

**ALGUNAS PROPUESTAS PARA EL ESTUDIO DE LA MATERIA ORGÁNICA
DE LOS SUELOS EN LAS INVESTIGACIONES EN AGROSISTEMAS**

**QUELQUES PROPOSITIONS POUR L'ÉTUDE DE LA MATIÈRE ORGANIQUE
DES SOLS DANS LES RECHERCHES SUR LES AGROSYSTEMES**

M. BROSSARD, A. ALBRECHT, C. FELLER

RESUMEN

Un rápido inventario de estudios hechos sobre la materia orgánica de los suelos afin de mejorar la comprensión del funcionamiento de los agrosistemas conduce a distinguir dos series de trabajos más o menos interdependientes :

- niveles y variaciones de las reservas orgánicas del suelo segun diferentes prácticas de cultivo, e interrelaciones con las otras características edáficas (físicas, biológicas, nutritivas),
- caracterización de los principales compartimientos de la reserva orgánica, su dinámica y rol en esas relaciones.

Por supuesto, el conjunto de estos problemas no podrá ser estudiado mediante un solo método. Si bien, los autores proponen en algunos ejemplos (constitución de la reserva orgánica, capacidades físicas de los suelos) metodologías específicas de cada objetivo, todos estos estudios tienen en común :

- insistir sobre los fraccionamientos físicos, y eventualmente químicos del suelo, para separar en primera aproximación, los residuos vegetales, el complejo organo-mineral y los componentes solubles,
- tratar de establecer (a menudo con ayuda de técnicas isotópicas) los flujos entre los compartimientos y de medir la estabilidad de éstos.

Palabras claves

Materia orgánica del suelo, agrosistemas, C, N, fraccionamiento granulométrico, fraccionamiento químico, agregación, permeabilidad, suelo arenoso ferruginizado, vertisol, Senegal, Martinica.

RÉSUMÉ

Un inventaire rapide des recherches menées sur la matière organique des sols en vue d'une meilleure compréhension du fonctionnement des agrosystèmes conduit à distinguer deux séries d'études plus ou moins interdépendantes :

- niveaux et variations du stock organique du sol selon diverses pratiques culturales, et interrelations avec les autres propriétés édaphiques (physiques, biologiques, nutritives),
- caractérisation des principaux compartiments du stock organique, leur dynamique et leur rôle dans ces interrelations.

L'ensemble de ces problèmes ne peut être étudié, bien évidemment, par une méthode unique. Aussi, les auteurs proposent, à travers quelques exemples précis (constitution des stocks organiques, propriétés physiques des sols), des méthodologies spécifiques à chaque objectif. Toutefois, toutes ces approches ont en commun :

- de s'appuyer sur des fractionnements physiques, et éventuellement chimiques, du sol pour séparer, en première approximation, les résidus végétaux, le complexe organo-minéral, les constituants solubles,
- d'essayer de quantifier (souvent à l'aide de techniques isotopiques) les transferts entre compartiments et de mesurer la stabilité de ces derniers.

Mots-clés

Matière organique du sol, agrosystèmes, C, N, fractionnement granulométrique, fractionnement humique, agrégation, perméabilité, sol ferrugineux sableux, vertisol, Sénégal, Martinique.

Introducción

El suelo interviene en las relaciones suelo-planta con sus propiedades físicas (porosidad, estructura), de intercambio (complejo de absorción) y biológicas (ciclos, C, N, S, P...).

En todas esas propiedades, la materia orgánica del suelo desempeña una función esencial. No es entonces sorprendente constatar que muy a menudo las disminuciones de las reservas orgánicas se acompañan de una disminución de la estabilidad estructural, de la capacidad de intercambio, del contenido en N, S y P etc... Esto conduce, en condiciones técnicas o climáticas desfavorables, a mayor riesgo de ver una producción vegetal aminorada (SEBILLOTTE, 1982), incluso en ciertos casos, a una disminución sistemática de esta producción (SIBAND, 1974).

¿Entonces, como emplee una práctica de cultivo, o más globalmente un sistema de cultivo, sobre la modificación de la reserva, orgánica de un suelo ? Cuáles serán consecuencias en el ambiente ?

Se aborda aquí un primer tema de investigaciones que se podría llamar : sistemas de cultivo y reserva orgánica de los suelos.

1 - Sistemas de cultivo y reserva orgánica de los suelos

Un trabajo de SIBAND (1974) es ejemplar en este caso y merece comentario. Este autor estudia las propiedades de los suelos ferralíticos areno-arcillosos de Casamance (Senegal) cultivados "tradicionalmente" (pocas restituciones orgánicas y minerales) desde 3, 12, 46 y 90 años después de roturación del bosque.

La disminución de la reserva orgánica a lo largo del tiempo se acompaña :

- de una disminución de los contenidos en nitrógeno y cationes intercambiables,
- de una disminución de las capacidades de intercambio catiónicas y tasas de saturación,
- de una modificación notable (en baja) de las propiedades hídricas (capacidad de campo y marchitez),
- de una modificación de la estructura del horizonte 0-20 cm; es granulosa bajo el bosque y los agregados desaparecen bajo cultivo, lo que favorece una segregación horizontal entre los elementos gruesos y los elementos finos (en lechos).

Las pruebas de fertilización, ubicadas en las mismas parcelas (tratamiento N, estiércol, y N x estiércol) cultivadas en arroz pluvial, muestran claramente que la materia orgánica del suelo puede ser un factor limitante para la producción de arroz, los rendimientos de todos los tratamientos en las "viejas" parcelas, siendo netamente más bajos que los de las parcelas "jóvenes" (fig. 1).

Además, este trabajo permitiría determinar un nivel de riesgo (para las técnicas de cultivo empleadas) a un contenido de 1,5 % de materia orgánica.

