

Méthode d'extraction et de fractionnement des matières humiques du sol

Application à quelques études pédologiques et agronomiques dans les sols tropicaux

Bernard DABIN

O.R.S.T.O.M., Services Scientifiques Centraux,
70-74, route d'Aulnay, 93140 Bondy

RÉSUMÉ

L'auteur présente une technique de fractionnement des matières humiques du sol comportant plusieurs extractions successives.

L'acide phosphorique de concentration 2 M permet de séparer des matières végétales libres et des acides fulviques libres. L'extrait pyrophosphate 0,1 M et l'extrait soude 0,1 N fournissent chacun séparément une fraction d'acides humiques et une fraction d'acides fulviques. Le carbone résiduel de la matière minérale mesure l'humine.

les différents horizons d'un profil jusqu'à 2 m de profondeur une évolution caractéristique de chacune des formes (lessivage, dépolymérisation, polymérisation), d'autre part dans des parcelles de plantes fourragères et sous culture continue durant cinq années, il se produit une évolution relative des fractions par rapport au témoin sous forêt, en particulier l'appauvrissement du sol provoque une augmentation relative des acides fulviques de l'extrait pyrophosphate et de l'extrait phosphorique, et à l'inverse une diminution significative des acides fulviques de l'extrait soude, ce qui prouve que l'on a affaire à des produits de nature différente et non à de simples artéfacts liés au solvant. Le pourcentage relatif d'humine diminue, la proportion d'acides humiques de l'extrait soude varie peu par rapport au

C total, celle des acides humiques de l'extrait pyroaugmente.

ABSTRACT

A technique for the fractionation of soil organic matter is described —different separated extraction reagents— are sequentially used:

— phosphoric acid (2 M) extracts free organic material, and free fulvic acids;

— sodium pyrophosphate and sodium hydroxide

— carbon percentage of the residue called the humin fraction. The technique was used; for the study of evolution, in different horizons of a ferrallitic profile, down to a 2 m depth. Another study was the decrease of organic matter, in some plots of south Ivory Coast under cultivation and cover crops comparatively to the rain forest virgin soil.

There was increase of free fulvic acids on pyrophosphate fulvic acids, in relation to total carbon, and decrease of fulvic acid extracted with sodium hydroxide. There was also decrease of the humin fraction, and relative increase of pyrophosphate humic acid fraction. The results show that these fractions have specific properties, and do not only depend on the nature of reagents.

SOMMAIRE

INTRODUCTION

DESCRIPTION DE LA TECHNIQUE

RÉSULTATS OBTENUS

- Sols ferrallitiques de Guyane
- Sols ferrallitiques du Cameroun.
- Evolution des sols sous culture en Côte d'Ivoire.

CONCLUSION.

INTRODUCTION

L'extraction des matières humiques du sol a fait l'objet de nombreuses recherches ; on ne passera pas ici en revue les différentes techniques qui ont été proposées, car d'autres auteurs, en particulier Wiesemuller (1965), cité par Flaig en 1970, ont fait des comparaisons concernant l'extraction des acides humiques et fulviques par différents solvants. Ces solvants sont principalement la soude de concentration 1 %, employée soit à chaud, soit à froid et précédée d'un traitement à l'acide chlorhydrique de concentration 2 % à 5 %, soit à chaud, soit à froid. Un autre réactif est le pyrophosphate de sodium 0,1 M employé seul, soit à froid, soit à ébullition. Enfin, les solvants pyrophosphate et soude peuvent être utilisés en mélange.

Les résultats des extractions et des fractionnements varient selon la nature des solvants et le procédé d'extraction. En particulier, l'utilisation de liqueurs acides ou alcalines à forte concentration et à chaud, provoque une dégradation importante des substances humiques. Cette dégradation se manifeste par une diminution importante du résidu non extractible ou humine, et par une augmentation correspondante des acides fulviques.

Les différentes méthodes à froid présentent davantage d'analogie entre elles dans les résultats obtenus : en particulier, le résidu non extractible ou humine est plus élevé et plus constant.

Flaig préconise donc l'emploi de la méthode Kononova et Belchikova (1961) qui utilise un mélange 0,1 M $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ + 0,1 M NaOH avec un rapport sol/liquide de 5/100.

D'autres auteurs (Thomann, 1963) ont utilisé le pyrophosphate de sodium seul.

Quant à Duchaufour et Jacquin (1966), ils ont présenté une méthode utilisant plusieurs extractions successives : d'abord une élimination des matières végétales légères par des liqueurs organiques lourdes (mélange alcool bromoforme D = 1,8), puis extraction des produits humiques solubles par des solutions à pH croissant, employées successivement sur le même échantillon :

- pyrophosphate tamponné à pH = 7 par H_2SO_4
- pyrophosphate 0,1 M à pH = 9,8
- soude 0,1 N à pH = 12

Cette méthode permet une extraction assez complète et bien reproductible de la matière humique du sol, mais elle est un peu longue pour une utilisation en série, et le bromoforme est un produit assez toxique.

