3 mm de diamètre et 4 mm de profondeur; (b) cathode, baguette de graphite de 6 mm de diamètre; distance entre les électrodes, 7 mm.

(3) Arc: arc en courant continu 8 A, 60 V en charge, l'échantillon est placé dans l'anode.

(4) Projection de la source sur le collimateur du spectrographe avec emploi d'un secteur à échelons dans le trajet du faisceau.

(5) Spectrographe: appareil Littrow à prisme de quartz (Hilger).

(6) Largeur de fente: 7 μ .

(7) Plaque photographique: Guillemot, UV rapide ou Ilford-chromatic.

(8) Temps de pose: 1 min 30 sec.

(9) Étalonnage: deux ou trois échantillons synthétiques à teneurs croissantes en éléments traces sont spectrographiés dans les mêmes conditions sur chaque plaque.

Chaque échantillon est analysé deux fois. Les raies sont repérées au comparateur et mesurées au densitomètre. Pour une même plaque, la caractéristique de chaque raie, définie par la densité optique en fonction de l'exposition, est tracée sur un graphique. L'étalonnage est constitué par la courbe suivante:

(1) Ordonnées: position relative des caractéristiques des raies des produits synthétiques d'étalonnage.

(2) Abscisses: concentration ou *log. conc.* des étalons. Les raies utilisées sont (en Ångstroms):

Ag	3280,7	Ge	2651,2
Be	3130,4	Mn	4034,5
Bi	3067,7	Mo	3170,3
Cr	4254,3	Ni	3414,8
Co	3453,5	Pb	2833,1
Cu	3247,5	Sn	2840,0
Ga	2943,6	V	4379,2

Les sensibilités des dosages exprimées par les plus petites concentrations d'éléments en p.p.m. de produit spectrographié sont:

Ag	1	Ge	30
Be	10	Mn	10
Bi	30	Mo	10
Cr	3	Ni	10
Co	3	Pb	10
Cu	1	Sn	10
Ga	10	V	10

Dans les conditions précédentes, ces valeurs sont parfois insuffisantes, pour déceler dans les sols, en particulier, Be, Bi, Co, Ga, Ge, Mo, Pb.

Un second examen spectrographique est effectué de manière à détecter les concentrations 5 à 10 fois plus faibles. Les conditions sont les suivantes.

(1) Électrodes, comme précédemment.

(2) Distance entre électrodes, 2 mm.

(3) Arc, comme précédemment.

(4) Projection de la source sur la fente du spectrographe: projection directe à l'aide d'une lentille.

(5) Temps de pose, 1 min.

(6) Autres conditions, comme précédemment.

La sensibilité obtenue permet de détecter: Mo, 1 p.p.m. Be, Co, Ga, Ge, Sn, Pb, 3 p.p.m. Bi, 10 p.p.m.