Rendimiento (arroz) - Rendement (riz)

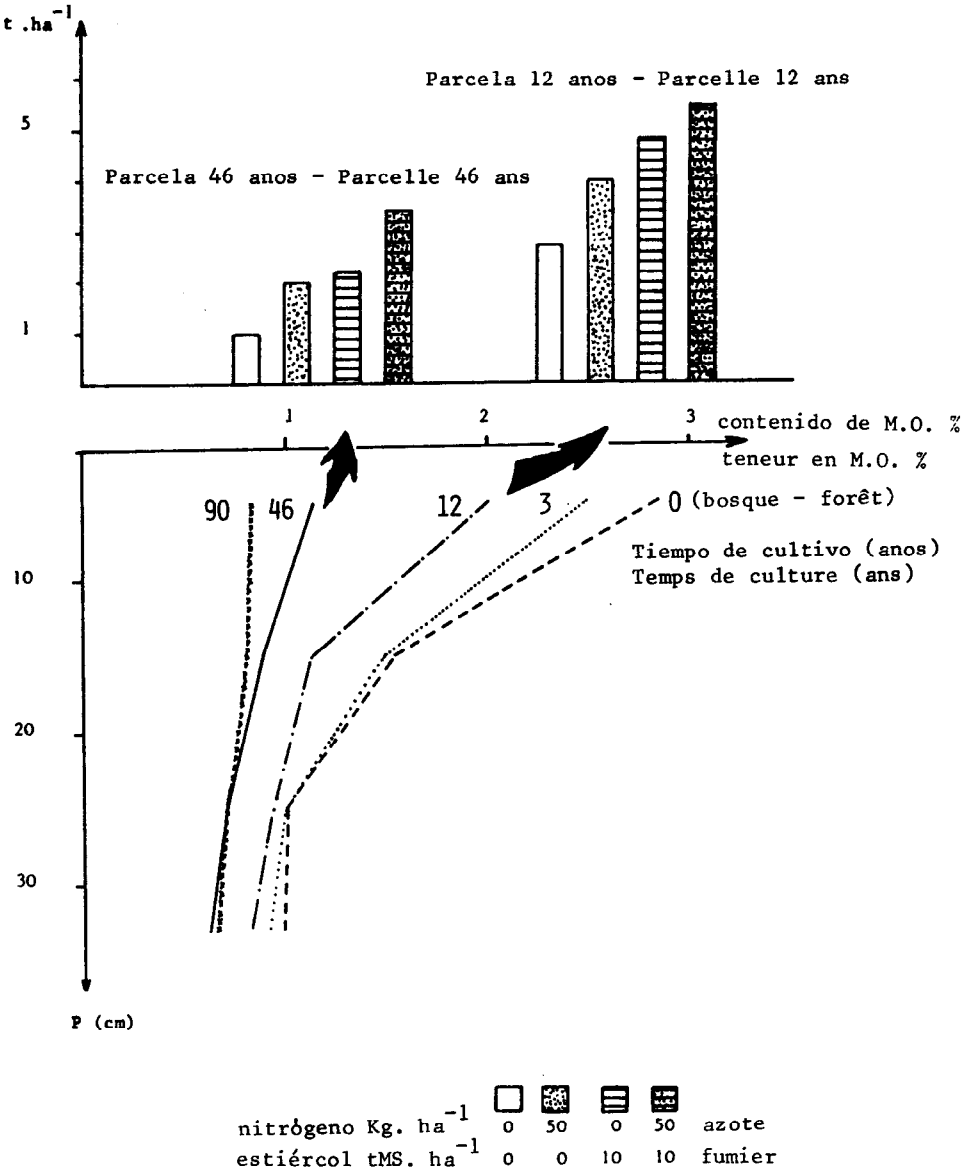


Fig. 1 : Contenido de materia orgánica del suelo y rendimientos de los cultivos (arroz), según el tiempo de cultivo

Fig. 1 : Teneur en matière organique du sol et rendements culturaux (riz) suivant le temps de culture (d'après Siband, 1974)

Estas investigaciones que no son muy especializadas y que necesitan un conjunto de varias temáticas, deberían ser desarrolladas. Nos parecen esenciales para determinar, según las técnicas de cultivo cada vez más variadas a disposición del agricultor, el efecto del contenido en materia orgánica sobre la productividad vegetal.

Así pues, por país o grandes regiones naturales, sería conveniente:

- a) hacer el inventario de los principales sistemas de cultivo, y definir su tipología según la gestión de la materia orgánica. Y probar para cada tipo de suelo y para técnicas de cultivo determinadas las relaciones reserva/ otras propiedades.
- b) "intentar deducir los intervalos de contenido en materia orgánica" correspondientes a "niveles de riesgos" diferentes.

Un estudio más fino de la función de la reserva orgánica en las relaciones suelo-planta necesita entonces el análisis de varios compartimientos orgánicos del suelo. ¿Cuáles serán los criterios de elección?

2 - Elección de un método de caracterización de la materia orgánica del suelo

La materia orgánica del suelo incluye :

- un compartimiento "figurado" formado por residuos de organismos vivos o muertos (vegetales, animales o microbiológicos) que identificamos a simple vista o con microscopio, en diferentes estados de descomposición, pero generalmente poco ligados a la materia mineral del suelo y pobres en componentes húmicos.
- un compartimiento "humificado" formado por materias orgánicas identificables, en estado amorfo, y generalmente fuertemente ligadas a la matriz limo-arcillosa (complejo orgánico-mineral). Se distingue clásicamente los ácidos fúlvicos, húmicos y la humina. Estos pueden estar presentes en los residuos vegetales.
- los componentes solubles, (componentes de bajo peso molecular, generalmente poco abundantes).

El uso de diversas técnicas, en particular radioisotópicas ^{14}C (en enriquecimiento o en abundancia natural) permite mostrar que las velocidades de renovación de la materia orgánica del compartimiento "figurado" son muy rápidas comparadas con las del compartimiento humificado, y que dentro de este, generalmente hay pocas diferencias entre los diferentes componentes (ácidos húmicos, fúlvicos, humina) (GUILLET, 1979).

Dado esto, para el estudio en los agro-sistemas en que las variaciones que se supone medir corresponden a pequeños intervalos de tiempo (del año al decenio), parece esencial introducir técnicas de fraccionamiento basadas en una separación de los compartimientos con tasas de renovación diferentes.

Ahora bien, los métodos usuales de caracterización de la materia orgánica de los suelos (extracciones ácido-alcálinas), tienen como objetivo el estudio de los componentes húmicos, con tasa de renovación lenta, dejando

de lado los componentes libres (o los componentes prehúmicos) con tasa de renovación rápida. En ciertos casos, las separaciones previas densimétricas con ayuda de líquidos orgánicos densos (DUCHAUFOR et JACQUIN, 1966) o minerales (DABIN, 1971) son usadas para aislar los residuos libres de la materia orgánica ligada. Estas separaciones tienen el inconveniente de ser poco eficaces (DABIN, 1971), o de solubilizar mediante los productos orgánicos o minerales una parte de los residuos vegetales y/o del humus.

Desde hace algunos años se generalizan los trabajos en materia orgánica de los suelos con métodos basados en simples fraccionamientos granulométricos (o a veces granulo-densimétricos) del suelo bajo agua (por ejemplo : BRUCKERT y al. 1978, FELLER 1979, LADD y al. 1977, TIESSEN y STEWART 1983, TURCHENEK y OADES, 1976). Se trata de aislar lo mejor posible las fracciones "figuradas" (esencialmente vegetales) (•) del complejo orgánico-mineral, o de aislar varios tipos de complejos orgánico-minerales ("naturally-occurring organo-mineral complexes").