Dans une publication faite en 1971, nous avons comparé des extractions à la soude 0,1 N après prétraitement acide, et des extractions au pyrophosphate de sodium avec ou sans prétraitement acide. A partir de sols neutres ou calcaires, les quantités d'acides humiques obtenus grâce à un épuisement par plusieurs traitements successifs sont à peu près identiques avec les différents solvants. Par contre, dans le cas d'un sol calcaire, l'extrait au pyrophosphate de sodium sans prétraitement acide donne moins d'acide fulvique (l'acide fulvique inclus dans le calcaire n'est pas extrait).

Dans les sols tropicaux acides, un épuisement à la soude après prétraitement acide, donne presque deux fois plus d'acides humiques qu'un épuisement au pyrophosphate de sodium seul ; on peut ensuite extraire les acides humiques résiduels du traitement pyrophosphate, en complétant par une extraction à la soude.

A la suite de ces essais, une méthode d'extraction de l'humus a été proposée : elle comporte successivement :

- un prétraitement acide,
- un épuisement au pyrophosphate de sodium 0,1 M,
- un épuisement à la soude 0,1 M.

L'acide choisi est l'acide phosphorique de concentration 2 M : il a l'avantage, par rapport à HCl, de ne pas avoir de propriétés réductrices pour le dosage de carbone au bichromate de K ; il a l'avantage, par rapport à H_2SO_4 , de donner avec le calcium un phosphate monocalcique beaucoup plus

soluble que le sulfate de calcium, donc plus facile à éliminer par lavage à l'eau (tout sel de calcium restant dans le milieu d'extraction nuit à la solubilisation de l'humus).

L'acide phosphorique de concentration 2 M a une densité comprise entre 1,1 et 1,2, ce qui suffit après agitation du sol (broyé et tamisé 0,5 mm) et centrifugation, à séparer de nombreuses petites brindilles de matière végétale non humifiée et non liée à la matière minérale. Ces brindilles peuvent être séparées par filtration. Le carbone est dosé sur la totalité ou sur une fraction.

Le liquide phosphorique contient une certaine quantité d'acide fulvique qui est déterminé sans difficulté par oxydation sulfochromique.

Les matières humiques totales (A. humique + A. fulvique) extraites par l'ensemble des réactifs acides et alcalins (PO_4H_3 - pyrophosphate-soude) sont proches de celles extraites par la méthode Duchaufour et Jacquin (Dabin, 1971) ; de même, elles sont voisines de celles obtenues par la méthode Kononova-Balchikova, mais légèrement supérieures (10 à 20 %) (tabl. I).

TABLEAU I

Comparaison entre la méthode Bondy (PO_4H_3 , 2M - $\text{P}_2\text{O}_7\text{Na}_4$ - NaOH) et la méthode Kononova-Belchikova ($\text{P}_2\text{O}_7\text{Na}_4$ - NaOH 0,1 N)

1. FRACTIONNEMENT DES MATIÈRES HUMIQUES

Echant.	Méthode Bondy			Méthode Kononova-Belchikova				
	AFL	MHT	H	Matières humiques			MHT	H + ML
				1 ^{er} Extr.	2 ^e extr.	3 ^e Extr.		
1	1,21	16,47	21	12,08	2,24	1,44	15,76	24,16
2	1,35	10,97	8,7	8,36	1,40	tr.	9,76	12,62
3	0,49	7,64	6,39	6,83	1,31	tr.	8,14	9,05
4	0,58	6,66	4,67	5,74	0,95	tr.	6,69	6,57
5	0,79	14,65	13,29	13,65	2,13	1,44	16,92	15,86
6	0,58	8,30	3,70	6,70	1,20	tr.	7,90	6,98
7	0,27	4,13	3,55	3,61	0,73	tr.	4,34	3,84
8	1,30	22,32	27,23	21,50	2,64	1,13	25,27	27,52

2. COMPARAISON DES MATIÈRES HUMIQUES TOTALES

Méthode Bondy MHT + AFL	Méthode Kononova-Belchikova MHT (par épuisement)
17,68	15,76
12,32	9,76
8,13	8,14
7,24	6,69
15,45	16,92
9,38	7,90
4,43	4,34
23,62	25,27

Les fractions légères séparées par l'acide phosphorique sont moins abondantes que celles extraites par les liquides organiques de densité 1,8, mais ces dernières contiennent une certaine proportion de

matière minérale et de produits humifiés. La méthode Duchaufour et Jacquin prévoit une extraction séparée au pyrophosphate de sodium sur les matières légères pour doser la matière humifiée. A la suite

d'applications à de nombreux sols, on a mis au point une technique standard suffisamment simple pour pouvoir être exécutée en série, mais par ailleurs assez complète au point de vue des formes séparées pour suivre les transformations et les migrations des différentes fractions de l'humus, soit dans des profils au cours de l'année, soit dans des essais agronomiques en parcelles en fonction de traitements différents.

DESCRIPTION DE LA TECHNIQUE

Pour avoir des résultats parfaitement reproductibles, il est indispensable de standardiser autant que possible le mode d'extraction.