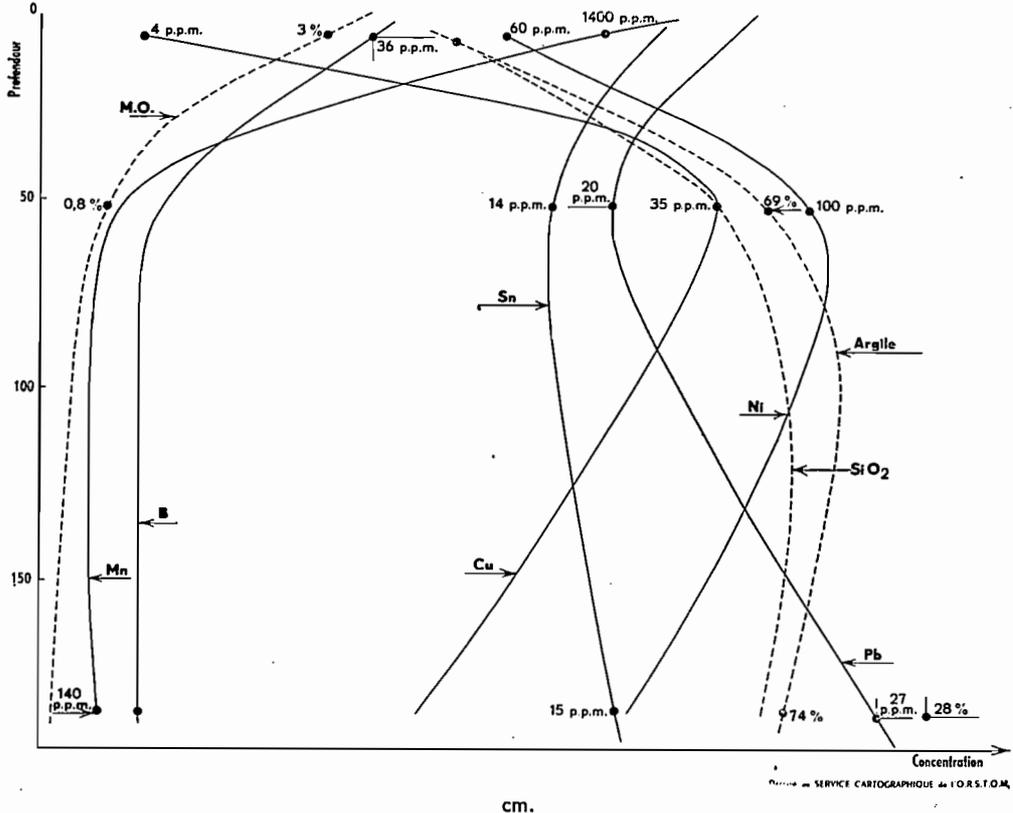


Fig. 1. Sol ferrallitique beige argileux, profil G-13.

La recherche du bore est effectuée d'autre part en utilisant des électrodes en graphite exempt de bore, et en photographiant le spectre dans la région 2500 Å. La raie mesurée du bore est à 2496 Å.

Les examens spectrographiques sont semi-quantitatifs: l'erreur évaluée par une étude statistique préalable est de l'ordre de 20 à 25 % environ. La lecture des résultats donnée plus loin montre que cette précision est suffisante dans une telle étude.

Le zinc est déterminé après extraction à la dithizone à pH 8,3, par polarographie

dans un électrolyte de sulfocyanure de potassium-acétate d'ammonium de pH 4,6 (PINTA, 1961).

ETUDE DE QUELQUES SOLS DU DAHOMEY

Sol faiblement ferrallitique beige clair argileux (G3-1)

Les résultats d'analyse chimique sont donnés Tableau 1. C'est un sol avec horizon de surface organique; il contient de fortes proportions d'argile (70%) qui augmentent avec la profondeur. Le pH varie de 6,2 en surface à 4,7 à 180 cm. Les éléments traces sont en concentrations relativement fortes; en particulier le manganèse s'accumule de façon notable en surface: la teneur de 1400 p.p.m. associée à un pH acide peut laisser craindre une toxicité sur certaines plantes.

Quelques éléments sont en quantité très faible: Mo, Ge, Be, Bi, Ag. On peut, au point de vue agronomique, soupçonner une carence en molybdène ($Mo < 1$ p.p.m.).

La répartition des éléments dans le profil du sol est tracée graphiquement Fig. 1: en ordonnées, sont portées les profondeurs des prélèvements, en abscisses, les variations de concentration de chaque élément et constituant du sol: les courbes en trait pointillé, correspondent à la matière organique, à l'argile et la silice (valeurs relatives exprimées en %); les courbes en trait plein traduisent la variation de concentrations des quelques éléments traces: Mn, B, Sn, Pb, Ni.

On constate, dans l'horizon de surface, une accumulation de certains éléments: Mn, B, Sn, Pb, Co. Cette évolution dans le même sens que la matière organique est caractéristique, elle a été signalée antérieurement par AUBERT (1956).

En revanche, une zone d'accumulation est située entre 40 et 100 cm pour Cu, Ni, Cr, et au-dessous de 100 cm pour Ga et V. Ces variations peuvent être mises en parallèle avec l'évolution de la teneur en argile.

Sol faiblement ferrallitique beige à hydromorphie temporaire (E-3)

Les résultats d'analyse sont notés Tableau 2. Le sol est pauvre en matière organique, à teneur moyenne en argile, et de pH 5: les concentrations d'éléments traces sont plus faibles que dans le sol précédent: il est particulièrement pauvre en Mo, Ag, Ge, Bi, Be. L'évolution de la matière organique, de l'argile et des hydroxydes, et des éléments traces est représenté Fig. 2.