El método de fraccionamiento de la materia orgánica que se presenta aquí es derivado del de FELLER (1979). Consiste, después de destruir los agregados orgánico-minerales de tamaño superior a 50 μm con una agitación del suelo en agua (2 h, 50 revoluciones /mn, 3 bolitas de vidrio $\phi = 1 \text{ cm}$) (••), en tamizados sucesivos del suelo bajo agua a 2000, 200 y 50 μm . Se obtiene de esta manera (fig. 2) :

fracción F > 2000 - residuos vegetales muy gruesos + gravilla de tamaño superior a 2000 μm

fracción F 200-2000- residuos vegetales gruesos + arena gruesa de tamaño 200-2000 μm

fracción F 50-200 - residuos vegetales finos + arena fina de tamaño 50-200 μm

fracción F 0-50 - fracción esencialmente orgánica-mineral sin elementos "figurados" vegetales identificables tamaño 0-50 μm

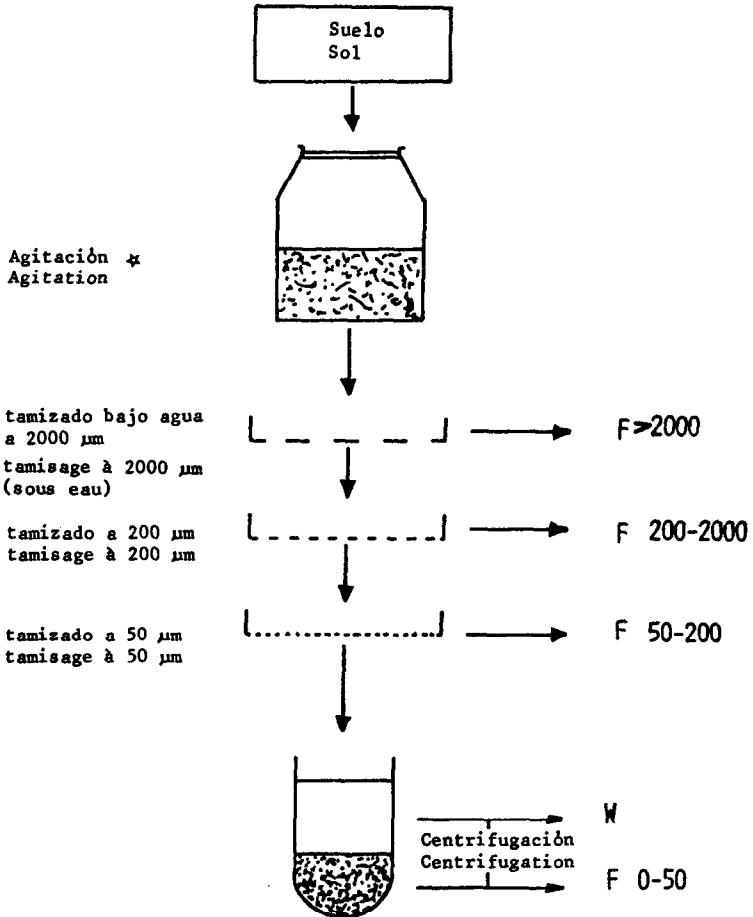
fracción W - fracción hydrosoluble (agua de fraccionamiento).

Para mayor comodidad la suma de las fracciones orgánicas superiores a 50 μm sera llamada "fraccion vegetal", representándola por F > 50 en oposición a F 0-50, "fraccion organica-mineral".

Las características detalladas de las diferentes fracciones granulométricas (F > 2000 ... F 0-50) están descritas en FELLER et al.(1983). Se observa que el grado de humificación y la resistencia a la biodegradación aumentan cuando se pasa de las fracciones vegetales más grandes (F > 2000) a las más finas (F 50-200) como lo muestran el aumento de la alteración de las paredes celulares, el aumento de los contenidos en componentes húmicos, la disminución de las relaciones C/N y celulosa/lignina.

(•) Teniendo en cuenta sus medidas y su poca abundancia en el suelo, no se pueden aislar directamente los residuos de la microflora. En el mejor de los casos se encuentran concentrados en ciertas fracciones.

(••) Si los agregados superiores a 50 μm no son destruidos por este tratamiento, se somete la muestra a una ultrasoniación a 26 Khz, 80 W, 10 mn.



* Suelo ferruginizado arenoso : 100 g de suelo, 300 ml H_2O , 1 heure 50 t. min⁻¹ con 3 bolitas de vidrio ($\emptyset = 1$ cm)

Vertisol : 50 g de suelo, 300 ml H_2O , 2 heures 50 t. min⁻¹, luego ultrasonificación (80 W, 26 Khz) 10 mn

Sol ferrugineux sableux : 100 g sol, 300 ml H_2O , 1 heure 50 t. min⁻¹ avec 3 billes de verre ($\emptyset = 1$ cm)

Vertisol : 50 g de sol, 300 ml H_2O , 2 heures 50 t. min⁻¹, puis ultrasonication (80 W, 26 Khz) 10 mn

Fig. 2 : Fraccionamiento granulométrico de la materia orgánica del suelo

Fig. 2 : Fractionnement granulométrique de la matière organique du sol

Se ilustra aquí el interés de este proceso en dos aspectos de las relaciones suelo-planta :

- la caracterización y la evolución de la reserva orgánica según diferentes prácticas de cultivo (fertilización orgánica y cultivo de pastos),
- el estudio de las propiedades físicas de un vertisol.

En los dos casos se utilizará un fraccionamiento granulométrico de la materia orgánica asociado en el último ejemplo a un fraccionamiento granulométrico de agregados.

3 - Mejora de la reserva orgánica de un suelo arenoso (ferruginizado tropical con una fertilización orgánica-mineral (urea x abono compuesto) (FELLER y al. 1981)

En los suelos arenosos, muy pobres en materia orgánica, de la zona saheliana, experimentos en el campo (*) mostraron que era posible aumentar la reserva orgánica del suelo (C, N) en proporciones importantes (□) juntando la fertilización mineral (urea) y orgánica (abono compuesto de paja de millo). Consecuentemente a este aumento se mejora el uso del nitrógeno fertilizante, los rendimientos, y la calidad nutricional de las cosechas (GANRY y al. 1974).

Este aumento de las reservas orgánicas (C y N) es todavía sensible tres años después de dejar de usar el abono compuesto.

¿ Cuáles son las fracciones orgánicas del suelo involucradas en esta mejora de la reserva ?

Antes enterrado, la repartición del carbono en el abono compuesto es la siguiente :

- 90 % en los residuos vegetales de talla superior a 2000 μm y 10 % en los residuos vegetales 200-2000 μm ,
- 94 % en la fracción "humina" (residuo después de extracción con H_3PO_4 2M y $\text{Na}_2\text{P}_2\text{O}_7$ 0,1 M) y 6 % en forma de componentes húmicos extraíbles (AFL, AH, AF). Esta "humina" siendo en realidad constituida por polímeros de las paredes celulares (celulosis, ligninas etc.) inextraíbles en los álcalis.

