

Communication au Groupe d'Etude des Matières Organiques des Sols
(GEMOS), Station d'Agronomie de l'INRA, Pont-de-la-Maye, le 18 et 19 avril
1989.

DYNAMIQUE DU CARBONE ORGANIQUE DANS LES MELANGES

SOL - RESIDUS VEGETAUX

Influence sur la capacité d'échange cationique

M. Pansu, P. de Boissezon*

INTRODUCTION

Dans une précédente publication sur la cinétique d'humification des matières végétales enfouies dans les sols (PANSU et SIDI 1987), nous avons utilisé les résultats des expériences d'incubation *in vitro* réalisées par SIDI (1987) et qui visaient à l'étude de l'amélioration de la stabilité structurale de sols céréaliers méditerranéens grâce à un apport de paille de blé. L'étude de l'évolution du carbone organique total en fonction du temps et des doses de paille enfouies nous a conduits à proposer une autre formulation du modèle de HENIN et al (1959) à deux compartiments (PANSU, 1989).

La prise en compte de la cinétique de dégradation des débris de végétaux, incomplètement transformés dans les sols, a nécessité l'ajout d'un compartiment au modèle précédent. Ce nouveau modèle à trois compartiments est plus étroitement associé aux

* Centre ORSTOM - BP 5045 - 34032 Montpellier cedex - 67 61 74 00



Fonds Documentaire IRD
Cote : Bx 25750 Ex : 1

variations observées de stabilité structurale au cours de l'incubation (PANSU et SIDI, 1989). La figure 1 montre comment se situent nos deux modèles par rapport aux propositions de HENIN et al (1959) et JENKINSON et RAYNER (1977).

Depuis, des expériences d'incubations *in vitro* un peu plus complexes ont été réalisées par l'un de nous (P. de BOISSEZON, 1988) avec le mélange d'un sol brun et de paille de luzerne. L'étude des cinétiques d'évolution des teneurs en carbone organique au cours des six mois d'expérience engendre une formulation simplifiée de notre précédent modèle à deux compartiments.

Ce nouveau modèle permet un calcul aisé de paramètres simples, mais plus précis que le coefficient isohumique, pour caractériser simultanément un sol et un amendement organique. Nous proposons l'utilisation de ces paramètres aux expérimentateurs chargés de tester l'évolution à court terme des nombreux composts et amendements organiques proposés actuellement sur le marché.

Le modèle a également permis une interprétation des variations observées de capacité d'échange cationique au cours de l'expérimentation.

I - MATERIELS ET METHODES

Les modèles de laboratoire ont été réalisés avec les horizons A1 et B2 d'un sol brun forestier sur limon des plateaux du Bassin Parisien prélevé à Grignon dont les principales caractéristiques sont résumées dans le tableau I.

Les expériences ont été conduites dans des tubes de verre surmontant un erlenmeyer pour recueillir le drainage, d'une part en utilisant le seul horizon A1 (0-10 cm) enrichi avec différentes doses de paille de luzerne, d'autre part en reconstituant la superposition des horizons A₁ (également enrichi en paille) et B2 (figure 2).

Quatre doses (0-2,5 - 5 - 7,5%) de paille de luzerne calibrée (0,2 - 2 mm) ont été enfouies dans l'horizon A1 et les colonnes ont été sacrifiées pour analyses aux temps 0, 1, 15, 30, 90 et 180 jours d'incubation. Tous les traitements ont été faits en double.

La température a été maintenue constante à 28°C, à l'obscurité, en atmosphère humide, dans une étuve. Le régime hydrique alterné a été réalisé par une humectation initiale *per ascensum* pour chasser les bulles d'air des colonnes, suivi d'un ressuyage par gravité. Les humectations hebdomadaires ont été obtenues en versant de l'eau distillée en haut de colonne pour assurer l'humidité à la capacité de fin de ressuyage plus 10 ml. Les pertes organiques par lixiviation ont été dosées dans les percolats recueillis.

Les résultats présentés ici ne concernent que l'évolution du carbone organique total (dosé au four par coulométrie) dans l'horizon A1 du modèle à deux horizons (A1 enrichi en paille et B2) et la capacité d'échange cationique à pH 7 du même horizon A1.

Tableau I : Sol brun sur limon des plateaux sous taillis de hêtres et chênes GRIGNON (FOLLEVILLE).