On constate dans l'horizon organique une faible accumulation de Mn et Ni; mais dans l'ensemble il y a augmentation de concentration des éléments avec la profondeur: Pb, Mn, Ni, Co, et également V, Cr, Ga, Sn, Cu, Zn; ces variations sont souvent très fortes: le plomb varie de 30 p.p.m. (à 150 cm) à 3 p.p.m. en surface, le vanadium, de 150 à 10 p.p.m. Cette évolution des éléments traces dans le profil doit être mise en corrélation avec l'argile et les hydroxydes qui varient également dans le même sens.

Sol ferrugineux tropical (HA-21)

Les résultats analytiques sont notés Tableau 3. C'est un sol relativement pauvre contenant d'assez fortes quantités de quartz (40 à 60%) dont une partie se retrouve avec l'argile. Les silicates de fer et d'aluminium sont faibles. Le pH varie de 6,1 en surface à 4,6 à 100 cm. Les éléments traces sont en concentrations faibles en surface, ils augmentent avec la profondeur. Le molybdène est de l'ordre de 1 p.p.m., le

Tableau 1. Sol faiblement ferrallitique, beige clair, argileux (G-13). Analyse chimique

Profondeur (cm)	M.O. (%)	Argile (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	Mn (p.p.m.)	Pb (p.p.m.)	Ga (p.p.m.)	Sn (p.p.m.)	V (p.p.m.)	Cu (p.p.m.)	Ni (p.p.m.)	Co (p.p.m.)	Cr (p.p.m.)	Zn (p.p.m.)
0-10	3	32	2,4	14	15	1400	23	15	16	60	4	60	23	90	116
40-60	0,8	69	2,6	25	22	200	20	28	14	85	35	100	18	160	148
180-190	0,3	74	4,1	28	24	140	27	32	15	125	20	80	11	130	85

pH 6,2 à 4,7.

Quartz: dans l'argile faible 1%.

Mo, <1 p.p.m., Ge, <3 p.p.m., Be, <3 p.p.m., Bi, <10 p.p.m.

Ag, traces on surface, 5 p.p.m.

M.O. matière organique.

Tableau 2. Sol faiblement ferrallitique, beige, à hydromorphie temporaire (E-3). Analyse chimique

Profondeur (cm)	M.O. (%)	Argile (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	Mn (p.p.m.)	Pb (p.p.m.)	Ga (p.p.m.)	Sn (p.p.m.)	V (p.p.m.)	Cu (p.p.m.)	Ni (p.p.m.)	Co (p.p.m.)	Cr (p.p.m.)	Zn (p.p.m.)
0-15	0,8	5	1	5	7	200	3	<3	<3	10		45	<3	35	65
15-35	0,55	18	1	5	7	120	5	<3	<3	30	<1	40	11	50	130
95-105	0,35	45	4	18	21	360	17	20	4	90	1	73	22	140	280
140-160		47	6	20	24	650	30	25	5	150	4	100	30	210	

pH 5.

Mo, <1 p.p.m. en surface, 1 p.p.m. en profondeur.

Ag, <1 p.p.m., Ge, <3 p.p.m., Bi, <10 p.p.m., Be, <3 p.p.m.

Tableau 3. Sol ferrugineux tropical (HA-21). Analyse chimique

Profondeur (cm)	M.O. (%)	Argile (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	Mn (p.p.m.)	Pb (p.p.m.)	Ga (p.p.m.)	Sn (p.p.m.)	V (p.p.m.)	Cu (p.p.m.)	Ni (p.p.m.)	Co (p.p.m.)	Cr (p.p.m.)	Zn (p.p.m.)
0-20	1	8	1,5	2,5	4	155	9	<3	3	25	<1	16	2	60	65
40-60	0,6	30	4,1	8	11	170	11	10	9	66	<1	40	12	100	60
80-100	0,6	40	0,8	0,5	16	190	14	14	9	86	<1	47	16	108	50

pH, 6,1-4,6.

Forte quantité de quartz dans l'argile, 88 à 58%.