El estudio de la materia orgánica del suelo mediante el fraccionamiento húmico indica que las diferencias entre las pruebas A y S (Δ) se sitúan esencialmente en la fracción "humina" HU (65 % de los aumentos en A) seguida por los ácidos húmicos AH (26 %) y fúlvicos (9 %). Pero, la variación más importante (HU), observada con estos resultados, es difícilmente interpretable en términos de procesos de humificación (tb. 1a y fig. 3a).

(*) Estación del I.S.R.A., Bambey, Senegal.

(□) De casi 100 % con las dosis de 120 kg N/ha/año con 10 t MS abono/ha/año

(Δ) A : con abono compuesto, S : sin abono compuesto

En efecto, la humina del suelo se define como un residuo de extracción por un método convencional. Esta fracción es muy heterogénea y difícil de estudiar pues la constituyen materias orgánicas de composiciones variadas : residuos vegetales y de la microflora (humina heredada), componentes húmicos alcalino-solubles extractibles después de destruir la matriz mineral del suelo (humina de insolubilización) y componentes húmicos inextractibles (humina inextractible, PERRAUD y al., 1971). No es sorprendente entonces que su tasa de renovación sea diferente (y a menudo más elevada) de la de las fracciones húmicas extractibles (GUILLET, 1979).

En este caso es difícil saber si el aumento de la humina en la prueba A corresponde efectivamente a una neogénesis de componentes húmicos formados por los productos de descomposición del abono compuesto (humificación via neogénesis) o bien a los residuos vegetales del abono compuesto no completamente descompuestos (humificación via herencia).

Mediante el fraccionamiento granulométrico de la materia orgánica del suelo (Tb. Ib y fig. 3a) se muestra que las diferencias entre A y S se observan esencialmente en las fracciones vegetales ($F > 50$) de tamaño superior a $50 \mu\text{m}$ y muy poco en el complejo orgánico-mineral. Este tipo de fraccionamiento parece mas "explicativo" que el fraccionamiento húmico. Se supone que los procesos de humificación a corto plazo en los suelos arenosos están dominados por una vía por herencia. Esto se confirmó con los resultados de un experimento de descomposición (4 meses) de abono compuesto marcado ^{14}C en los suelos, que indica (fig. 3b) que la mayor parte del ^{14}C que queda en los suelos se encuentra en las fracciones superiores a $50 \mu\text{m}$ y una leve parte solamente en la fracción orgánica-mineral (F 0-50).

En esos suelos, las fracciones vegetales representan el 50 % del carbono total del suelo, y son aptas para variaciones a corto plazo, lo que muestra que su estudio es indispensable en el tema que nos interesa.

Finalmente desde un punto de vista metodológico, las extracciones ácido-alcalinas de estas fracciones permitieron mostrar que constituyen la mitad de la "humina" del suelo global. Esta forma de humina, que puede llamarse "humina heredada", es difícilmente accesible con los métodos químicos clásicos (PERRAUD et al. 1971) : extracciones ácido-alcalinas seguidas por la destrucción de silicatos y sesquióxidos, y separación densimétrica de los materiales libres.

En conclusión, el estudio de las variaciones a corto plazo de las reservas orgánicas según varias prácticas del cultivo (ver también párrafo 4) puede llevarse a cabo de manera relativamente simple con un fraccionamiento granulométrico de la materia orgánica que permite, con un corte a $50 \mu\text{m}$, una buena separación de las "fracciones vegetales" del "complejo orgánico-mineral". Las extracciones ácido-alcalinas y/o las hidrólisis ácidas especificando la naturaleza de los componentes humificados presentes. Muy a menudo, el fraccionamiento granulométrico solo es ya explicativo, cuando además se le asocia el uso de técnicas isotópicas para cuantificar los flujos entre los diferentes compartimientos.

Fraction humique	Echantillon							
	Compost		Sol					
			S(*)		A(*)		différence A-S	
	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
AFL	2,9	1,1	0,068	3,5	0,079	3,0	0,011	1,6
AF	4,3	1,6	0,113	5,9	0,164	6,2	0,051	7,2
AH	7,8	3,0	0,250	13,0	0,433	16,4	0,183	25,9
MHT	12,1	4,6	0,363	18,8	0,597	22,6	0,234	33,1
HU	247	94,3	1,499	77,7	1,960	74,3	0,461	65,3
TOTAL	262	100,0	1,93	100,0	2,64	100,0	0,706	100,0

(*) S : sans compost, A : avec compost, AFL : acides fulviques libres (extraction acide phosphorique 2M), AF, AH, MHT et HU : acides fulviques, humiques, matières humiques totales et humine (extraction pyrophosphate Na 0,1 M).

1a - Fractionnement humique, en mgC.g^{-1} échantillon(1) ou en % de la somme des fractions (2).

Fraction	Traitement							
	S(*)			A(*)			différence A - S	
	(1)	(2)	C/N	(1)	(2)	C/N	(1)	(2)
F 2000	0,045	2,4	28	0,109	4,2	21	0,064	9,3
F 200-2000	0,236	12,4	15,7	0,565	21,7	13,2	0,329	47,7
F 50-200	0,601	31,5	11,5	0,857	33,0	11,4	0,256	37,1
F > 50	0,882	46,3		1,531	58,9		0,649	94,1
F 0-50	0,980	51,4	7,2	1,027	39,5	8,0	0,047	6,8
W	0,043	2,3	3,1	0,043	1,6	2,0	0	0
TOTAL	1,91	100,0	8,7	2,60	100,0	9,5	0,69	100,0

(*) S : sans compost, A : avec compost.

1b - Fractionnement granulométrique, en mgC.g^{-1} sol (1) ou en % de la somme des fractions (2).

Tabla 1 : Fraccionamiento de la materia orgánica de un suelo arenoso ferruginizado tropical.

Tableau 1 : Fractionnement de la matière organique d'un sol ferrugineux tropical sableux.

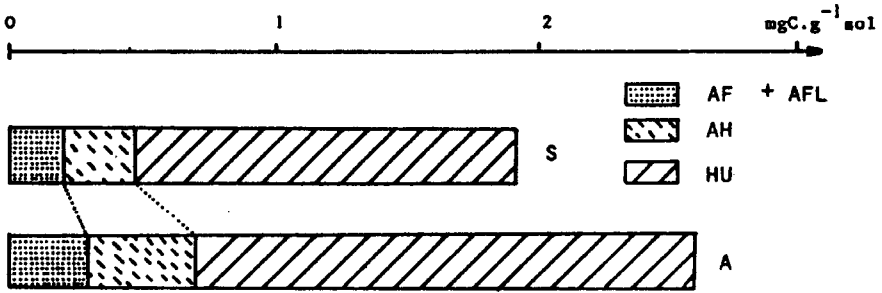


Fig. 3a : Fraccionamiento del humus y granulométrico de la materia orgánica de un suelo tropical arenoso ("luvic Acrisol", cl. F.A.O.)

