

Essai de détermination du rôle des matières organiques dans la capacité d'échange des sols ferrallitiques

par **Paul de BOISSEZON**
Directeur de Recherches O.R.S.T.O.M.

SOMMAIRE

La contribution au complexe absorbant des matières humiques extractibles par les solvants alcalins, des matières organiques non extractibles et des matières minérales, est estimée par comparaison des capacités d'échange de l'échantillon de sol brut, de l'échantillon après extraction des matières humiques et enfin après longue calcination à température modérée.

Cette technique appliquée à une série d'échantillons provenant de divers sols ferrallitiques forestiers de Côte d'Ivoire fait apparaître des différences significatives suivant le type d'humus et entre les horizons. Elle permet par ailleurs une estimation de la capacité d'échange apparente des matières humiques et de l'humine. Pour les sols étudiés, la C.E.C. des matières humiques est deux fois plus importante que celle des matières organiques non extractibles.

INTRODUCTION.

L'objectif des travaux qui sont rapportés dans cette communication (1) est d'évaluer le rôle des matières organiques, particulièrement des matières humiques extractibles par les solvants alcalins, du point de vue de leur contribution à la capacité d'échange cationique des sols.

En comparant la capacité d'échange du sol avant et après extraction ou destruction des matières organiques, on obtient par différence une estimation de la capacité d'échange apparente de ces matières organiques. Il s'agit donc d'une évaluation globale de leur rôle apparent, qui intègre non seulement leur capacité d'échange potentielle, mais encore l'effet sur la C.E.C. des interactions entre les constituants organiques et minéraux du sol.

METHODES ANALYTIQUES.

Destruction des matières organiques. Une approche partielle de ce problème a déjà été tentée il y a quelques années (de BOISSEZON 1970) en comparant la capacité d'échange du sol brut à celle du sol après destruction des matières organiques. Pour ce faire, la technique courante de destruction des matières organiques par l'eau oxygénée n'a pas été retenue, car elle est longue et modifie l'agrégation et l'accessibilité des sites d'échange du sol. La destruction des matières organiques des sols par H_2O_2 est loin

(1) Réunion de l'Association Française pour l'Etude des Sols (2-12-76).

d'être complète. De plus, la capacité d'échange des matières organiques résiduelles risque d'être fortement modifiée par ce prétraitement oxydant.

Nous avons donc préféré la technique de calcination pendant 6 heures à température modérée (350 °C) déjà préconisée par MITCHELL (1932) puis TEDROW et GUILLAM (1941) qui se prête beaucoup mieux à l'analyse en série. Les taux de destruction des matières organiques dépassent 97 % pour les échantillons provenant d'horizons A₁ de sols ferrallitiques et l'on peut considérer, d'après SCHNITZER et HOFFMAN (1964), que les groupements carboxyles et hydroxyles phénoliques sont détruits dans le peu de matières organiques restantes. Inversement, la capacité d'échange cationique des matières minérales ne paraît pas être sensiblement modifiée pour les sols ferrallitiques à argile kaolinitique. Par contre, pour les sols contenant des argiles (2 : 1) cette méthode est sujette à caution, la calcination à température modérée provoque un début de déshydroxylation des minéraux argileux diminuant légèrement (10 à 15 %) la capacité d'échange des matières minérales.

Extraction des matières humiques. Une deuxième méthode analytique par différence a été mise au point pour estimer la participation apparente au complexe absorbant des matières humiques, c'est-à-dire des matières organiques extractibles par les solutions alcalines.

L'extraction des matières humiques est réalisée dans le tube à percolation qui servira ultérieurement pour la mesure de la capacité d'échange. La colonne du mélange sol-sable (1 : 1) est humectée d'abord per ascensum pour chasser l'air, puis percolée lentement par une solution de soude N/10 contenant 2 % de sulfate de sodium afin d'éviter la dispersion des colloïdes argileux. Cette percolation par une solution, dont le pH est voisin de 11,5, est poursuivie jusqu'à ce que la solution percolante ne soit plus colorée par les matières humiques extraites. Le dosage de celles-ci (C'), par la méthode WALKEY et BLACK, est réalisé sur une aliquote de la solution obtenue séchée à 50 °C.