Mo, 1 p.p.m. à 50 et 100 cm. Be, 3 p.p.m. à 100 cm.

Ge, <3 p.p.m., Bi, <10 p.p.m., Ag, <1 p.p.m.

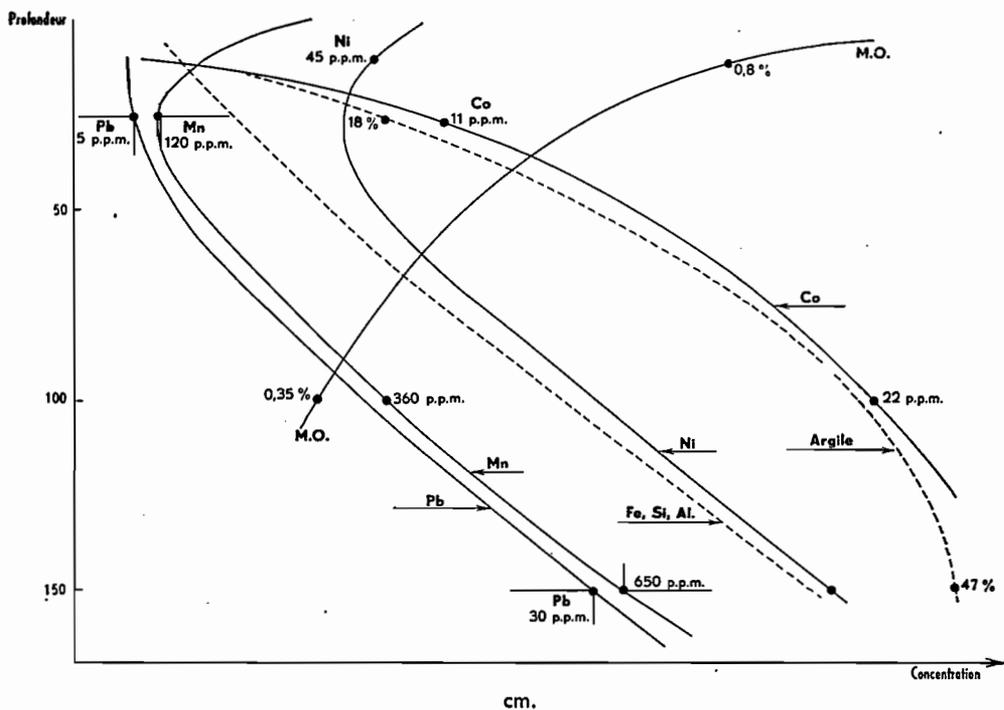


Fig. 2. Sol faiblement ferrallitique beige à hydromorphie temporaire, profil E-3.

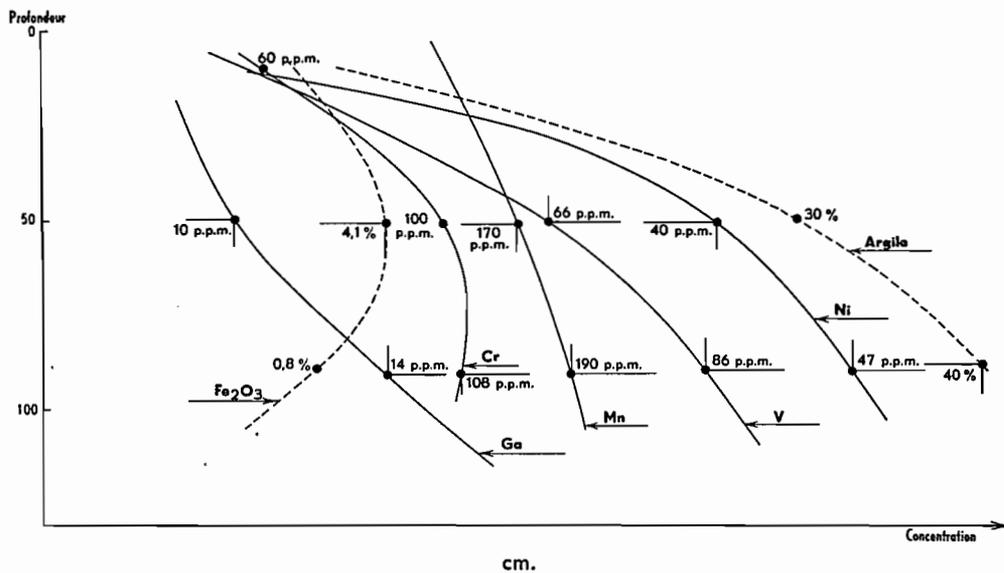


Fig. 3. Sol ferrugineux tropical, profil HA-21.