Le sol est broyé et tamisé au tamis 0,5 mm. Le rapport sol/réactif est de 5/100 pour chaque extrait ; mais dans le cas de sols pauvres, il est parfois nécessaire de prendre 20/100.

— Agiter pendant 1/2 heure 10 g de sol dans 200 ml de PO_4H_3 (136 ml par litre d'eau). Recommencer deux fois l'opération.

— Après chaque agitation, la suspension est centrifugée et le liquide surnageant décanté sur filtre.

— Les *matières végétales légères* sont recueillies sur filtre et séchées. L'analyse du carbone est faite par combustion.

— La solution phosphorique contenant les *acides fulviques libres* est conservée.

— Le culot de sol est lavé à l'eau jusqu'à un pH de 4,5-5. Après lavage, le sol est agité 4 heures avec 200 ml de $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$, 0,1 M. Le liquide d'extraction est centrifugé et décanté sur filtre.

— Le résidu de sol est agité 4 heures avec 200 ml de NaOH 0,1 M, centrifugé et décanté sur filtre. L'opération est recommencée deux fois. Les filtrats correspondant à l'extraction pyrophosphate et à l'extraction soude sont conservés séparément.

— Une aliquote de chaque solution est desséchée à l'étuve et le carbone est dosé, soit par le bichromate de potassium, soit par combustion et détermination du CO_2 dégagé. On détermine ainsi les matières humiques totales (A. fulvique + A. humique).

— Sur une autre aliquote, les acides humiques sont précipités par H_2SO_4 à pH 1. Le précipité est lavé et le carbone déterminé comme précédemment (Acides humiques).

— Les acides fulviques sont obtenus par différence : % C acides fulviques = % C matières humiques totales - % C acides humiques.

Les acides *fulviques libres* sont déterminés directement par oxydation sulfochromique de l'extrait phosphorique.

Le résidu de sol après la seconde extraction à la soude, est séché, et le carbone total résiduel est dosé. On obtient ainsi la fraction insoluble ou *humine*.

On a donc en définitive sept fractions différentes de matières organiques :

$$\begin{aligned}
 & \text{C \% des matières végétales légères} \\
 & + \text{C \% des acides fulviques libres} \\
 & + \text{C \% des acides fulviques extraits au pyro-} \\
 & \quad \text{phosphate de sodium} \\
 & + \text{C \% des acides humiques extraits au pyro-} \\
 & \quad \text{phosphate de sodium} \\
 & + \text{C \% des acides fulviques extraits à la soude} \\
 & + \text{C \% des acides humiques extraits à la soude} \\
 & + \text{C \% humine} \\
 & \hline
 & = \text{C \% total}
 \end{aligned}$$

RÉSULTATS OBTENUS

Sols ferrallitiques de Guyane

La méthode proposée a été appliquée à l'étude de l'évolution saisonnière de la matière organique dans des profils de sols ferrallitiques et podzoliques en Guyane Française (thèse de J.F. Turenne, 1975). Voici quelques conclusions concernant l'évolution des différentes fractions de la matière humique.

En ce qui concerne les *acides fulviques libres*, on observe une migration progressive et régulière de cette fraction en profondeur.

Pour l'*humine*, le fait le plus remarquable à signaler est l'augmentation considérable et rapide de la teneur en humine de l'horizon B_2 au début de la saison sèche ; ce fait est à rapprocher de la diminution concomitante des acides fulviques liés. En B_2 ,

les acides fulviques liés semblent se transformer directement en humine au cours des phases d'assèchement (les variations relatives peuvent atteindre 30 %). Par contre, en B₁, l'humine constitue un pourcentage pratiquement constant quelle que soit la saison. Les transformations paraissent se limiter dans cet horizon aux échanges acides humiques et acides fulviques.

Sols ferrallitiques du Cameroun

Dans l'exemple suivant, l'évolution saisonnière n'a pas été étudiée, mais les différents horizons d'un profil de sol ferrallitique profond dans le Centre Cameroun (CFT₂₁) ont été analysés et comparés. Il s'agit d'un sol rouge fortement désaturé sous forêt (tabl. II).

TABLEAU II

Différentes fractions des matières humiques : Sol ferrallitique du Cameroun
C ‰ de terre sèche C % du total

Echantillon profondeur	ML	AFL	AFP	AFS	AHP	AHS	H	CT	ML	AFL	AFP	AFS	AHP	AHS	H	Arg. %
CFT 21 0-5 cm	0,45	0,77	2,02	2,79	1,7	1,7	6,17	15,4	2,9	4,9	13,2	18	9,7	11	41	8,2
									-2,9	+4,1	+3,3	-0,4	-1	-3,8	-3	
25-30		0,61	1,15	1,21	0,6	0,5	2,63	6,7		9	16,5	17,6	8,7	7,2	38	12
									+8,4	0	+4,9	-6,8	-4,3	+1		
60-70		1,08	1,04	1,40	0,12	0,18	2,47	6,29		17,4	16,5	22,5	1,9	2,85	39	50
									-2,4	-1,6	-4	+0,4	+1,46	+7		
120-130		0,78	0,77	0,96	0,12	0,22	2,35	5,20		15	14,9	18,5	2,3	4,3	46	59
									0	-0,4	+1	+1,2	-0,3	-2		
180-190		0,52	0,51	0,62	0,12	0,14	1,51	3,48		15	14,5	19,5	3,5	4	44	54
									-7	-2,9	+10,4	-1,85	+0,9	0		
260-270		0,29	0,43	1,09	0,06	0,18	1,62	3,67		8	11,6	29,9	1,65	4,9	44	53