Horizons	A ₁	B ₂	Paille luzerne calibrée (0,2 - 2 mm)
Argile	21,2	26,9	
Limon fin	20,2	19,7	
Limon grossier	41,1	42,2	
Sables fins	10,7	8,3	
Sables grossiers	11,1	0,3	
Carbone ‰	25,6	3,9	402
Azote ‰	2,7	0,5	28,3
pH (H ₂ O)	5,5	7,0	
pH (KCl)	4,8	6,1	
Capacité d'échange (pH 7) me/100 g	19,8	17,3	57,05

II - RESULTATS ET DISCUSSIONS

A) - Le modèle proposé

Pour une expérience d'une durée limitée à six mois, il était illusoire d'espérer ajuster valablement le coefficient de vitesse de décroissance d'un compartiment humifié, possédant une demi-vie de quelques années, voire de quelques dizaines d'années.

Nous avons donc choisi de négliger la minéralisation du compartiment B de notre précédent modèle à deux compartiments.

En outre, nous désirions tester si l'entraînement de certaines matières organiques, par les eaux de lessivage, ne perturbait pas le fonctionnement du modèle. Le modèle finalement choisi est donc représenté figure 3.

figure 3 : Modèle proposé à deux compartiments

L'apport organique "m" se répartit dès son incorporation dans le compartiment labile A selon une proportion P_a et dans le compartiment stable B selon une proportion P_b .

Le compartiment A se transforme selon une réaction du 1er ordre, avec un coefficient de vitesse a . A chaque cycle, une proportion P_a des matières transformées est renouvelée dans le compartiment A, alors qu'une proportion P_b est stabilisée dans le compartiment B.

La décroissance du compartiment labile A et la croissance simultanée du compartiment humifié B sont traduites par le couple d'équations différentielles :

$$d[A]/dt = -a[A](1-P_a)$$

$$d[B]/dt = a[A]P_b$$

Par intégration et sommation, on obtient l'équation du carbone total C_T :

$$C_T = \quad \quad \quad B_0 + A_0 P_b/(1-P_a) + mP_b/(1-P_a) + [A_0(1-P_a-P_b)/(1-P_a) + mP_a(1-P_a-P_b)/(1-P_a)] e^{-a(1-P_a)t} \quad (1)$$

A_0 et B_0 sont les teneurs initiales du sol en matières organiques labiles et stables.

Cette équation (1) est de la forme :

$$C_T = Y_0(m) + Y_1(m)e^{-a(1-P_a)t} \quad (2)$$

Cette expression est encore plus simple que celle de HENIN et al (1959) puisque, pour un apport donné, elle représente la somme d'une exponentielle décroissante et d'une constante qui est l'asymptote de la courbe.

B - Ajustement aux données

Les ajustements par régressions non linéaires, en fonction du temps, pour chacune des quatre doses de paille de luzerne apportées, fournissent une valeur moyenne pour $a(P_a-1) = -0,016$

Si le modèle correspondant à l'équation 1 est vérifié, $Y_0(m)$ et $Y_1(m)$ de l'équation 2 doivent être linéaires, en fonction de m .

La linéarité s'est avérée satisfaisante et l'équation finalement trouvée, s'exprime par :

$$C_T = 22,189 + 0,192 m + (4,259 + 0,640 m) e^{-0,016 t} \quad (3)$$

avec des coefficients de détermination R^2 égaux respectivement à 0,986 pour $Y_0(m)$ et 0,996 pour $Y_1(m)$.

Des équations 1 et 3, nous tirons aisément les paramètres caractérisant l'amendement organique et le sol utilisé :

- Caractéristiques initiales du sol :
 $A_0 = \text{carbone labile} = 5,3\text{‰}$
 $B_0 = \text{carbone stable} = 21,2\text{‰}$
- Coefficient de renouvellement du carbone = $P_a = 0,79$
- Coefficient de stabilisation du carbone = $P_b = 0,04$
- Vitesse de transformation du carbone : $a = 0,077 \text{ jours}^{-1}$ correspondant à une demi-vie moyenne des produits labiles de 12,9 jours, analogue aux valeurs précédemment trouvées de 1,5 - 2,2 et 2,5 semaines (PANSU et SIDI, 1987) avec une même température d'incubation mais des conditions un peu différentes pour le régime hydrique.