Fig. 3a : Fractionnements humique et granulométrique de la matière organique d'un sol ferrugineux tropical sableux

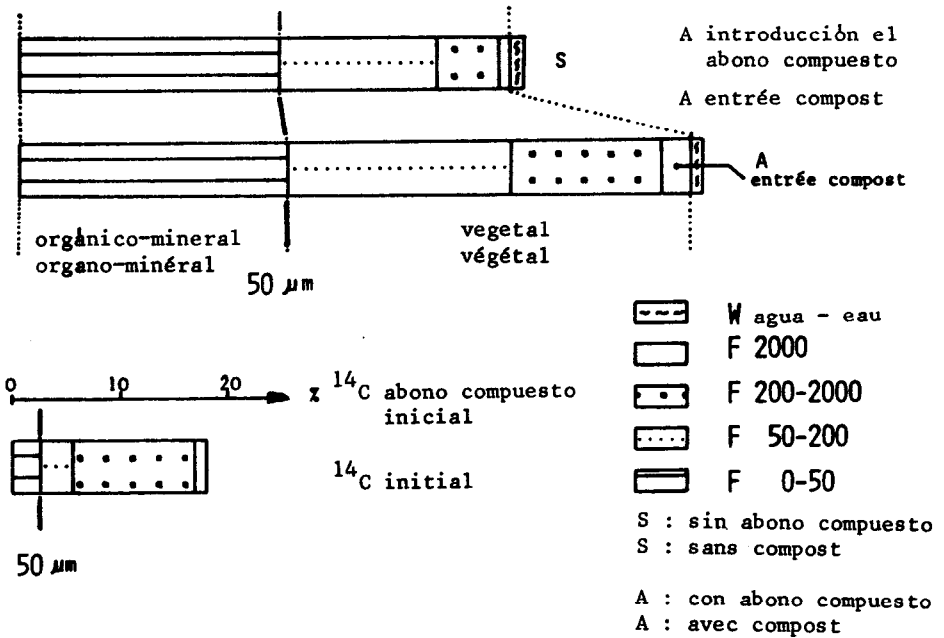


Fig. 3b : Repartición del ¹⁴C-abono compuesto en las fracciones granulométricas

Fig. 3b : Répartition du ¹⁴C-compost dans les fractions granulométriques

4 - Mejora de la reserva orgánica y de las propiedades físicas de un vertisol con pastos permanente de Digitaria decumbens de 5 años.

Se compara la reserva orgánica y las propiedades físicas de un vertisol (●) en dos pruebas :

- prueba P, pasto irrigada, fertilizada de Digitaria decumbens de 5 años.
- prueba M, rotaciones de hortalizas y cultivos alimenticios de 5 años.

La tabla 2 presenta los contenidos en materia orgánica (C y N) y los valores de los índices de inestabilidad estructural (I_s) y de permeabilidad K (\square) de las dos parcelas estudiadas. Inicialmente los contenidos en materia orgánica de los horizontes 0-10 cm son mas o menos de 2,5 % (C % = 15) y la estabilidad estructural muy mala ($I_s = 1,8$). Cinco años de rotaciones de hortalizas hacen disminuir todavía más la reserva orgánica (C % = 12) y las propiedades físicas no mejoran. Esto conduce a un escurrimiento notable con acumulación de arenas sueltas y lavadas en la parte baja de la pendiente en el surco de arado ($I_s = 0,9$; K = 0,2). En cambio el cultivo del pasto conduce a un fuerte aumento de la reserva orgánica (C % = 33), de la estabilidad estructural ($I_s = 0,2$) y de la permeabilidad (K = 20,3).

Las diferencias entre P y M son tales que tenemos aquí un caso interesante para el estudio de las relaciones materia orgánica-propiedades físicas del suelo. En nuestro laboratorio este programa está en su fase inicial. Los resultados presentados a continuación sirven principalmente para ilustrar las posibles vías de investigación en este tema.

El fraccionamiento granulométrico de la materia orgánica del vertisol (Tb. 3) indica que, a diferencia del ejemplo anterior (suelo arenoso) los aumentos de los contenidos en C y N bajo la pradera dependen a la vez de las fracciones vegetales (F > 50) y de las fracciones orgánico-minerales (F 0-50). En valor relativo, los aumentos mas espectaculares se localizan en las fracciones F > 50, en las cuales los contenidos son cinco veces mayores bajo pradera comparados con las hortalizas. ¿Cuáles son las incidencias de estas dos fracciones en la mejora de las propiedades físicas del vertisol ?

Tratamos de contestar esta pregunta con varios tests físicos sometiendo las unidades estructurales naturales (decimétricas) del suelo a energías de quebrantamiento crecientes.

a) Test de macro-agregación

Alternando humedecimiento y desecación sin tensiones de márgenes permite transformar la muestra natural en agregados de medidas centimétricos. Una muestra de suelo (300 g) no perturbada es humedecida "per ascensum" hasta saturación. Expansión y encogimiento conducen a una desunión de los agregados. Se seca entonces el suelo, en estufa (60°C) durante dos horas y al aire libre (2 a 3 días). Se determina la granulometría en seco de los agregados por tamizados entre 0,1 et 20 mm (tamaño máximo).

(●) Vertisol sobre tufa andesítica, estación DDA, Ste-Anne, Martinica.

(□) I_s es un índice de inestabilidad estructural. I_s se eleva cuando la estabilidad estructural es baja. El método es descrito por HENIN (1976).
K índice de permeabilidad es medido en el laboratorio sobre una muestra de suelo no perturbada en régimen de saturación permanente.

Traitement	t année	Horizon	C %.	N %.	C/N	I _s ^(*)	K _{cm/h} ^(*)
Fin de culture de canne à sucre	to	0 - 10	15,3	1,43	10,7	1,8	nd
		20 - 30	10,5	1,19	9,1	2,2	nd
M	t ₅	0 - 10	12,1	1,41	8,6	0,9	0,2
		10 - 20	12,6	1,42	8,9	1,2	nd
P	t ₅	0 - 10	33,4	3,08	10,8	0,2	20,3
		10 - 20	28,9	2,62	11,0	0,3	nd

(*)I_s = indice d'instabilité structurale déterminé selon HENIN

K = perméabilité en cm/h sur échantillon non perturbé

nd = non déterminé

Tabla 2 : Contenidos en la materia orgánica (C y N) y valores de I_s y K por los horizontes superficiales de un vertisol.