ML = matières légères
AFL = acides fulviques libres
AFP = acides fulviques pyrophosphate
AHP = acides humiques pyrophosphate

AFS = acides fulviques soude
AHS = acides humiques soude
H = humine
CT = carbone total

Les résultats des différentes fractions sont exprimées en C % de terre sèche et également en pourcentage relatif par rapport au carbone total.

En ce qui concerne les pourcentages relatifs, on a représenté la différence positive ou négative de chaque fraction par rapport à la fraction homologue dans l'horizon immédiatement supérieur considéré comme horizon de référence. On peut ainsi suivre sur un graphique les augmentations ou diminutions relatives de chaque fraction en fonction de la profondeur du sol (fig. 1).

On aboutit à des conclusions assez voisines de celles de Turenne :

— Jusqu'à -60 cm, on observe un très fort lessivage des acides fulviques libres.

L'humine diminue, puis reste stable à -60 cm ; par contre, il y a diminution des acides humiques au profit des acides fulviques (AFS).

— A -120 cm, on note une forte diminution des acides fulviques et une augmentation de l'humine. C'est un phénomène analogue à celui constaté par Turenne dans l'horizon B₂ de Guyane.

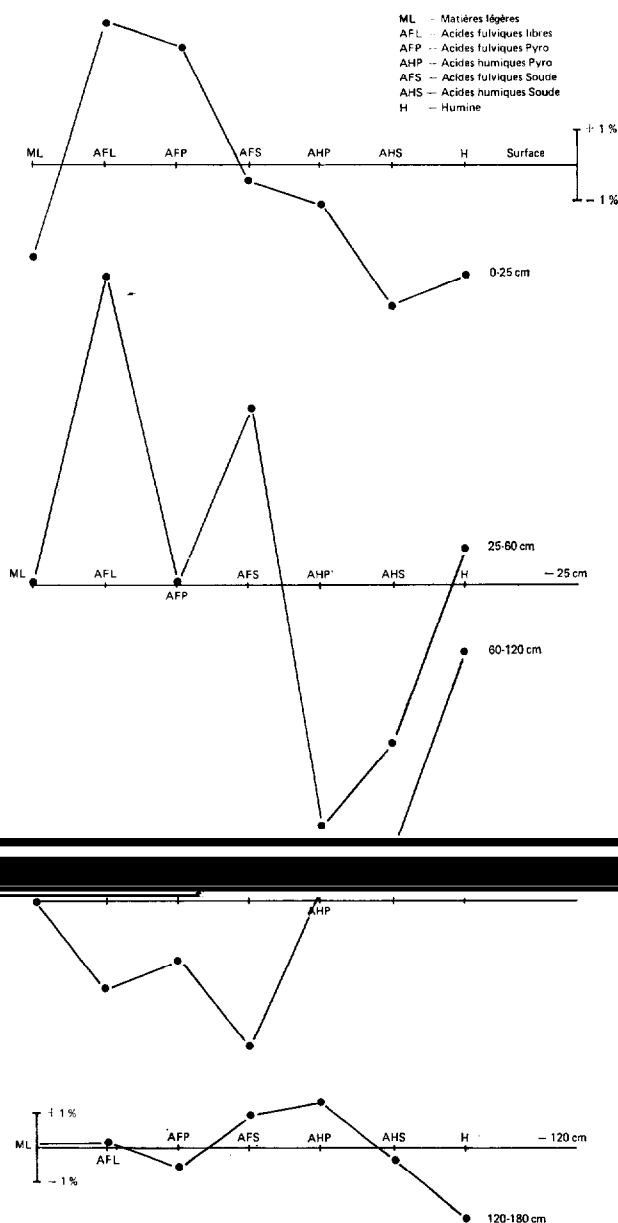


FIG. 1. — Variations comparées des fractions humiques, horizon par horizon, à partir de la surface (en pourcentage en + ou en - du carbone total). Sol ferrallitique du Cameroun CFT 21.

A noter que le pic d'accumulation des acides fulviques libres (AFL) se situe à la limite des horizons à 12 % et 50 % d'argile.

Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. XVI, n° 4, 1976 : 287-297.