béryllium 3 p.p.m. Les courbes représentatives sont tracées Fig. 3. On remarque la forme caractéristique de la courbe Fe_2O_3 (Al_2O_3 est semblable): on retrouve cette forme de courbe avec Cr, ainsi qu'avec V et Ni, mais plus atténuée.

Sol type "terre de barre" faiblement ferrallitique sur sédiments tertiaires (N-13)

Les résultats analytiques sont notés Tableau 4. C'est un sol assez bien pourvu en matière organique, riche en argile accompagnée de quartz. Le pH varie avec la

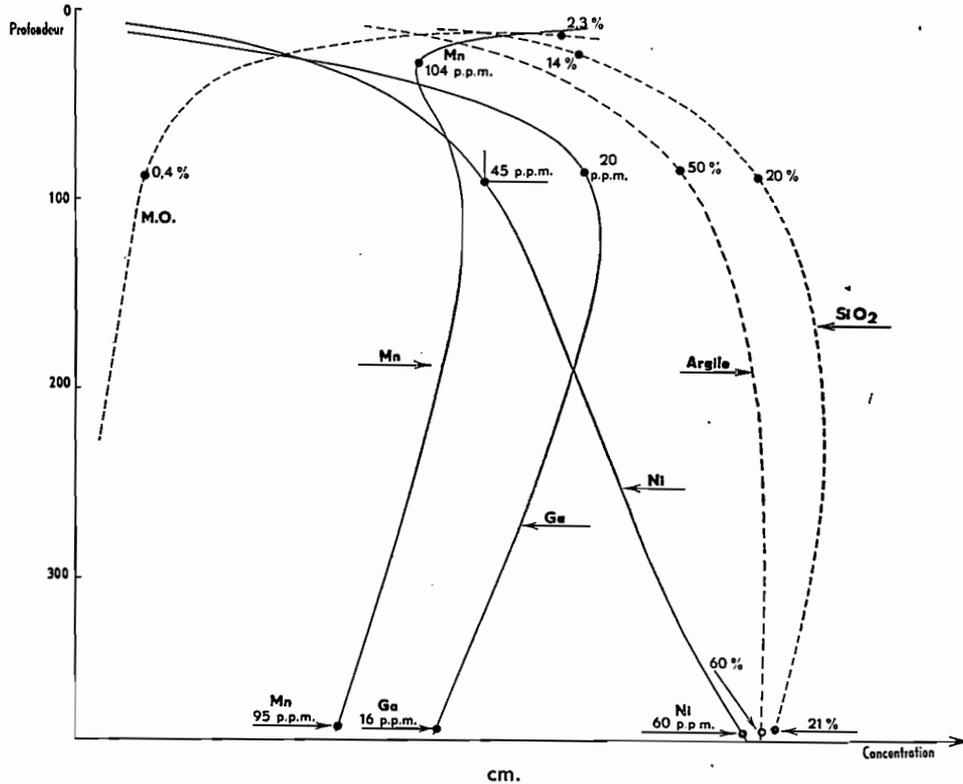


Fig. 4. Sol type "terre de barre" faiblement ferrallitique sur sédiments tertiaires, profil N-13.

profondeur de 4,7 à 4,4. Le sol est riche en éléments traces dans l'ensemble. Le cuivre est toutefois en quantités faibles, inférieures à 1 p.p.m. ainsi que le molybdène, 1 p.p.m. Les courbes de répartition des éléments sont tracées Fig. 4. On retrouve encore une accumulation de manganèse et de bore dans l'horizon organique mais, pour la plupart des éléments traces, les plus fortes concentrations sont situées entre 100 et 200 cm: Pb, Ga, V, Cr, et, au delà de 200 cm: Ni, Zn. On doit envisager là encore une corrélation avec les teneurs en argile et en silicates.

