

# Renouvellement du carbone des fractions granulométriques d'un sol ferrallitique forestier (Brésil) mis en culture de canne à sucre

## Étude par le $^{13}\text{C}$ en abondance naturelle

Christian FELLER (1), Hervé CASABIANCA (2) et Carlos CERRI (3)

(1) Orstom, LCSC, BP 5045, 34032 Montpellier Cedex, France. (2) CNRS, SCA, BP 22, 69390 Vernaison, France. (3) CENA-USP, CP 96, 13400 Piracicaba, Brésil.

### RÉSUMÉ

*Le marquage isotopique naturel en  $^{13}\text{C}$  est utilisé pour étudier le renouvellement du carbone associé aux fractions granulométriques d'un sol ferrallitique argileux, initialement sous forêt (végétation de type  $\text{C}_3$ ), par des cultures continues de canne à sucre (végétation de type  $\text{C}_4$ ) menées pendant 12 ou 50 ans. Le taux de renouvellement des fractions diminue globalement des fractions grossières supérieures à 200  $\mu\text{m}$  (débris végétaux peu décomposés) aux fractions organo-argileuses. Il n'y a pas de différences entre les argiles fines (0-0,2  $\mu\text{m}$ ) et grossières (0,2 - 2,0  $\mu\text{m}$ ). Enfin, après 12 ans de culture, 22 % du C récent sont retrouvés dans les débris végétaux grossiers contre 50 % dans le seul compartiment argileux.*

**MOTS CLÉS :** Dynamique – Matière organique –  $^{13}\text{C}$  abondance naturelle – Fractionnement granulométrique – Sol ferrallitique – Brésil.

### ABSTRACT

CHANGES IN THE  $^{13}\text{C}$  NATURAL ABUNDANCE CONTENTS OF THE PARTICLE SIZE FRACTIONS OF A FERRALLITIC FOREST SOIL (BRAZIL) AFTER CLEARING OF THE FOREST AND CULTIVATION (12 AND 50 YEARS) WITH SUGARCANE

*The  $^{13}\text{C}$  isotopic natural abundance was used to study the dynamics of organic matter in the different particle size fractions of a ferrallitic soil when continuous sugarcane cultivation (12 and 50 years) succeed to the native forest. The turnover rate decreased from the coarse plant debris fractions (200-2 000  $\mu\text{m}$ ) to the clay fraction (0-2  $\mu\text{m}$ ). There were no differences between fine (0-0.2  $\mu\text{m}$ ) and coarse (0.2-2.0  $\mu\text{m}$ ) clays. After 12 years of cultivation 22 % of the total recent carbon were associated with the coarse plant debris fractions and 50 % with the organo-clay one.*

**KEY WORDS :** Soil organic matter dynamics –  $^{13}\text{C}$  natural abundance – Particle size fractionation – Ferrallitic soil – Brazil.

### INTRODUCTION

Dans une étude déjà ancienne (CERRI *et al.*, 1985), nous avons montré l'intérêt d'associer des fractionnements granulométriques du sol et des mesures des teneurs en  $^{13}\text{C}$  (abondance naturelle) des fractions pour l'étude de la dynamique des matières organiques (MO) d'un sol ferrallitique

argileux à la suite d'un changement de végétation : défrichement d'une forêt (végétation de type  $\text{C}_3$ ) et cultures continues de canne à sucre (végétation de type  $\text{C}_4$ ) pendant 12 et 50 ans. Dans ce travail, trois classes granulométriques seulement avaient été retenues : 200-2 000  $\mu\text{m}$ , 50-200  $\mu\text{m}$  et 0-50  $\mu\text{m}$ . De cette approche, il ressortait que :

– le taux de renouvellement des MO diminuait des fractions grossières (> 200 µm) aux fractions plus fines (50-200 µm et 0-50 µm) ;

– après 50 années de culture de canne à sucre, la fraction 0-50 µm représentait 87 % du carbone total dont 50 % environ provenait de la nouvelle végétation (canne à sucre).

Ce dernier point montrait donc la nécessité de mieux caractériser la fraction 0-50 µm, d'autant que divers travaux avec traceurs isotopiques avaient déjà montré ( $^{14}\text{C}$ ,  $^{15}\text{N}$ ), ou ont montré depuis ( $^{13}\text{C}$ ), que les dynamiques des MO associées aux différentes fractions fines (limons ou argiles) pouvaient être très variables (LADD *et al.*, 1977a et b ; ANDERSON et PAUL, 1984 ; BALESSENT *et al.*, 1987).