Tableau 2 : Teneurs en C et N valeurs de I_s et K pour les horizons de surface d'un vertisol en prairie temporaire (P) ou maraîchage (M).

Traitement	Caractéristique	Fraction				TOTAL
		F 200-2000	F 50-200	F > 50	F 0-50	
M	C%.	0,60	1,66	2,3	9,8	12,1
	C/N	13,5	14,4	14,1	7,8	8,5
P	C%.	5,04	6,46	11,5	21,9	33,4
	C/N	20,4	15,5	17,2	9,1	10,8

Tabla 3 : Contenidos en C y N de las fracciones vegetales y orgánica-minerales de un vertisol.

Tableau 3 : Répartition du carbone dans les fractions végétales et organo-minérales d'un vertisol.

En las muestras donde abundan las raíces, las quebras se van a hacer preferentemente a nivel de estas. Esta prueba permite comprobar el efecto de las raíces más grandes sobre el tamaño de los agregados estructurales.

Segun el tipo de prueba se ve una distribución de agregados totalmente diferente (fig. 4a). El contenido importante de raíces, en el caso del pasto, conduce en la prueba P, a un máximo de agregados de tamaño 5-10 mm, en cambio sin presencia de raíces (ensayo M) la casi totalidad de los agregados tienen un tamaño de 10-20 mm.

Se somete después los agregados 5-20 mm a una prueba de permeabilidad en columna en régimen de saturación permanente. La figura 4b muestra que los agregados de la prueba P, aún después de eliminar una parte de las raíces gruesas (●), han mantenido su estabilidad.

b) Test de micro-agregacion

Después del tratamiento humedecimiento-deseccación, se ponen en contacto mas o menos 35 g de suelo seco con 300 ml de agua durante 6 horas, y se agita (50 rev./min) la mezcla a tiempos variables : 0 revolución, 30 revoluciones, 30 mn, 1h, 2h, 6h, 12h, 15h. El fraccionamiento granulométrico de los micro-agregados es llevado mediante tamizados bajo agua a 2000, 200, 50, 25 μm y por sedimentación a 5 μm . Se presentan los resultados en la fig. 5. Para cada clase granulométrica la presencia de "agregados reales" es controlada comparando los resultados con los del análisis mecánico (después de destruir la materia orgánica).

Aquí vemos que después de 2 h de agitación los agregados superiores a 200 μm han sido todos destruidos en P y M. Pero las dos pruebas evolucionan diferentemente en el caso de los micro-agregados de tamaños de 5 a 200 μm : destruidos en 2h en la prueba M (la granulometría de los agregados es idéntica al resultado del análisis mecánico) en cambio en la prueba P una parte importante queda estable. Esta parte puede ser estimada en cada momento por diferencia entre P y M de la fracción 0-5 μm : 20 % de agregados estables 5-200 μm después de 2h de agitación, 12 % después de 6 h y todavía 5 % después de 15 h.

Así pues, el aumento de la reserva orgánica en el pasto se acompaña de una transformación tanto de las macro- como de las micro-estructuras. Si la fuerte densidad de raíces en la pradera permite explicar la disminución del tamaño de los agregados estructurales, es esencialmente el aumento de la materia orgánica en las fracciones orgánico-minerales (0-50 μm) que conduce a los micro-agregados muy estables (□).

Estos resultados están de acuerdo con los de STENGEL y al. (1984) (in MONNIER, 1984), que muestran que el aumento del contenido en agregados estables en benceno (método HENIN) tiene una fuerte correlación con el aumento del contenido en carbono ligado (MONNIER y al. 1962) del suelo.

(●) Eliminación de 1,6 mgC.g⁻¹ suelo en forma de raíces de tamaño superior a 200 μm lo que corresponde a 32 % de la fracción F 200-2000.

(□) La perennidad de este efecto sera comprobada en el campo, en los próximos años, al introducir el cultivo de las hortalizas en la pradera.