Sol noir tropical à hydromorphie temporaire de surface (HA-31)

Les résultats analytiques sont indiqués Tableau 5. Ce sol de pH 6 à 7,4 est particulièrement riche en matière organique, en argile, en éléments traces et oligo-éléments à l'exception toutefois du cuivre. La répartition des principaux constituants du sol et des éléments traces est représentée par les courbes de la Fig. 5.

Tableau 4. Sol type "terre de barre" faiblement ferrallitique sur sédiments tertiaires (N-13). Analyse chimique

Profondeur (cm)	M.O. (%)	Argile (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	Mn (p.p.m.)	Pb (p.p.m.)	Ga (p.p.m.)	Sn (p.p.m.)	V (p.p.m.)	Cu (p.p.m.)	Ni (p.p.m.)	Co (p.p.m.)	Cr (p.p.m.)	Zn (p.p.m.)
0-15	2,3	19				130	15	9	3	46	<1	26	3	35	40
20-30	0,6	35	4,6	10	14,5	104	20	13	3	95	<1	36	6	95	70
80-90	0,4	50	5	11	20	110	22	20	3	120	<1	45	6	120	80
375-385	0,2	60	5,8	18	21	95	20	16	3	108	<1	60	<3	100	100

pH, 4,7-4,4.

Quartz, forte quantité dans l'argile, 63 à 45%.

Mo, 1 p.p.m. à 80 et 380 cm.

Be, 7 à 10 p.p.m. à 80 et 380 cm.

Tableau 5. Sol noir tropical à hydromorphie temporaire de surface (HA-31). Analyse chimique

Profondeur (cm)	M.O.	Argile (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	Mn (p.p.m.)	Pb (p.p.m.)	Ga (p.p.m.)	Sn (p.p.m.)	V (p.p.m.)	Cu (p.p.m.)	Ni (p.p.m.)	Co (p.p.m.)	Cr (p.p.m.)	Zn (p.p.m.)
0-20	5	43	7	6	19	2000	14	10	27	85	<1	33	16	103	80
60-80	0,7	62	6,3	12	30	1%	22	14	14	125	<1	43	60	130	80
150	0,3		8,1	15	43	1%	13	14	3	150	<1	56	50	150	102
200	0,3		6,3	16	46	250	9	17	3	160	<1	35	10	160	114

pH, 6 à 7,4.

Mo, 3 p.p.m. en surface, 8 à 10 p.p.m. en profondeur

Ge, <3 p.p.m., Bi, <10 p.p.m.

L'étain est le seul élément paraissant s'accumuler dans l'horizon organique. Des zones d'accumulation sont caractéristiques vers 100 à 200 cm pour B, Co, Ni, Pb, et à des profondeurs plus fortes pour Ga, V, Cr. Il semble, là encore, que l'argile soit responsable de cette répartition caractéristique des éléments traces dans le profil.

La concentration de manganèse est très forte: la zone d'accumulation entre 80 et 150 cm contient plus de 1% de manganèse. Cette teneur n'est trouvée que très rarement dans les sols.