L'objet de cette note est donc de compléter ces données anciennes par des fractionnements granulométriques plus détaillés de la fraction 0-50 µm.

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

### Situations

Les situations sont décrites en détail dans CERRI *et al.* (1991). Elles sont situées dans l'État de São Paulo au sud du Brésil près de la ville de Piracicaba (22° 43' S, 47° 38' W). Les sols étudiés sont, selon la classification française (CPCS, 1967), des sols ferrallitiques fortement désaturés (« latosols rouge sombre » de la classification brésilienne). Les trois situations retenues sont distantes de quelques dizaines de mètres : forêt (T0) et parcelles en monocultures de canne à sucre depuis 12 ans (T12) ou 50 ans (T50) après défrichage de la forêt. Le modelé est plat. On analyse respectivement pour T0, T12 et T50 les horizons 0-6, 0-10, et 0-10 cm.

### Fractionnement granulométrique de la MO

La méthode utilisée ici, décrite dans FELLER *et al.* (1991a), diffère sensiblement de celle utilisée antérieurement par CERRI *et al.* (1985). Les différences portent sur :

1° *Le mode de dispersion du sol :*

– agitation en présence de billes (B) et application de faibles énergies d'ultrasons (US), en cuve, dans la méthode ancienne. Celle-ci sera nommée B/US dans la suite de ce texte ;

– agitation en présence de résine cationique (R), sous forme sodique, et application d'ultrasons à l'aide d'une sonde (100 J/ml suspension) sur la suspension 0-50 µm, dans la méthode utilisée ici.

Celle-ci sera nommée R/US dans la suite de ce texte. La méthode R/US est plus efficace que la méthode B/US pour la dispersion des limons et des argiles.

2° *Les fractions séparées et analysées :*

– dans la publication CERRI *et al.* (1985) – méthode B/US –, seules avaient été analysées les fractions 200-2 000 (fraction légère F1), 50-200 et 0-50 µm ;

– dans ce travail (méthode R/US), on a séparé les fractions 200-2 000, 50-200, 20-50, 2-20, 0,2-2,0 et 0-0,2 µm. Toutes les fractions ont été analysées en C et N, mais seules les fractions inférieures à 50 µm ont été analysées en  $^{13}\text{C}$ .

Une comparaison sommaire des résultats obtenus par les deux méthodes est présentée au tableau I. Concernant la fraction 50-2 000 µm, les rapports C/N sont systématiquement plus élevés pour les fractions obtenues par la méthode R/US. Cela peut être dû à une meilleure dispersion du sol avec cette méthode et (ou) à quelques différences d'estimation des teneurs en azote pour ces fractions souvent pauvres en azote. Concernant la fraction globale 0-50 µm, les masses, rapports C/N et teneurs  $\delta^{13}\text{C}$  ‰ obtenus sont relativement proches pour les deux méthodes. Cela indique que l'effet des différences observées pour la fraction 50-2 000 µm s'exprime relativement peu, pour ces sols argileux, sur la fraction 0-50 µm. Aussi, dans ce travail, et malgré le caractère non totalement rigoureux de la démarche, nous permettrons-nous de comparer les différentes fractions entre elles, qu'elles soient obtenues par la méthode B/US (fractions supérieures à 50 µm) ou R/US (fractions inférieures à 50 µm).

### Dosages C, N et $^{13}\text{C}$

C et N totaux sont dosés par autoanalyseur « CHN - Carlo-Erba » (Mod. 1106).

Les teneurs en  $^{13}\text{C}$  des sols et fractions sont déterminées, après combustion en tubes scellés et purification du  $\text{CO}_2$  formé, par analyse au spectromètre de masse (VG Micromass MM60E ou Finnigan Delta S). Les résultats sont exprimés en unités  $\delta$  (‰) en référence au standard « PDB » :

$$\delta^{13}\text{C} (\text{‰}) = (\text{R échantillon/R référence} - 1) \cdot 1000$$

avec R rapport atomique  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ .

On appellera dans ce travail :

–  $\delta_0$ , la valeur  $\delta$  du sol et des fractions de la forêt initiale (T0) ;

–  $\delta_a$ , la valeur moyenne  $\delta$  des matières végétales provenant de la canne à sucre ( $\delta_a = -13$  ‰) ;

TABLEAU I

Comparaison des caractéristiques des fractions granulométriques 50-2 000 µm et 0-50 µm obtenues par deux méthodes : méthode B/US (billes + ultrasons), selon CERRI *et al.* (1985) ; méthode R/US (résine sodique + ultrasons), selon FELLER *et al.* (1991a).

T0 = sol sous forêt ; T12 et T50 = sols sous canne à sucre.