Evolution des sols sous culture en Côte d'Ivoire

La station ORSTOM d'Adiopodoumé (Abidjan), en basse Côte d'Ivoire, est établie sur des sables côtiers tertiaires (pluviométrie 2 000 mm). Les sols sont classés comme sols ferrallitiques, fortement désaturés, appauvris. Des essais de plantes fourragères ont été réalisés par une équipe d'agronomes : Bonzon, Talineau *et coll.* Des prélèvements ont été effectués dans des parcelles de démonstration exploitées pendant une durée minimum de cinq ans, soit en jachère continue, soit en pâturage plus ou moins intensif, soit sous culture continue. Les échantillons proviennent de prélèvements moyens (mélange de plusieurs échantillons) effectués à la même période, et sur une profondeur constante. L'hétérogénéité est imputable au fait que les plantes fourragères sont différentes (légumineuses ou graminées) ; néanmoins, il a été possible de classer les différents modes d'exploitation dans un ordre correspondant à des régénérations organiques du sol de plus en plus faibles. On sépare ainsi quatre grands groupes de parcelles.

Le premier groupe est constitué de deux jachères continues :

- l'une à légumineuse (Bc J3),
- l'autre à graminée (Bc J2). Cette dernière est fauchée une fois par an.

Les parcelles du deuxième groupe sont destinées à des pâtures à graminées ; la paille est fauchée quatre fois par an et laissée sur place (Bc D5, Bc D6, Bc C6).

Les parcelles du troisième groupe sont également des parcelles pâturées ; la paille est fauchée, mais exportée (Bc A4, Bc C5, Bc B2).

Les échantillons du quatrième groupe proviennent de sols appauvris ou fortement exploités :

- . Bc SD : savane herbeuse brûlée chaque année
- . Bc SO1 : champ d'ananas cultivé en continu depuis 20 ans
- . Bc C2 : champ avec 12 cultures de maïs successives (2 cycles par an)

La forêt tropicale humide secondarisée sert de témoin.

Le tableau III comporte les différentes fractions de la matière humique, exprimées d'une part en mg de C par g de sol (C%), d'autre part, en pourcentage relatif par rapport au carbone total.

TABLEAU III

Fractionnement des matières humiques (Côte d'Ivoire)

	C % de terre sèche								C % du C total						
	ML	AFL	AFP	AHP	AFS	AHS	H	CT	ML	AFL	AFP	AFS	AHP	AHS	H
Forêt secondaire	2,17	1,04	1,3	1,28	1,69	1,51	7,84	16,8	13	6,2	7,8	10,2	7,6	9,2	47
Bc J3 (1) Jachère à pueraria (1968)	0,32	0,85	1,2	2,07	2,61	1,24	9,82	18,1	1,75 -11,25	4,6 -1,6	6,5 -1,3	14,3 +4,1	11,5 +3,9	6,7 -2,5	54 +7
Bc J2 (2) Jachère à tripsacum (1962)	0,79	0,65	0,77	0,93	1,52	0,74	5,08	10,5	5,5 -5,5	6,3 +0,1	7,3 -0,5	14,5 +4,3	9 +1,4	7 -2,2	48 +1
Bc D5 (3) pennisetum paturé- rabattu (1965)	0,88	0,5	0,83	1,12	1,59	1,24	5,87	12	7,4 -5,6	4,2 -2	7 -0,8	13,4 +3,2	9,2 +1,6	10,3 +1,1	49 +2
Bc D6 (4) panicum paturé: rabattu (1965)	0,59	0,61	1,06	1,29	1,48	1,22	6,72	13	4,5 -8,5	4,7 -1,5	8,1 +0,3	11,5 +1,3	9,8 +2,2	9,4 +0,2	51 +4
Bc C6 (5) cynodon paturé- rabattu (1965)	0,36	0,56	0,96	1,42	1,45	1,20	5,83	11,8	3,1 -9,9	4,7 -1,5	8,1 +0,3	12,5 +2,3	12 +4,4	10,2 +1	49 +2
Bc A4 (6) panicum intensif (1970)	0,21	0,50	1,12	1,64	2,17	1,12	4,47	11,2	1,9 -11,1	4,4 -1,8	10 +2,2	19 +8,8	14,5 +6,9	10 +0,8	40 -7
Cc C5 (7) paspalum intensif (1965)	1,19	0,61	1,10	0,97	1,20	0,89	5,51	11,5	10,2 -2,8	5,3 -0,9	9,8 +2	10,5 +0,3	8,2 +0,6	7,7 -1,5	48 +1
Bc B2 (8) panicum extensif (1965)	0,31	0,64	1,36	1,24	1,33	1	5,10	11	2,8 -10,2	5,8 -0,4	12,5 +4,7	12 +1,8	11,2 +3,6	9 -0,2	46 -1
Bc SD (9) savane brûlée	0,18	0,72	0,64	1,07	0,89	0,80	4,40	8,7	2,1 -10,9	8,3 +2,1	7,4 -0,4	10 -0,2	12,3 +4,7	9,2 0	51 +4
Bc S01 (10) ananas continu	0,18	1,15	0,97	1,20	1,01	0,78	4,52	9,81	1,82 -11,18	11,6 +5,4	9,8 +2,1	10,2 0	12,2 +4,6	8 -1,2	46 -1
Bc C2 (11) maïs continu (1965)	0,1	0,49	1,09	0,92	0,4	0,81	2,74	6,55	1,55 -11,45	7,6 +1,4	16,6 +8,8	6,2 -4	14 +6,4	12,5 +3,3	44 -3