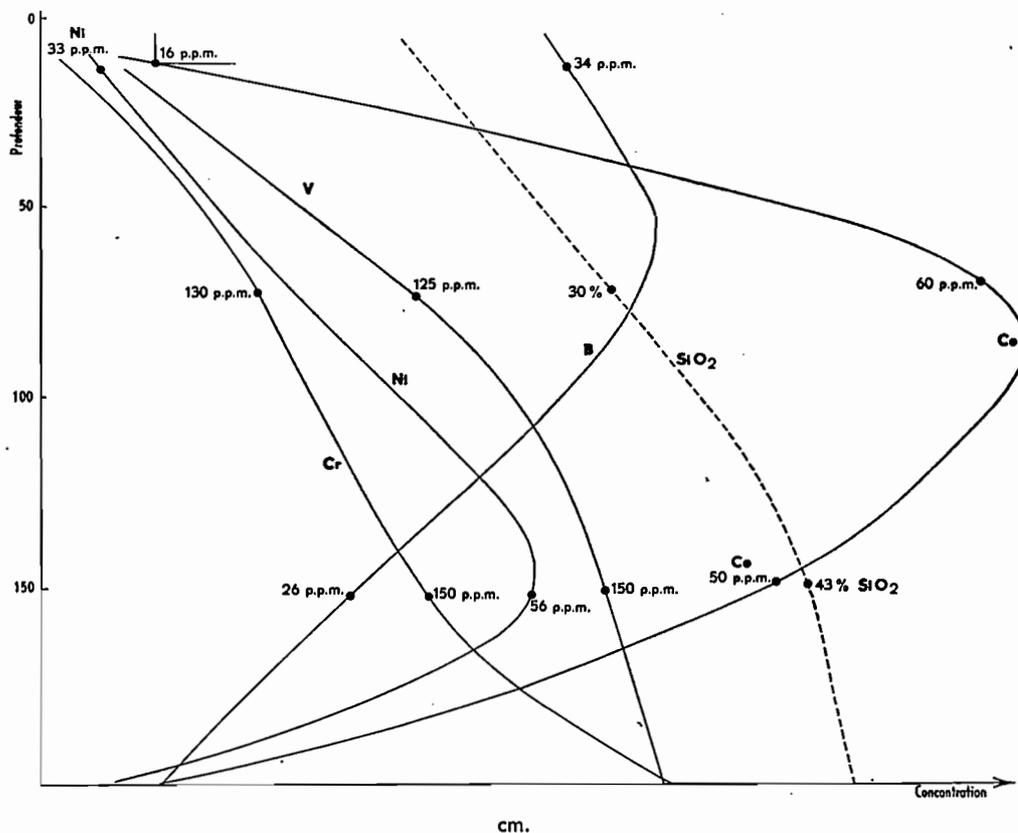


Fig. 5. Sol noir tropical à hydromorphie temporaire de surface, profil HA-31.

OBSERVATIONS GÉNÉRALES ET CONCLUSIONS

L'examen de ces résultats appelle quelques remarques.

(1) Si l'on compare les valeurs d'éléments traces trouvées dans ces sols aux teneurs moyennes des sols normaux, on remarque que les éléments B, Mn, Pb, Ga, Sn, V, Ni, Co, Cr, Zn, sont à des concentrations normales dans les sols étudiés, à l'exception de Mn que l'on trouve dans le sol noir tropical (HA-31) à une concentration anormalement forte.

D'autre part, les éléments Cu et Mo sont souvent trouvés dans les sols dahoméens, à des concentrations inférieures à leurs concentrations moyennes dans les sols normaux (Cu 2-100 p.p.m. et Mo 1-4 p.p.m.).

En conséquence, on peut, dans l'interprétation agronomique de ces résultats, soupçonner des carences en cuivre et molybdène.

(2) L'examen général des résultats montre que dans toute prospection géochimique, pédologique, agronomique, le seul examen de l'horizon de surface ou d'un horizon peu profond ne donne pas de renseignements suffisants sur la teneur du sol en éléments traces.

(3) On trouve fréquemment dans l'horizon organique des accumulations de bore et manganèse, et, plus rarement, de Pb, Ni, Sn.

(4) D'une façon générale, la concentration des éléments traces varie, à l'intérieur du profil, dans le même sens que la concentration d'argile: on constate, en particulier, des accumulations d'éléments dans l'horizon argileux.

BIBLIOGRAPHIE

- AUBERT G. (1956) *Les micro-éléments dans les Sols*. Comm. Soc. Geochim. Paris, XII, 1956. Bull. Péd. O.R.S.T.O.M. (1957) 7, 1.
- AUBERT G. et DUCHAUFOR P. (1956) *C. R. VI Congrès International Science du Sol, Paris*.
- FAUCK J. (1961) *Mission d'Étude au Dahomey*. Publ. O.R.S.T.O.M. Paris, no. 8 et 9.
- OLLAT C. et PELLOUX P. (1957) *Analyse d'un Sol ou d'une Argile par Attaque aux Trois Acides*. Publ. O.R.S.T.O.M.
- PINTA M. (1961) *Recherche et Détermination des Éléments Traces*. Dunod, Paris. À paraître.