Comparison of some characteristics of the 50-2 000 µm and 0-50 µm fractions separated according to two methods :

B/US method (glass beads + ultrasons), after CERRI *et al.* (1985) ;

R/US method (sodic resin + ultrasons), after FELLER *et al.* (1991a)

T0 = forest soil ; T12 and T50 = sugarcane soils

Fraction (µm)	Sol	Caractéristique/Méthode de fractionnement					
		Masse (mg/g sol)		C/N		δ <sup>13</sup> C (‰)	
		B/US	R/US	B/US	R/US	B/US	R/US
50-2000	T0	322	285	11,9	18,8	-25,7	nd (*)
	T12	204	221	20,5	29,8	-21,3	nd
	T50	246	235	22,5	28,6	-19,0	nd
0-50	T0	679	714	9,5	9,4	-25,3	-25,5
	T12	796	779	9,8	10,6	-23,2	-23,0
	T50	755	764	11,5	12,6	-20,1	-20,6

(\*) nd = non dosé.

– δ, la valeur δ des sols et fractions des situations T12 et T50 ;

– Δδ, la différence δ–δ<sub>0</sub>, qui exprime la variation, avec le changement de végétation, du δ initial du sol et de ses fractions ;

– y, la proportion en % du carbone récent du sol ou des fractions (provenant de la canne à sucre) par rapport au carbone total du sol (ou des fractions), et calculé selon la formule :

$$y = 100\Delta\delta / (\delta_a - \delta_0)$$

– m, la participation relative (en %) du carbone total (récent + ancien) de chaque fraction (Cf) à la somme du carbone (Ct) de toutes les fractions :

$$m = Cf \cdot 100/Ct \text{ avec Cf et Ct en mg C/g sol}$$

– Y, la participation relative (en %) du carbone récent (provenant de la canne à sucre) de chaque fraction (Yf) au carbone récent total de la somme des fractions (Yt) :

$$Y = Yf \cdot 100/Yt \text{ avec } Yf = yxm/100 \text{ et } Yt = \text{somme des } Yf$$

Conformément aux recommandations de BALESDENT (ce Cahier), pour chaque fraction des sols sous canne à sucre, le témoin est la fraction correspondante du sol T0.

Tous les résultats se réfèrent aux échantillons (sols ou fractions) séchés à 105 °C.

## RÉSULTATS

Les résultats détaillés sont portés dans le tableau II. On note que :

– Sous forêt (T0), les valeurs δ<sup>13</sup>C des fractions sont relativement constantes comprises entre – 25,0 et – 26,2 ‰. Le marquage naturel peut donc être considéré comme homogène dans cet horizon de surface 0-6 cm.

– Sous canne à sucre de 12 ans (T12), les teneurs en δ<sup>13</sup>C sont sensiblement plus élevées dans les fractions supérieures à 20 µm (– 22,3 à – 20,8 ‰) que dans les fractions inférieures à 20 µm (– 23,4 à – 22,8 ‰). Le δ des argiles grossières ne diffère pas de celui des argiles fines. De 30 à 40 % (y) du carbone des fractions supérieures à 20 µm provient de la culture, contre 20 %, en moyenne, pour les fractions inférieures à 20 µm. Par rapport au C total « récent », 27 % (Y) sont localisés dans les fractions supérieures à 50 µm (en particulier dans la fraction la plus grossière), 22 % dans les limons (2 à 50 µm) et 51 % dans les argiles.

– Sous canne à sucre de 50 ans (T50), les teneurs en δ<sup>13</sup>C sont élevées (– 15,6 ‰) pour la fraction grossière (200-2 000 µm), sont plus faibles ensuite

pour les fractions plus fines, mais en étant relativement constantes, approximativement égales à - 20 ‰. La fraction supérieure à 200 µm est constituée par 80 % (y) de carbone récent. Celui-ci représente 48 % du C des fractions limoneuses (2 à 50 µm) et 34 % des fractions argileuses (0 à 2 µm). On note donc une diminution de y des fractions grossières aux fractions fines. Les valeurs « anormalement » faibles observées pour les fractions 50-200 µm (aussi bien pour T12 que pour T50) pourraient s'expliquer, en partie, par la présence de cendres carbonées issues du brûlis de la forêt initiale (VITORELLO *et al.*, 1989). Par rapport au C total « récent », 14 % (Y) sont localisés dans les fractions supérieures à 50 µm, 37 % dans les limons (2 à 50 µm) et donc 49 % dans les argiles (0 à 2 µm).