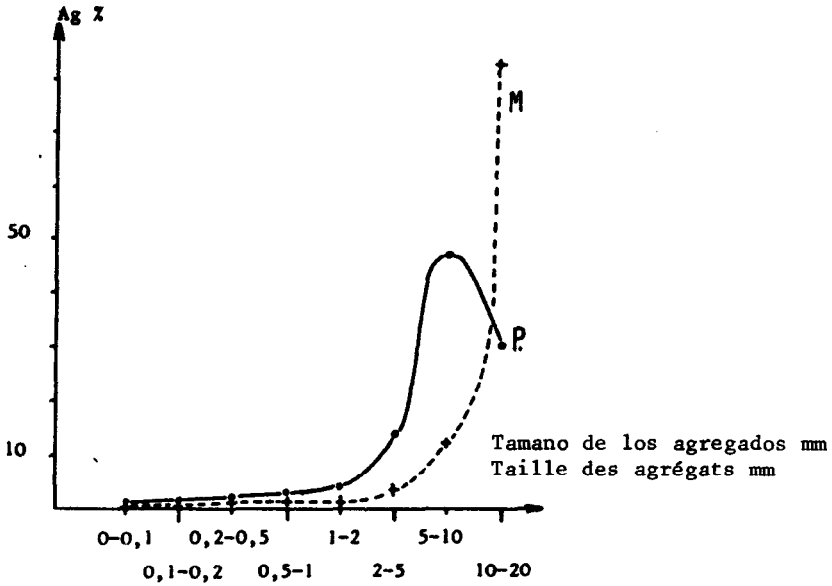


Fig. 4a : Répartition granulométrique des agrégats (vertisol). tamisage à sec

Fig. 4a : Répartition granulométrique des agrégats (vertisol). tamisage à sec

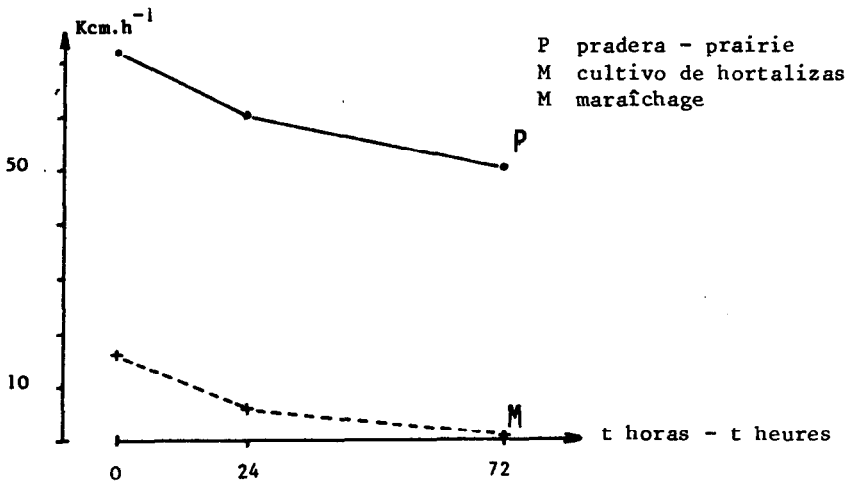


Fig. 4b : Evolución de la permeabilidad de agregados 5-20 mm según el tiempo

Fig. 4b : Evolution de la perméabilité sur agrégats 5-20 mm en fonction du temps

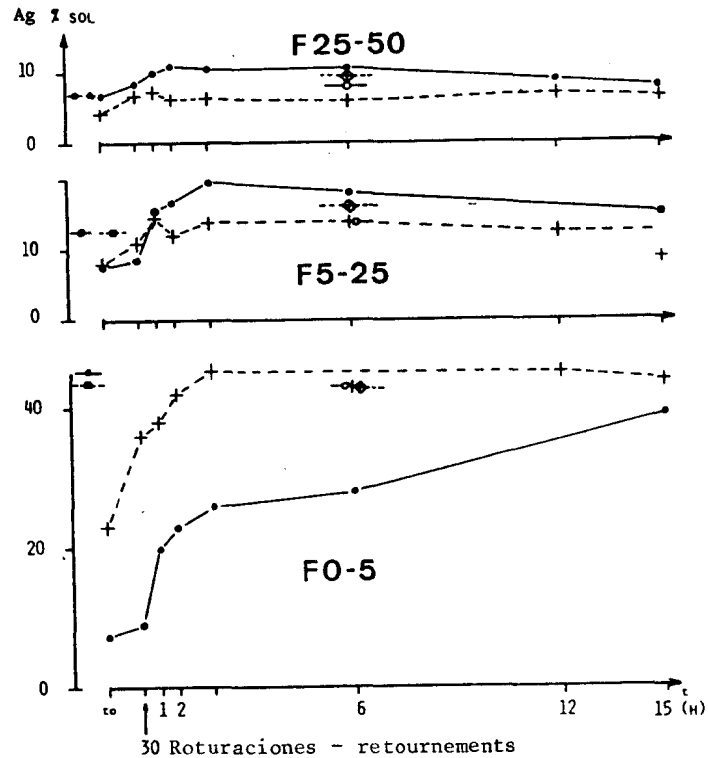
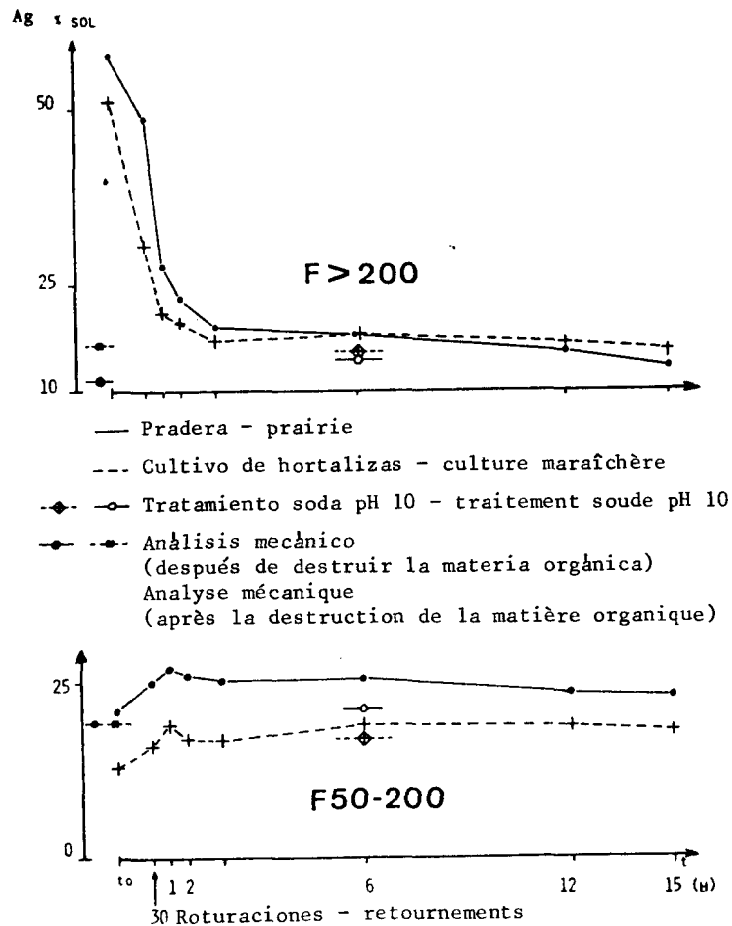


Fig. 5 : Evolución de las granulometrias de agregados de un vertisol según el tiempo de agitación. Estabilidad de los microagregados

Fig. 5 : Evolution des granulométries d'agregats d'un vertisol en fonction du temps d'agitation.

En nuestro laboratorio se estan haciendo pruebas para ver si hay una fracción húmica particular involucrada en la mejora de la micro-estructura, pero todavia ningún resultado definitivo puede ser presentado. Sin embargo, se notó que la soda, a baja concentración a pH 10, considerada en estas condiciones como un agente de extracción de formas húmicas menos ligadas a la matriz mineral (RAPIDISON, 1982), podría ser agente específico de ruptura de los enlaces interparticulares en los micro-agregados, pues los micro-agregados 5-200 μm del ensayo P desaparecen después de este tratamiento (fig. 5).

Conclusiones

Las investigaciones sobre materia orgánica de los suelos en agrosistemas pueden focalizarse o bien en el estudio del funcionamiento global del sistema suelo-planta (influencia de los contenidos en materia orgánica del suelo en la evolución de la productividad vegetal o de otras propiedades del suelo), o bien en el estudio de mecanismos especiales (variaciones de las reservas orgánicas, relaciones materia orgánica-nitrógeno, materia orgánica-propiedades físicas, etc.).

El primer tema enfoca estudios pluridisciplinarios en el análisis de los sistemas de cultivo. Esto permite ubicar la materia orgánica como factor de la productividad vegetal.

Las investigaciones más específicas del segundo tema necesitan una reflexión en la selección de los compartimientos orgánicos u orgánico-minerales que se deben someter a un test, y obligan a tener en cuenta las nociones de estabilidad : estabilidad biológica, estabilidad de la estructura. En primera aproximación la bioestabilidad de la materia orgánica aumenta desde los residuos vegetales poco descompuestos hasta los residuos humificados y el complejo orgánico-mineral (humus s.s.). La estabilidad de los agregados aumenta desde los agregados más grandes hacia los más finos. Se nota entonces que las escalas de "estabilidad" coinciden con las escalas "granulométricas". Se puede también hacer el mismo tipo de observación en los componentes minerales, la alteración de los minerales primarios de gran tamaño conduciendo a los componentes minerales secundarios finos, mas estables en las condiciones superficiales de la corteza terrestre. Así, en la jerarquía de los métodos usados en la caracterización de la materia orgánica y de su función en las relaciones suelo-planta, se privilegiará en un primer tiempo los fraccionamientos granulométricos (de la materia orgánica del suelo o de los agregados). Si es necesario se estudiará su composición con todas las técnicas físico-químicas o biológicas disponibles.