Mesure de la capacité d'échange à pH 7. Cette détermination analytique, qui est réalisée soit sur les échantillons de sols bruts, soit après extraction des matières humiques, soit enfin après calcination à 350 °, est conduite de la même manière, suivant la méthode OLLAT publiée par PELLOUX en 1963. Le sol est d'abord saturé par CaCl₂ N tamponné à pH 7 par la triéthanolamine, le CaCl₂ en excès est lavé par une solution de CaCl₂ N/50. Le calcium échangé est ensuite déplacé par percolation d'une solution de KNO₃ N.

Le calcium échangé est dosé par complexométrie (EDTA) ou à l'aide d'un autoanalyseur avec la crésolphtaléine-complexon. On mesure et retranche le léger excès de calcium, provenant du chlorure de calcium qui est absorbé par le sol, en dosant le chlore présent dans la solution de KNO₃ soit par la méthode VOLHARD au nitrate d'argent, soit à l'autoanalyseur en utilisant le thiocyanate mercurique en présence d'alun de fer (DABIN 1967 et PELLOUX et al. 1971).

On dispose pour chacun des échantillons de sols de trois valeurs de la capacité d'échange à pH = 7 : celle du sol brut (T), celle après extraction des matières humiques (T'), et celle après calcination à température modérée (T''). On peut en déduire les capacités d'échange apparentes :

$(T - T')$ m.é./100 g : C.E.C. apparente des matières humiques ;

$(T' - T'')$ m.é./100 g : C.E.C. apparente des matières organiques résiduelles ;

T'' m.é./100 g : C.E.C. des matières minérales.

Ces capacités d'échange peuvent être exprimées en valeur relative par rapport à la capacité d'échange du sol brut, ou rapportées aux teneurs en matières organiques extractibles (C') ou résiduelles (C - C') correspondantes : $(\frac{T - T'}{C'})$ et $(\frac{T' - T''}{C - C'})$.

SOLS ETUDIES : SOLS FERRALLITIQUES FORESTIERS DE COTE D'IVOIRE.

Cette technique a été appliquée à une quarantaine d'échantillons provenant d'horizons humifères de sols ferrallitiques forestiers de Côte d'Ivoire. Nous avons résumé dans le tableau n° 1 les caractéristiques majeures de l'horizon A₁ qui permettent de différencier trois types d'humus correspondant à trois zones écologiques bien distinctes :

Dans la zone I, située dans la partie sud et ouest de ce pays et qui correspond au domaine de la forêt dense humide « semper-virente », les sols ferrallitiques fortement désaturés en B sont plus acides en surface (pH = 4,6) qu'en profondeur (pH = 5,2). L'humus de type mull forestier tropical oligotrophe (PERRAUD 1971) n'est pas toujours bien lié aux matières minérales dans l'horizon A₁₁. Les teneurs en matières organiques sont faibles et les teneurs en acides fulviques relativement élevées.

TABLEAU 1. — *Caractéristiques moyennes de l'humus des sols ferrallitiques forestiers ivoiriens*

Humus characteristics of Ivory Coast ferrallitic forest soils

Zones	Forêt dense	Climat	Humus	Caractéristiques de l'horizon A ₁				A.H. gris
				C %	C/N	taux d'extraction des M.H.T.	AF/AH	AH
I	humide semper-virente	P > 1600 mm saison sèche peu marquée	Mull forestier oligotrophe	1 - 2 %	13 - 14	34 - 37 %	1,6	< 50 %
II	semi-décidue	P > 1400 mm saison sèche 4-5 mois peu marquée	mésotrophe	2 - 3	9 - 12	31 - 38	1,3 à 1	50 - 60
III	semi-décidue	P < 1400 mm longue saison sèche	eutrophe	2 - 4	10	24 - 29	1	> 60

Dans la zone II, située en moyenne Côte d'Ivoire sous forêt dense humide semi-décidue, les sols ferrallitiques moyennement désaturés en B (en général pH = 5,2) ont par contre des horizons humifères faiblement acides voire presque neutres (mull forestier tropical mésotrophe). Les teneurs en matières organiques des horizons humifères sont nettement plus fortes que dans la première zone, avec moins d'acides fulviques et plus d'acides humiques gris.