## DISCUSSION ET CONCLUSIONS

Les résultats acquis antérieurement (CERRI *et al.*, 1985) sur les mêmes échantillons mettaient en évidence : 1° le taux de renouvellement élevé des débris végétaux grossiers (fraction F1 200-2 000 µm), 2° un taux de renouvellement déjà notable à 12 ans (y d'environ 20 %) et nettement plus élevé à 50 ans (y d'environ 40 %) de la fraction globale 0-50 µm.

Les résultats de cette note montrent qu'au sein de la fraction 0-50 µm, en terme de renouvellement du carbone forestier par une culture, il faut distinguer, en première approximation, les MO associées aux limons de celles associées aux argiles, le taux de renouvellement des premières étant plus élevé que celui des secondes. Cet effet n'est toutefois net qu'au-delà de 12 ans de culture. Des tendances simi-

TABLEAU II

Répartition du carbone total et du carbone 13 dans les différentes fractions granulométriques des sols sous forêt (T0) et sous culture de canne à sucre (T12 et T50)

Voir la définition des variables  $\delta$ ,  $\delta_0$ ,  $\Delta\delta$ , y, m et Y dans le texte

*Total carbon and carbon 13 distributions within the different particle size fractions of the forest (T0) and sugarcane soils (T12 and T50). See definitions of  $\delta$ ,  $\delta_0$ ,  $\Delta\delta$ , y, m and Y in text*

Sol	Fraction (µm)	Masse (mg/g sol)	Carbone (mg/g fract) (mg/g sol)		C/N	( $\delta_0$ ou $\delta$ ) (‰)	$\Delta\delta$ (‰)	y (%)	m (%)	Y (%)
T0	FI200-2000 (**)	21	356.0	7.44	12.7	-26.1			14.4	
	Fd200-2000 (**)	139	nd (***)	nd	nd	nd			nd	
	50-200 (**)	162	37.7	6.11	11.0	-25.2			11.8	
	20-50	51	56.4	2.90	12.5	-25.7			5.6	
	2-20	86	106.0	9.15	10.5	-26.2			17.7	
	0.2-2.0	264	58.9	15.56	8.4	-25.0			30.1	
	0-0.2	312	33.5	10.47	8.8	-25.4			20.3	
	Somme	1036		51.62	9.7	-25.5			100.0	
	Sol NF (*)	1000		42.5	9.9	-25.6				
	T12	FI200-2000 (**)	6	339.0	2.03	37.0	-20.8	5.3	40.5	12.0
Fd200-2000 (**)		54	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
50-200 (**)		144	6.2	0.89	13.6	-22.3	2.9	23.8	5.3	5.6
20-50		54	9.7	0.52	19.4	-21.8	3.9	30.7	3.1	4.2
2-20		83	38.3	3.18	12.0	-23.4	2.8	21.2	18.8	17.7
0.2-2.0		326	18.7	6.10	9.4	-22.8	2.2	18.3	36.0	29.4
0-0.2		316	13.4	4.24	11.2	-23.0	2.4	19.4	25.0	21.5
Somme		983		16.97	11.0	-22.7	2.8	22.4	100.0	100.0
Sol NF (*)		1000		14.5	11.1	-22.7	2.9	23.0		
T50		FI200-2000 (**)	2	310.0	0.53	31.0	-15.6	10.5	80.2	3.4
	Fd200-2000 (**)	84	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	50-200 (**)	160	7.4	1.18	17.9	-20.5	4.7	38.5	7.5	7.2
	20-50	50	24.1	1.21	20.1	-19.4	6.3	49.6	7.6	9.4
	2-20	127	29.8	3.77	14.9	-20.0	6.2	47.0	23.9	27.9
	0.2-2.0	357	16.8	6.00	11.2	-20.9	4.1	34.2	38.1	32.3
	0-0.2	231	13.3	3.07	12.1	-21.2	4.2	33.9	19.5	16.4
	Somme	1010		15.76	13.2	-20.4	5.1	40.8	100.0	100.0
	Sol NF (*)	1000		13.40	13.4	-20.2	5.4	42.9		

(\*) Sol NF = échantillon non fractionné,

(\*\*) Fractions obtenues par la méthode B/US (pour mémoire),

(\*\*\*) nd = non dosé.

lares apparaissent à l'analyse des résultats obtenus dans d'autres situations tropicales. En effet :

- dans le cas d'une succession savane-forêt (changement daté de 16 ans), en Côte-d'Ivoire (MARTIN *et al.*, 1990), on calcule pour y (horizon 0-10 cm) les valeurs suivantes : 90, 54 et 30 % respectivement pour les fractions 50-2 000, 2-50 et 0,2 µm ;
- dans le cas d'une succession forêt-pâturage (9 ans) en Amazonie brésilienne (DESJARDINS, 1991), on peut estimer, pour les mêmes fractions, y respectivement égal à 44,35 et 31 %.