L'évolution respective simulée des compartiments labiles et stables, ainsi que du carbone total, est représentée sur la figure 4.

C - Relation avec les variations observées de la capacité d'échange cationique de l'horizon A1 du modèle

De nombreux auteurs ont montré l'existence de corrélations entre la capacité d'échange cationique des sols et leurs teneurs en matière organique, mais l'incorporation de matières organiques ne provoque pas toujours une augmentation significative de la capacité d'échange des horizons enrichis (BOISSEZON et BONZON, 1986).

Nous avons reporté dans le tableau II, les résultats d'ajustements linéaires entre la capacité d'échange cationique et les teneurs en carbone au cours des expériences, d'une part

pour chaque amendement, d'autre part pour chaque temps d'incubation, toujours selon le modèle :

$$CEC = a + b C_T \quad (4)$$

Tableau II : Ajustements de capacité d'échanges cationiques de l'horizon A1 correspondant à l'équation 4 pour chaque temps d'incubation (tableau de gauche) et pour chaque dose de paille ajoutée (tableau de droite).

jours	5 TEMPS D'INCUBATION			4 DOSES DE PAILLE DE LUZERNE			
	Temps	a	b	R ²	Apport C‰	a	b
1	18,0	0,089	0,93	0	11,1	0,346	0,57
15	17,2	0,111	0,89	10,05	15,2	0,166	0,72
30	16,6	0,122	0,85	20,1	16,7	0,118	0,84
90	15,3	0,163	0,76	30,15	17,5	0,103	0,90
180	13,4	0,242	0,57				

La capacité d'échange cationique qui est maximum en début d'incubation décroît proportionnellement à la diminution des teneurs en carbone organique dans l'horizon A₁. Néanmoins, les résultats du tableau II indiquent une corrélation de plus en plus significative, pour les doses de paille les plus importantes, mais qui devient moins significative lorsque le temps d'incubation s'accroît. La pente des droites de régression varie en sens inverse : elle croît avec le temps, mais elle est divisée environ, par trois, lorsqu'on passe de l'apport nul à la dose de paille la plus forte. Ceci indique que la CEC des matières organiques résiduelles et des matières humifiées croît avec le temps tandis que la CEC due aux matières végétales ajoutées décroît d'autant moins que la dose de paille ajoutée est plus importante.

Or, notre modèle permet d'évaluer la quantité globale de carbone labile et celle de carbone stabilisé, au cours de la période d'incubation. Il était alors tentant, de calculer des ajustements linéaires de la CEC, non plus en fonction du carbone total, mais en fonction du contenu carboné des deux compartiments "A" labile et "B" stabilisé, selon un modèle du type :

$$CEC = a[A] + b[B] \quad (5)$$

Le tableau III indique les valeurs obtenues pour les deux coefficients "a" et "b", pour les quatre fumures et les coefficients de détermination correspondants. Les courbes correspondant à ces quatre ajustements sont représentées sur la figure 5 :

Tableau III : Ajustements de capacités d'échanges cationiques correspondant à l'équation (5)

(s_a et s_b = écarts types associés à la détermination des coefficients a et b).

Apport C°/∞	a	s_a	b	s_b	R ²
0	0,472	0,009	0,846	0,002	1,0000
10,05	0,303	0,014	0,787	0,005	1,0000
20,1	0,262	0,007	0,740	0,004	1,0000
30,15	0,237	0,009	0,711	0,006	0,9999

Les ajustements sont tous très hautement significatifs. Le coefficient "b" prend une valeur deux à trois fois plus forte que celle du coefficient "a", ce qui indiquerait un nombre de sites d'échange cationique également 2 à 3 fois plus fort, pour les produits humifiés que pour les matières organiques labiles.

Le coefficient "a" diminue fortement lorsque la dose de paille ajoutée augmente. Avec l'apport le plus fort, la valeur devient moitié de celle sans apport. Ceci est probablement, en rapport avec la grande hétérogénéité du compartiment A. Celui-ci englobe tout le carbone des matières labiles, qu'il provienne des micro-organismes, de métabolites ou de résidus de végétaux non décomposés. Les matières labiles initialement présentes dans le sol possèdent plus de sites d'échange que les matières labiles provenant de la paille.