Enfin, dans la zone III, ou préforestière, qui s'étend dans le centre et la partie nord du pays, des îlots de forêt dense semi-décidue sont d'un type particulier. Les sols ferrallitiques forestiers sont le plus souvent faiblement désaturés en B, mais avec des horizons humifères dont la réaction est pratiquement neutre. L'humus de type mull forestier tropical eutrophe diffère assez peu par ses caractéristiques de celui de la zone précédente, si ce n'est que le taux d'extraction des matières humiques est plus faible, tandis que les acides humiques gris et l'humine surévoluée sont plus abondants.

En résumé, lorsque l'on passe de la zone I perhumide à la zone III à saisons alternées et bien tranchées, le processus d'accumulation des matières organiques dans les horizons supérieurs des sols forestiers devient de plus en plus marqué ; et les matières organiques du sol sont plus pauvres en acides fulviques et plus riches en acides humiques gris et en humine surévoluée.

COMPARAISON DES COMPLEXES ABSORBANTS D'ORIGINE ORGANIQUE DE CES SOLS FERRALLITIQUES FORESTIERS IVOIRIENS.

Pour schématiser ces comparaisons, seules les valeurs moyennes obtenues pour les horizons homologues des sols de chacune de ces zones ont été présentées sur les tableaux et graphiques.

Nous remarquerons tout d'abord (fig. 1) que la capacité d'échange des échantillons d'horizons humifères des zones II et III est nettement plus importante que celle provenant des sols de la zone I. Dans cette dernière zone, les teneurs moyennes en argile des horizons humifères sont un peu plus faibles, car les sols appauvris sont plus fréquents, mais les différences sur les taux d'argile sont minimes et ne peuvent entraîner que des variations limitées de la C.E.C. Par ailleurs, nous avons vu que les teneurs en matières organiques des horizons A₁ des sols de la zone II et III sont plus élevées. Ces deux constatations n'expliquent cependant pas totalement que la capacité d'échange des horizons humifères passe en moyenne du simple au double entre les zones I et III.

La capacité d'échange apparente de l'ensemble des matières organiques ($T - T''$) est très importante pour les horizons A₁₁ et A₁₂, particulièrement pour les sols sous forêt dense humide semper-virente ($\frac{T - T''}{T} = 80 \%$). Le complexe absorbant d'origine organique reste prédominant dans les horizons A₁₂. Par contre dans les horizons A₃, vers 30 à 40 cm de profondeur, elle ne représente plus que le quart du complexe absorbant. La capacité d'échange apparente des matières organiques devient pratiquement nulle et même parfois négative dans l'horizon B. Nous aurons l'occasion de revenir sur ce point ultérieurement.