ML = matières légères

AFL = acides fulviques libres

AFP = acides fulviques pyrophosphate

AHP = acides humiques pyrophosphate

AFS = acides fulviques soude

AHS = acides humiques soude

H = humine

CT = carbone total

C'est le pourcentage relatif de chaque fraction par rapport au carbone total qui a été comparé à la fraction correspondante sous forêt ; les écarts positifs ou négatifs ont été reportés sur un graphique. Les résultats ont été classés dans l'ordre d'appauvrissement croissant du sol qui a été indiqué ci-dessus. Malgré l'hétérogénéité des traitements, la variation relative des différentes fractions s'observe d'une façon assez nette sur les graphiques, en fonction

de l'appauvrissement croissant du sol par rapport à la forêt qui sert de témoin.

En ce qui concerne le carbone total, c'est la différence en valeur absolue de la forêt et des traitements qui a été reportée sur le graphique. Ce graphique montre une régression négative très nette, en fonction de l'ordre des parcelles qui a été choisi (fig. 2).

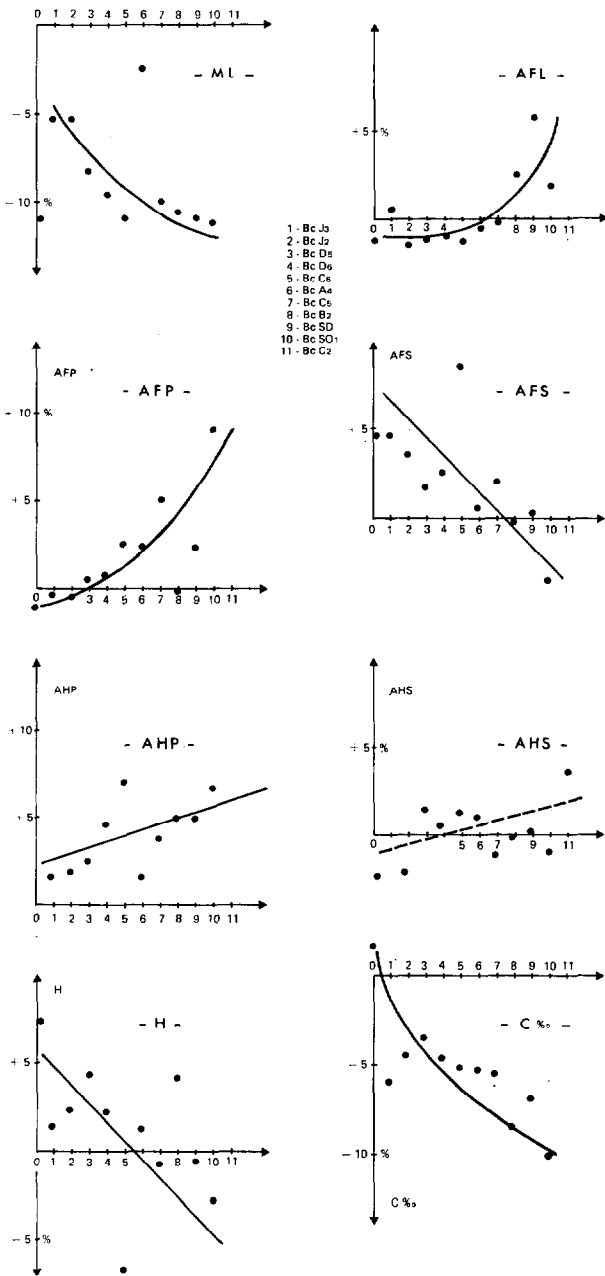


FIG. 2. — Fraction de l'humus

En abscisse, numéro d'ordre des parcelles classées par ordre d'exploitations croissantes.

En ordonnée, écarts du quotient $\frac{C}{C_{total}}$ par rapport au témoin forêt.

Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. XIV, n° 4, 1976 : 287-297.

La jachère à légumineuses a un taux de carbone supérieur à la forêt, tous les autres traitements sont inférieurs.

TEST STATISTIQUE DE RÉGRESSION

En raison d'une certaine dispersion des points, il était nécessaire de calculer le taux de probabilité de ces régressions.

Suivant les conseils de M. Van Den Driessche, un test de pente de régression pour des données non paramétriques, appelé *test C de Theil*, a été appliqué.