Le coefficient "b" diminue très faiblement lorsque la dose de paille ajoutée augmente. Les produits d'humification récente, provenant de la transformation de la paille, auraient donc un nombre de sites d'échanges légèrement moins importants que les produits humifiés antérieurement.

Il serait intéressant de comparer ces valeurs de "A" et "B" avec celles obtenues par enfouissement d'amendements organiques préhumifiés, tels que les composts ou fumier de ferme mais il est probable que seul "a" serait modifié avec le type d'amendement organique, tandis que "b" lié au type d'humus du sol, resterait sensiblement constant.

L'absence de données pour des teneurs en carbone très faibles ne permet malheureusement pas d'estimer avec précision l'ordonnée du point ou le plan de régression coupe l'axe des CEC et de déterminer ainsi la capacité d'échange cationique de la fraction minérale de l'horizon A1. La comparaison des coefficients de l'équation de régression (5) montre que la CEC liée aux matières organiques labiles est deux à trois fois plus faible que celle des matières humifiées stabilisées.

CONCLUSION

Le modèle que nous proposons peut donc constituer un outil de caractérisation du comportement à court terme des amendements organiques dans différents sols.

Il permet de déterminer assez facilement des paramètres dépendant de l'état du sol et de l'amendement organique : caractéristiques initiales du sol, coefficient de renouvellement, coefficient de stabilisation et vitesse de transformation des matières organiques dans des conditions de température et d'humidité contrôlées.

La valeur agronomique de ces paramètres ne peut être jugée qu'à l'usage ou après collecte de données expérimentales dans des conditions d'incubation plus complexes du point de vue températures et régime hydrique. Les résultats présentés ici ont cependant permis de valider correctement le modèle et montrent que son fonctionnement n'est pas perturbé par un régime hydrique induisant des pertes limitées de matières organiques par lixiviation hebdomadaire allant de 4,2% (témoin) à 14% (fumure la plus forte) des pertes totales en carbone.

En outre, ce modèle a permis de mieux comprendre l'évolution de la capacité d'échange cationique en relation avec les matières végétales enfouies et les matières organiques labiles ou humifiées dont les pouvoirs de fixation des cations diffèrent fortement.

BIBLIOGRAPHIE :

- BOISSEZON P. de et BONZON B., 1986** - Effet de l'apport de fumier sur les caractéristiques chimiques d'un sol ferrallitique ivoirien. *Cah. ORSTOM, Sér. Pédol.*, XXII, (3), 329-355.
- BOISSEZON P. de, 1988** - Effets de l'enfouissement de paille de luzerne sur la capacité d'échange d'un sol brun sur limon des plateaux (C.R. journée de pédologie ORSTOM sept 1988) *Cah. ORSTOM Ser. Pédol.*, XXIV (4).
- HENIN S, MONNIER G. et TURC L., 1959** - Un aspect de la dynamique des matières organiques du sol, *C.R. Acad. Sci.Fr.*, 248, 138-141.
- JENKINSON (D.S.) et RAYNER (J.H.), 1977** - The turnover of soil organic matter in some of the Rothamsted classical experiments, *Soil Sci.*, 123 (5) : 298-303.
- PANSU M., 1988.** - Proposition de modèles descriptifs de la dynamique des matières organiques des sols, (C.R. journées de pédologie ORSTOM sept 1988), *Cah. ORSTOM Ser. Pedol.* XXIV (4).

PANSU M. & SIDI H., 1987. - Cinétique d'humification et de minéralisation de mélanges sols-résidus végétaux. *Sci. du Sol* 25, 247-265.

PANSU M. et SIDI H. , 1989 - Effet d'apports organiques et de gypse sur la stabilité structurale de deux sols méditerranéens, *Sci. du Sol*, en parution.

SIDI H., 1987 - Effet de l'apport de matière organique et de gypse sur la stabilité structurale de sols de région méditerranéenne (Mateur-Tunisie). *Thèse Doct. Ing., I.N.A. Paris Grignon.*

Figure 1 :

Figure 2 : Le dispositif expérimental

Figure 4 : Valeurs simulées des compartiments A et B et du carbone total au cours de l'expérience.

Les points expérimentaux sont les valeurs moyennes de deux répétitions.

Figure 5 : Evolution de la capacité d'échange cationique.

Valeurs expérimentales et ajustements par l'équation (5).