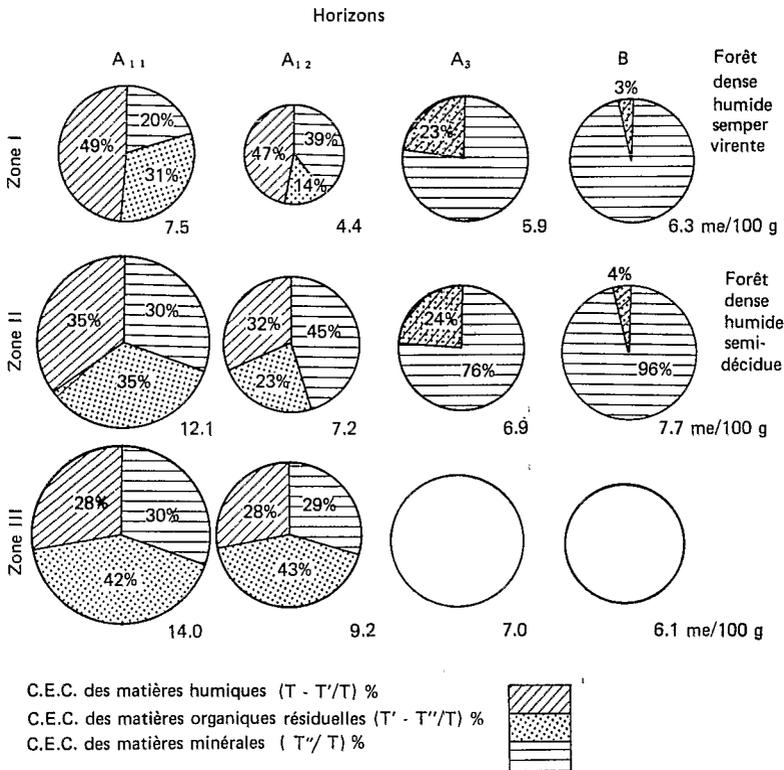


FIGURE I. — C.E.C. (pH = 7) des sols ferrallitiques forestiers de Côte d'Ivoire (valeurs et pourcentages moyens)

C.E.C. (pH 7) of Ivory Coast ferrallitic forest soils (data and per cent average)

ROLE APPARENT DES MATIERES HUMIQUES EXTRACTIBLES ET DES MATIERES ORGANIQUES RESIDUELLES.

On constate pour la plupart des profils analysés que l'importance relative de la capacité d'échange due aux matières humiques ($\frac{T - T'}{T}$) est sensiblement la même dans les horizons A₁₁ et A₁₂. Si par ailleurs on compare l'importance relative du complexe absorbant des différentes fractions dans les sols de ces trois zones, on constate que le rôle des matières humiques extractibles est plus important dans les sols de la zone I que dans ceux des zones II et III. C'est l'inverse pour les matières organiques résiduelles.

Le graphique triangulaire n° 2 rend compte d'une manière plus explicite de la contribution respective des constituants organiques et minéraux. Quand on passe de l'horizon A₁₁ à l'horizon A₁₂, le rôle des matières humiques reste du même ordre de grandeur, tandis que la capacité d'échange due aux matières organiques résiduelles, essentiellement l'humine, est remplacée par celle due aux matières minérales qui augmente avec le taux d'argile. Cette évolution se poursuit dans les horizons A₃ et B et le complexe absorbant d'origine minérale a alors un rôle de plus en plus prépondérant (de BOISSEZON 1970).

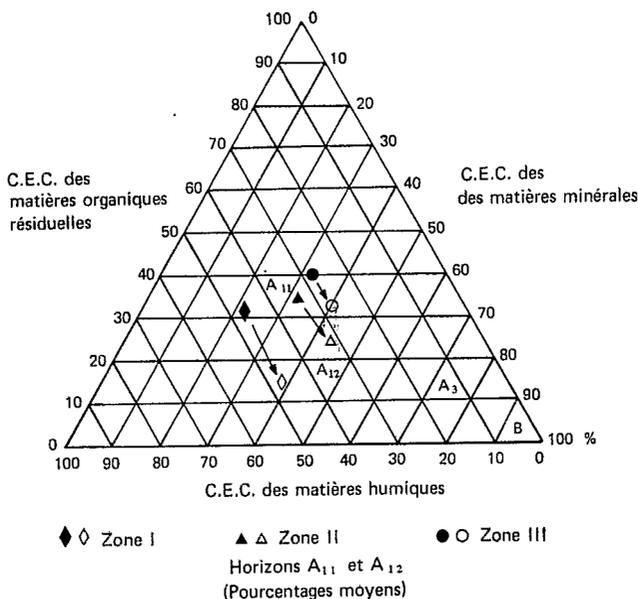


FIGURE II. — Capacité d'échange apparente des constituants organiques et minéraux des sols ferrallitiques forestiers ivoiriens

Apparent exchange capacity of organic and inorganic matter in Ivory Coast ferrallitic forest soils

CAPACITE D'ECHANGE APPARENTE DES FRACTIONS ORGANIQUES.

Sur le tableau n° 2 figurent les valeurs moyennes des capacités d'échange rapportées aux teneurs correspondantes en carbone organique. Nous constatons que la capacité d'échange apparente de l'ensemble des matières organiques ($\frac{T - T''}{C}$) augmente significativement avec la profondeur pour les sols des zones II et III. Ce résultat confirme l'augmentation du coefficient de régression t_c avec la profondeur, que nous avons déjà constatée par l'analyse statistique des équations de régression linéaire multiple de la forme : $T = t_c + t_c C + t_c A$.