La forêt qui est une donnée fixe de référence, n'est pas prise en compte. Quant aux valeurs des différentes parcelles d'essai, elles sont classées de 1 à 11 dans l'ordre indiqué sur le tableau de chiffres et sur les graphiques :

- 1 : (Bc J3) 5 : (Bc C6) 9 : (Bc SD)
- 2 : (Bc J2) 6 : (Bc A4) 10 : (Bc SO1)
- 3 : (Bc D5) 7 : (Bc C5) 11 : (Bc C2)
- 4 : (Bc D6) 8 : (Bc B2)

Le carbone total et les valeurs relatives des différentes fractions de l'humus sont comparées 2 à 2 dans l'ordre suivant :

- 2-1 3-2 4-3 5-4 6-5 7-6 8-7 9-8 10-9 11-10
- 3-1 4-2 5-3 6-4 7-5 8-6 9-7 10-8 11-9
- 4-1 5-2 6-3 7-4 8-5 9-6 10-7 11-8
- 5-1 6-2 7-3 8-4 9-5 10-6 11-7
- 6-1 7-2 8-3 9-4 10-5 11-6
- 7-1 8-2 9-3 10-4 11-5
- 8-1 9-2 10-3 11-4
- 9-1 10-2 11-3
- 10-1 11-2
- 11-1

Lorsque la différence est négative, on compte -1 ; lorsqu'elle est positive, on compte +1 ; lorsque les deux chiffres sont égaux, on marque 0.

$$C = \sum_{i < j}^{11} c(D_j - D_i)$$

On fait la somme algébrique des différences ainsi calculées, et l'on applique la table suivante (H21) pour n = 11.

C	P	C	P
0	0,53	18	0,13
2	0,47	20	0,10
4	0,42	22	0,08
6	0,37	24	0,06
8	0,32	26	0,04
10	0,27	28	0,03
12	0,23	30	0,02
14	0,19	32	0,02
16	0,16	34	0,01

P = probabilité.

Ce calcul appliqué aux différentes valeurs a donné les résultats suivants :

	C	P
ML = matières légères	+16 -39 = -23	0,07
AFL = acides fulviques libres	-12 +42 0 = +30	0,02
AFP = acides fulviques pyro-phosphate	- 9 +44 20 = +35	0,01
AFS = acides fulviques soude	+10 -45 = -35	0,01
AHP = acides humiques pyro-phosphate	-16 +39 +23	0,07
AHS = acides humiques soude	-22 +33 +11	0,25
H = humine	+14 -37 40 = -23	0,07
C = carbone total ‰	+ 9 -46 = -37	0,01

DISCUSSION DES RÉSULTATS

Le carbone total conduit à une régression négative très significative (P = 0,01), ce qui signifie que

	Extrait PO ₄ H ₃ HL	AFL	AFP	AFS	AHB	AHP	H	C ‰ Total ¹
C ‰ de terre sèche	0,52	9,47	2,26	17,4	1,37	5,96	167	204
% de C total	0,25	4,6	1,1	8,4	0,66	2,9	82	

Dans cet humus jeune en formation, on observe une fixation importante dans la fraction humine de produits séquestrés par les matières minérales et la libération relativement importante d'acides fulviques solubles dans la soude (AFS) ou d'acides fulviques libres solubles en milieu acide (AFL) ; par contre, les fractions extractibles par le pyrophosphate à pH 9,8 AFP, sont en très faible quantité : elles constituent vraisemblablement une phase ultérieure de formation.

l'ordre de classement des parcelles dans le sens d'un appauvrissement croissant peut être considéré comme

Le pourcentage H d'humine par rapport au carbone total diminue lorsque le sol s'appauvrit, et par conséquent, la liaison entre la matière organique humifiée et la matière minérale devient moins forte lorsque le sol est dégradé par la culture. La probabilité 0,07 n'est que faiblement significative : ceci vient du fait que la parcelle n° 9 (Bc SD) est une savane où le taux d'humine a tendance à remonter légèrement.

De même, le pourcentage ML de matières végétales légères peu transformées et non liées à la matière minérale diminue dans le même sens ; la probabilité n'est également que de 0,07, mais la présence de légumineuses à côté des graminées provoque une certaine dispersion des points.

Parmi les régressions négatives figurent les *acides fulviques de l'extrait soude* AFS, avec une probabilité 0,01 très hautement significative. Cette régression est semblable à celles du carbone total, du pourcentage d'humine et du pourcentage de matières végétales légères. On peut émettre l'hypothèse que cette fraction est composée principalement de produits organiques précurseurs des acides humiques et qui se séparent aisément de l'humine ou des matières légères sous l'action de la soude.

A l'appui de cette hypothèse, on peut citer un résultat obtenu lors de l'analyse d'un humus très jeune en cours de formation sur une arène granitique (Côte d'Ivoire).

Les acides fulviques extraits par la soude apparaissent précocement lorsque le sol a reçu des apports de matière organique fraîche et disparaissent rapidement lorsque le sol s'appauvrit.

Un spectre infrarouge réalisé par Job sur la fraction alcalinosolubles de cet humus où dominent les acides fulviques extraits par la soude AFS, montre un grand nombre de pics entre les bandes 560 et 1 030, qui sont caractéristiques de substitutions aro-

matiques diverses. Dans le même extrait provenant d'un humus plus évolué sous culture, ces pics de substitution disparaissent presque complètement.