Toutefois, à la différence de certaines situations en milieu tempéré (BALESDENT *et al.*, 1987, étude avec <sup>13</sup>C ; ANDERSON *et al.*, 1984, datations <sup>14</sup>C),

on ne note pas ici de différence entre les taux de renouvellement des argiles fines et grossières.

Enfin, pour le sol ferrallitique argileux étudié ici, il apparaît qu'après 12 ans de culture de canne à sucre, 50 % du carbone du sol issu de cette nouvelle végétation est stocké dans les fractions argileuses, où la MO est essentiellement sous forme amorphe (FELLER *et al.*, 1991b), le reste étant localisé, en grande partie (22 %), dans les débris végétaux grossiers (fractions F1 200-2 000 µm).

*Manuscrit accepté par le Comité de rédaction le 11 décembre 1992.*

## BIBLIOGRAPHIE

- ANDERSON (D.W.), PAUL (E.A.), 1984. – Organo minéral complexes and their study by radiocarbon dating. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 48 : 298-301.
- BALESDENT (J.), 1993. – Estimation du renouvellement du carbone des sols par mesure isotopique <sup>13</sup>C. Précision, risque de biais. *Cah. Orstom, sér. Pédol.* vol. XXVI, n° 4, 1991 : 315-326.
- BALESDENT (J.), MARIOTTI (A.), GUILLET (B.), 1987. – Natural <sup>13</sup>C abundance as a tracer for soil organic matter dynamics studies. *Soil Biol. Biochem.*, 19 : 25-30.
- CPCS, 1967. – Classification des sols. Travaux CPCS, 1963-67. *Mult.*, 76 p.
- CERRI (C.C.), FELLER (C.), CHAUVEL (A.), 1991. – Avaliação das principais propriedades de um latossolo vermelho escuro após desmatamento e cultivo por 12 e 50 anos com cana-de-açúcar. *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, vol. XXVI, 1 : 37-50.
- CERRI (C.C.), FELLER (C.), BALESDENT (J.), VICTORIA (R.), PLENECASSAGNE (A.), 1985. – Application du traçage isotopique naturel en <sup>13</sup>C à l'étude de la dynamique de la matière organique dans les sols. *C.R. Acad. Sci., Paris*, 300 : 423-428.
- DESJARDINS (T.), 1991. – *Variations de la distribution de la matière organique (carbone total et <sup>13</sup>C) dans les sols ferrallitiques du Brésil. Modifications consécutives à la déforestation et à la mise en culture en Amazonie orientale.* Thèse Univ. Nancy-1, 137 p. + annexes.
- FELLER (C.), BURTIN (G.), GÉRARD (B.), BALESDENT (J.), 1991a. – Utilisation des résines sodiques et des ultrasons dans le fractionnement granulométrique de la matière organique des sols. Intérêt et limites. *Science du Sol*, 29 : 77-93.
- FELLER (C.), FRANÇOIS (C.), VILLEMIN (G.), PORTAL (J.M.), TOUTAIN (F.), MOREL (J.L.), 1991b. – Nature des matières organiques associées aux fractions argileuses d'un sol ferrallitique. *C.R. Acad. Sci., Paris*, 312, sér. II : 1491-1497.
- LADD (J.N.), PARSONS (J.W.), AMATO (M.), 1977a. – Studies of nitrogen immobilization and mineralization in calcareous soils. I. Distribution of immobilized nitrogen amongst soil fractions of different particle size and density. *Soil Biol. Biochem.*, 9 : 309-318.
- LADD (J.N.), PARSONS (J.W.), AMATO (M.), 1977b. – Studies of nitrogen immobilization and mineralization in calcareous soils. II. Mineralisation of immobilized nitrogen from soil fractions of different particle size and density. *Soil Biol. Biochem.*, 9 : 319-325.
- MARTIN (A.), MARIOTTI (A.), BALESDENT (J.), LAVELLE (P.), VUATTOUX (R.), 1990. – Estimate of organic matter turnover rate in a savanna soil by <sup>13</sup>C natural abundance measurements. *Soil Biol. Biochem.*, 22 : 517-523.
- VITORELLO (V.A.), CERRI (C.C.), ANDREUX (F.), FELLER (C.), VICTORIA (R.L.), 1989. – Organic matter and natural carbon-13 distribution in forested and cultivated oxisols. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 53 : 773-778.