Par ailleurs, la capacité d'échange apparente des matières humiques ($\frac{T - T'}{C'}$) est en général deux fois plus importante que celle de l'humine ($\frac{T' - T''}{C - C'}$). Enfin pour les sols sous forêt dense humide semper-virente (zone I), l'humine a une capacité d'échange apparente relativement faible ce qui explique le rôle apparemment limité de cette fraction dans le complexe absorbant de ces sols.

TABLEAU 2. — C.E.C. (pH 7) apparentes des matières organiques (valeurs moyennes) (mé/100 gC)

Apparent C.E.C. of organic matter (mean)

Zones	Horizons A ₁₁			Horizons A ₁₂		
	M.O. totales	M.H. extractibles	M.O. résiduelles	M.O. totales	M.H. extractibles	M.O. résiduelles
I	290	460	175	270	540	100
II	270	390	200	335	470	225
III	280	470	215	345	545	250

INTERET ET LIMITES DE CETTE TECHNIQUE D'INVESTIGATION.

Cette méthode d'étude du complexe absorbant fournit donc des estimations qui font apparaître des différences significatives entre les divers horizons humifères des sols ferrallitiques forestiers ivoiriens. Elle montre que les fractions organiques extractibles et non extractibles ont apparemment une contribution au complexe absorbant du sol qui diffère nettement suivant le type d'humus et les horizons considérés.

Néanmoins ces estimations peuvent susciter des critiques sur le plan de la technique comme sur le plan du principe de la mesure :

— Du point de vue de la technique analytique, il est certain que la percolation par la soude diluée en présence de sulfate de sodium ne permet pas une extraction totale des matières humiques ; mais des techniques plus drastiques conduisent soit à une modification importante du complexe absorbant d'origine minérale, soit à une dispersion des colloïdes argileux. La mesure de la capacité d'échange des substances humiques fournit donc probablement une estimation par défaut et, celle des matières organiques non extractibles une estimation par excès.

— Quant au principe même de la méthode, nous devons remarquer que nous supposons implicitement que les capacités d'échange des matières humiques, des matières organiques résiduelles et des matières minérales sont strictement additives. Ceci implique soit que les interactions entre colloïdes organiques et minéraux du point de vue de la capacité d'échange sont considérées comme négligeables, soit que la mesure faite par différence renseigne seulement sur la **capacité d'échange apparente** de la fraction organique, qui est égale à la capacité d'échange potentielle moins les interactions.

En fait l'application de cette méthode par différence aux horizons B de sols ferrallitiques montre clairement que les interactions sont alors relativement importantes, puisque la capacité d'échange apparente des matières organiques contenues dans cet horizon peut être nulle, voire négative.

Dans les horizons supérieurs plus riches en matières organiques, la capacité d'échange apparente est positive et correspond aux estimations moyennes faites par l'analyse statistique des régressions linéaires multiples. Ceci ne prouve pas que les interactions soient négligeables.

Pour les matières humiques extractibles, qu'il est possible d'isoler, de purifier et de désaturer, la comparaison de l'acidité d'échange (mesurée à pH 7 en présence de BaCl_2) avec la capacité d'échange apparente mesurée par différence, permet de constater (de BOISSEZON 1975) que l'acidité d'échange est considérablement plus élevée. La différence entre la capacité d'échange potentielle et apparente des matières humiques, qui correspond à la somme algébrique des interactions, représente alors 60 à 80 % de la C.E.C. potentielle de ces matières humiques pour les horizons A, des sols ferrallitiques étudiés.

Enfin le fait que la capacité d'échange apparente des matières humiques soit deux fois plus élevée que celle de l'humine ne prouve pas que le nombre de groupements carboxyliques et hydroxyles phénoliques soient deux fois plus élevés dans les premiers. Les liaisons plus intimes de l'humine avec les matières minérales incitent simplement à penser que les interactions seraient nettement plus importantes pour cette fraction organique non extractible.