En la caracterización de las reservas orgánicas se vió que un corte a 50 μm permite diferenciar un compartimiento "vegetal" de un compartimiento "orgánico-mineral". Utilizando técnicas isotópicas (^{14}C y/o ^{15}N) este simple enfoque permite un análisis casi siempre explicativo de las variaciones de las reservas orgánicas o de los balances y flujos de nitrógeno en el sistema suelo-planta (FELLER et al. 1982 y 1983).

Aplicado al estudio de las propiedades físicas de un vertisol un análisis granulométrico de la materia orgánica y de los agregados nos permitió especificar que los residuos de raíces y las fracciones orgánico-minerales están involucrados en la estabilización de la estructura, las raíces en el caso de los agregados estructurales, la materia orgánica humificada en el de la micro-agregación.

BIBLIOGRAPHIE

- BRUCKERT (S.), ANDREUX (F.), CORREA (A.), AMBOUTA (K.J.M.) et SOUCHIER (B.) - 1978 - Fractionnement des agrégats appliqué à l'analyse des complexes organo-minéraux du sol. Trans. 11 th Int. Cong. Soil Sci., 6 88-89.
- DABIN (B.) - 1971 - Etude d'une méthode d'extraction de la matière humique du sol. Sci. du sol, Bull. AFES, 1, 47-63.
- DUCHAUFOR (Ph.) et JACQUIN (F.) - 1966 - Nouvelles recherches sur l'extraction et le fractionnement des composés humiques. Bull. ENSA Nancy, 8 (1), 3 - 24.
- FELLER (C.) - 1979 - Une méthode de fractionnement granulométrique de la matière organique des sols. Application aux sols tropicaux, à textures grossières, très pauvres en humus. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., 17 (4), 399-346.
- FELLER (C.), GANRY (F.) et CHEVAL (M.) - 1981 - Décomposition et humification des résidus végétaux dans un agrosystème tropical. 1 - Influence d'une fertilisation azotée et d'un amendement organique (compost) sur la répartition du carbone et de l'azote dans différents compartiments d'un sol sableux. L'Agron. Trop., 36, 9-17.
- FELLER (C.), GUIRAUD (G.) et GANRY (F.) - 1982 - Soil organic matter and nitrogen interactions in a tropical agrosystem. Study by size organic matter fractionation and isotope techniques. C.R. Colloque Regional sur la Matière Organique des Sols, CENA, Piracicaba (Brésil), 185-192.
- FELLER (C.), GUIRAUD (G.), HETIER (J.M.) et MAROL (C.) - 1983 - Study by size fractionation of organic matter in a cultivated tropical soil fertilized with labelled crop residues (^{14}C , ^{15}N) and urea (^{15}N). Inter. J. Trop. Agri., 1 (2), 123-130.
- FELLER (C.), BERNHARDT-REVERSAT (F.), GARCIA (J.L.), PANTIER (J.J.), ROUSSOS (S.) et VAN VLIET-LANOE (B.) - 1983 - Etude de la matière organique de différentes fractions granulométriques d'un sol sableux tropical. Effet d'un amendement organique (compost). Cah. ORSTOM, sér. Pédol., 20 (3), 223-238.
- GANRY (F.), BIDEAU (J.) et NICOLI (J.) - 1974 - Action de la fertilisation azotée et de l'amendement organique sur le rendement et la valeur nutritionnelle d'un Mil Souma III. L'Agron. Trop., 29, 1006-1015.
- GUILLET (B.) - 1979 - Etude du renouvellement des matières organiques des sols par les radioisotopes (^{14}C). In "Pédologie. 2. Constituants et propriétés du sol". M. BONNEAU et B. SOUCHIER Eds., Chap. X, 210-225, Masson, Paris.
- HENIN (S.) - 1976 - Cours de physique du sol. Vol. 1. Initiations - Documentations techniques n° 28, ORSTOM Paris - EDITEST. Bruxelles, 159 p.
- LADD (J.N.), PARSONS (J.W.) and AMATO (M.) - 1977 - Studies on nitrogen immobilization and mineralization in calcareous soils. 2. Mineralization of immobilized nitrogen from soil fractions of different particle size and density. Soil Biol. Biochem., 9, 319-325.

- MONNIER (G.)-1984 - Recherches sur la stabilité structurale. Exemples d'applications. In : Livre Jubilaire du Cinquantenaire AFES 1984, 293-297.
- MONNIER (G.), TURC (L.), JEANSON (C.) - 1972 - Une méthode de fractionnement densimétrique par centrifugation des matières organiques du sol. Ann. Agron., 13, 55-63.
- PERRAUD (A.), NGUYEN KHA et JACQUIN (F.) - 1971 - Essai de caractérisation des formes de l'humine dans plusieurs types de sols. C.R. Acad. Sci., Paris, sér. D 272, 1594-1596.
- RAFIDISON (Z.) - 1972 - Rôle de la faune dans l'humification : transformation de feuilles de hêtre par un ver anécique (*Nicodrilus velox*). Thèse Doct. Spec. Univ. Nancy I, 104 p.
- SEBILLOTTE (M.) - 1982 - Pratiques des agriculteurs et évolution de la fertilité du milieu. Eléments pour un jugement des systèmes de culture. B.T.I. 370/372, L1-AGRO-19, 425-436.
- SIBAND (P.) - 1974 - Evolution des caractères et de la fertilité d'un sol rouge de Casamance. L'Agron. Trop., 29 (12), 1228-1248.
- STENCEL (P.), DOUGLAS (J.T.), GUERIF (J.), GOSS (M.), MONNIER (G.), CANNEL (R.Q.) - 1984 - Methods of study and factors influencing the variation of some properties of soils in relation to their suitability for direct drilling. Soil and Tillage Research. (Sous presse).
- TIESSEN (H.) and STEWART (J.W.B.) - 1983 - Particle-size fractions and their use in studies of soil organic matter. 2 - Cultivation effects on organic matter composition in size fractions. Soil Sci. Soc. Am. J., 47, 509-514.
- TURCHENEK (L.W.) and OADES (J.M.) - 1974 - Size and density fractionation of naturally occurring organo-mineral complexes. Trans. 10th. Int. Cong. Soil Sci., 2, 65-72.