Les autres formes d'acide fulvique : *acide fulvique libre* extrait par PO_4H_3 2 M (AFL) et *acide fulvique lié aux acides humiques*, extrait ensuite par le pyrophosphate de soude (pH 9,8) (AFP), montrent au contraire sur la figure 2, une pente nettement positive, pratiquement symétrique de la précédente (pour AFS) et avec une probabilité hautement significative (0,02 et 0,01). Lorsque le sol s'appauvrit sous l'action de la culture, il se produit une augmentation relative de ces acides fulviques qui est symétrique de la diminution de l'humine ; on peut émettre l'hypothèse d'une biodégradation et d'une dépolymérisation de cette dernière qui donne des acides fulviques, ce qui confirmerait les observations de Turenne sur les variations saisonnières de ces fractions.

En ce qui concerne les *acides humiques*, on note une augmentation à faible pente et avec une probabilité de 0,07 de la fraction extraite par le pyrophosphate de sodium (AHP) ; il semble que, dans ce cas aussi, la dépolymérisation de l'humus accroisse légèrement la quantité d'acides humiques. Néanmoins, cette fraction montre une stabilité relative en regard des variations symétriques des acides fulviques et de l'humine.

Enfin, la fraction acides humiques extraite par la soude (AHS) ne montre qu'une augmentation extrêmement faible et non significative ($P = 0,25$). Par ailleurs, la proportion moyenne reste identique à celle observée dans le témoin sous forêt. C'est donc une fraction dont la proportion par rapport au carbone total reste assez constante dans l'horizon supérieur, quel que soit le traitement du sol.

Les mesures par électrophorèse sur papier des acides humiques extraits par la soude font apparaître une proportion d'acides humiques immobiles plus importante que dans l'extrait du pyrophosphate ; ce sont donc des produits humiques à grosse molécule qui ont un fort pouvoir de fixation sur la matière minérale. Compte tenu de cette relative constance des acides humiques soude par rapport au C total, il est peut-être préférable d'effectuer les mesures par électrophorèse séparément sur les acides humiques extraits au pyrophosphate plutôt que sur le mélange des acides humiques extraits par le pyrophosphate et la soude.

CONCLUSION

Le but de cette note n'est pas de faire une étude détaillée de l'évolution des sols sous culture, mais d'étudier au travers de quelques exemples, les relations entre les fractions de l'humus extraites par différents solvants et les propriétés du sol.

On a pu constater que la séparation obtenue par voie chimique n'était pas totalement arbitraire, et que chaque fraction présentait une variation caractéristique en fonction des propriétés du sol (en particulier appauvrissement par la culture) ; certaines fractions montrent, dans la figure 2, une régression positive (AFL, AFP, AHP), d'autres une régression négative (ML, AFS, H, C) et parfois nulle (AHS). Ce qui est tout à fait remarquable, c'est la variation exactement inverse et très significative des acides fulviques extraits par le pyrophosphate (AFP) et des acides fulviques extraits par la soude (AFS) ; cela tend à prouver qu'il existe deux groupes de substances différentes, de même que pour les acides humiques pyro et soude qui se distinguent par l'électrophorèse.

La méthode de fractionnement chimique préconisée assez simple, permet déjà de caractériser sommairement un mode d'évolution de la matière humique du sol, mais elle peut être le point de départ d'une analyse biochimique plus poussée de chaque fraction. Jusqu'à présent, ces études sont souvent faites sur des extraits uniques, soit avec la soude, soit avec le mélange pyrophosphate de sodium + soude ; on obtient dans ce cas un mélange de substance dont les propriétés sont très différentes, parfois opposées comme dans le cas des acides fulviques. L'étude séparée des substances ayant subi un fractionnement chimique préalable, donnerait des résultats plus aisément interprétables.

C'est pourquoi, il semble préférable de réaliser l'extraction et l'analyse séparée des fractions par plusieurs réactifs successifs, plutôt que l'extraction unique par un réactif mixte ; néanmoins, il ne faut pas multiplier le nombre des fractions, et il est par ailleurs nécessaire d'étudier soigneusement la nature de chacune d'entre elles.

Manuscrit reçu au S.C.D. de l'ORSTOM le 5 janvier 1976

BIBLIOGRAPHIE

- DABIN (B.), 1971. — Etude d'une méthode d'extraction de la matière humique du sol. *Science du Sol.*, n° 1 : 47-63.
- DUCHAUFOR (P.) et JACQUIN (F.), 1966. — Nouvelles recherches sur l'extraction et le fractionnement des composés humiques. *Bulletin de l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Nancy* Tome 8, fasc. 1.
- HOLANDER (M.) et WOLFE (D.A.), 1973. — Non parametric statistical methods. Wiley New York, 503 p.
- THOMANN (Ch.), 1963. — Quelques observations sur l'extraction de l'humus des sols. Méthode au proyphosphate de sodium. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, n° 3 : 43-71.
- TURENNE (J.F.), 1975. — Modes d'humification et différenciation podzolique dans deux toposéquences Guyanaises. Thèse, 180 p. Université de Nancy, *multigr.* A paraître in *Mém. ORSTOM*, 1977 (sous presse).
- FLAIG (W.), 1970. — Contribution à la connaissance de la constitution et de la synthèse des acides humiques. *Science du sol*, n° 2 : 39-72.