CONCLUSIONS.

La méthode analytique par différence qui est présentée dans cette communication permet une estimation du rôle apparent des matières humiques extractibles, de l'humine et des matières minérales du point de vue de la capacité d'échange cationique. Néanmoins la nature et l'importance des interactions qui réduisent la contribution du complexe absorbant d'origine organique et minérale restent inconnues. Il n'est donc pas certain que l'on puisse valablement se fonder sur ces estimations de la capacité d'échange apparente des fractions organiques pour prévoir l'évolution du complexe absorbant d'un sol à la suite d'une modification de son stock humique.

La comparaison des capacités d'échange apparentes et potentielles des matières humiques extractibles montre que pour les sols étudiés les interactions sont relativement importantes.

ATTEMPT AT DETERMINING THE PART TAKEN BY ORGANIC MATTERS IN THE EXCHANGE CAPACITY OF SOILS

SUMMARY

A new method for determining the apparent C.E.C. of soil organic matter is experimented on Ivory Coast ferrallitic forest soil samples. The C.E.C. of humic matter is obtained by subtracting to the raw soil C.E.C. the one obtained after extracting humic substances with 0, 1N NaOH + Na_2SO_4 2 %. The C.E.C. of residual organic matter (mostly humin) is calculated after subtracting the C.E.C. obtained after a long pyrolysis (350° C) from the preceding soil treated with soda.

The soils exchange capacities, before and after these pretreatments are determined according to the OLLAT method (in PELLOUX 1963 and 1971). The soil sample is saturated by a buffered (pH7) N CaCl_2 solution in a percolation column. The absorbent complex is leached with a N KNO_3 solution. Calcium is measured with a complexometer.

The results show meaningful differences between humus types and A₁₁, A₁₂, A₂ humic horizons; e.g. the apparent exchange capacity of organic matter on the whole takes a part of about 70 to 80 per cent of the soil C.E.C. in A₁₁ horizons, 55 to 70 % in A₁₂ horizons, and less than 25 % in A₂ horizons (Fig. I). The relative C.E.C. importance of unextractable organic matter decreases with depth, while that of humic substances remains nearly constant (Fig. II). In A₁₁ and A₁₂ horizons of these forest soil samples, the apparent C.E.C. of humic substances is almost twice that of humin (table 2).

These results from both series of tests give an estimation of apparent organic matter C.E.C., including, with the potential organic matter C.E.C., the interactions for soil C.E.C. between organic and mineral matter. Nevertheless the interactions (potential - C.E.C. minus apparent - C.E.C) cannot be estimated only for extractable organic matter.

Bibliographie

- BOISSEZON, P. de (1970). — Cah. ORSTOM, Sér. pédol., vol. VIII, n° 4, 391-418.
- BOISSEZON, P. de (1975). — Contribution à l'étude de la capacité d'échange des matières humiques de quelques sols ivoiriens et malgaches. ORSTOM, Tananarive, 59 p.
- DABIN B. (1967). — Cah ORSTOM, sér. pédol., vol. V, n° 3, 257-286.
- MITCHELL J. (1932). — J. Amer. Soc. Agron., 24, 256-275.
- PELLOUX P. (1963). — Méthode de détermination des cations échangeables de la capacité d'échange dans les sols courants, calcaires ou non. ORSTOM, Bondy, 55 p.
- PELLOUX et al. (1971). — ORSTOM initiations, documentations techniques, n° 17, 112 p.
- PERRAUD A. (1971). — La matière organique des sols forestiers de la Côte d'Ivoire, Université Nancy I (thèse), 134 p.
- SCHNITZER M. et HOFFMAN, I (1964). — Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 28, 4, 520-525.
- TEDROW J.C.F. et GUILLAM W.S. (1941). — Soil Sci, 51, 222-233.

Essai de détermination du rôle des matières organiques dans la capacité d'échange des sols ferrallitiques

par Paul de BOISSEZON
Directeur de Recherches O.R.S.T.O.M.

7 NOV. 1977
O. R. S. T. O. M.
Collection de Référence
n° 8846 Pe.do ex1