

6135

UNIVERSITE HENRI POINCARÉ - NANCY I
INSTITUT NATIONAL AGRONOMIQUE PARIS - GRIGNON
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE AGRONOMIQUE DE MONTPELLIER
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE AGRONOMIQUE DE RENNES

DEA NATIONAL DE SCIENCE DU SOL

CHEVALLIER Tiphaine
inscrite à l'E.N.S.A. de Montpellier

**Reconstitution à court terme du stock organique et
du peuplement de vers de terre (*Polypheretima elongata*)
d'un vertisol (Martinique) sous prairie plantée (*Digitaria decumbens*)**

Stage effectué au Laboratoire d'étude du Comportement des Sols Cultivés (ORSTOM, Montpellier)
Soutenu le 3 Juillet 1996 à Montpellier
Maître de stage : M. Alain ALBRECHT

Membres du jury : M. Adrien HERBILLON, Président du jury
M. Jean-Claude REMY
M. Alain ALBRECHT
M. Christian FELLER
M. Marc VOLTZ
M. Pierre BOTTFNER

Fonds Documentaire ORSTOM

010014021

uniqued.

Fonds Documentaire ORSTOM
Cote: A*14021 Ex: X

Résumé

La mise en culture intensive des vertisols du Sud-Est de la Martinique a conduit à une diminution des stocks organiques et à une dégradation de la stabilité structurale des sols. Le thème des recherches actuellement mené à l'ORSTOM porte sur la réhabilitation de ces sols dégradés. Souvent la teneur en carbone (C) est considérée comme l'agent central des propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols. C'est pourquoi l'objectif de ce travail est de comprendre, après mise en prairie, la dynamique à court terme de la restauration des stocks organiques, et par suite la fonction puits de C des sols dans le cycle global du C.

Par ailleurs, de nombreux auteurs ont montré l'influence positive de la macrofaune et plus particulièrement des vers de terre endogés tropicaux sur l'organisation physique des sols et la protection du C contre la minéralisation. L'étude parallèle de la reconstitution du stock organique et du peuplement de vers de terre permettra de mettre, ou non, en évidence l'influence des vers de terre sur la restauration du stock organique du sol.

L'étude est effectuée sur une parcelle de 0,4 ha, cultivé en maraîchage pendant au moins 15 ans, sur laquelle a été installée une prairie de *Digitaria decumbens* fin 1991. Les mesures des teneurs en C et des densités de vers de terre ont été réalisées chaque année jusqu'en 1995. Les sols étudiés sont majoritairement peuplés de l'espèce *Polypheretima elongata* (Megascolecidae), seul le peuplement de cette espèce a été étudié. Les traitements statistiques et géostatistiques des données ont permis (i) de recueillir des données quantitatives sur les mécanismes de reconstitution du stock organique et du peuplement de *P.elongata* et (ii) d'en appréhender la variabilité et la structure spatiale.

Après 3 ans de prairie, le stockage de C sur 0-30 cm est de 9 tC.ha⁻¹. La vitesse, l'intensité et la distribution spatiale de la reconstitution du stock organique est pour une grande part liée à la dynamique de *D. decumbens*. La nature très argileuse du sol étudié et les apports élevés de matière organique végétales, dues à une conduite intensive de la prairie, explique en partie la valeur du stockage de C relativement élevée par rapport aux résultats trouvés dans la littérature. Les systèmes prairiaux, sur ce type de sol, semblent être des puits de C, dans le cycle global du C, particulièrement intéressant.

Un des résultats de ce travail est aussi d'ordre méthodologique et permettra d'améliorer les techniques d'échantillonnage dans ce type d'étude de la matière organique. Ainsi, cette étude nous montre (i) d'une part que le nombre d'échantillons (n=96) est excessif pour étudier la dynamique moyenne de restauration du stock organique et (ii) d'autre part que le nombre d'échantillons est trop faible pour étudier la dynamique de restauration fine liée directement à l'activité racinaire et sa répartition dans le sol. Un échantillonnage stratifié, c'est-à-dire la mise en place d'un plan d'échantillonnage moins dense mais comprenant des zones dont la maille d'échantillonnage est réduite, de l'ordre du décimètre, semble plus judicieux.

L'étude des vers de terre a montré une recolonisation de *P.elongata* parallèle à l'augmentation de la teneur en C la troisième année de mise en prairie. Cependant cette simultanéité n'est pas accompagnée d'une corrélation spatiale. L'influence de la densité de vers de terre sur la reconstitution du stock organique ou celle du stock organique sur la dynamique des peuplements de vers n'a donc pu être mise en évidence.

SOMMAIRE

Introduction	1
Matériel et méthodes	3
Méthodes analytiques	4
Méthodes statistiques	4
Résultats	8
I - Variabilités des profondeurs et granulométries du sol	8
I - 1 - Profondeurs	8
I - 2 - Granulométrie	8
II - Variabilités des teneurs en carbone organique	9
II - 1 - Les teneurs moyennes en Corganique	9
II - 2 - Evolution au cours du temps de la variance des teneurs en carbone	10
II - 3 - Structure spatiale des teneurs en Corganique	12
III - Variabilités de la qualité de la matière organique	19
III - 1 - Rapport C/N moyen	19
III - 2 - Evolution au cours du temps de la variance du rapport C/N	20
III - 3 - Structure spatiale du rapport C/N	20
IV - Variabilités des densités de vers de terre	20
IV - 1 - Evolution de la densité de population de <i>P.elongata</i> au cours du temps	20
IV - 2 - Structure spatiale des densités de <i>P.elongata</i>	21
V - Corrélation entre les différentes variables étudiées	22
V - 1 - Teneur et accroissements en C, et, variables édaphiques	22
V - 2 - Teneur et accroissements en C, et, densité de vers de terre	23

Discussion	23
I - Reconstitution du stock organique	23
I - 1 - Evolution au cours du temps du stock organique	23
I - 2 - Evolution au cours du temps de la structure spatiale des teneurs en C	29
I - 3 - Qualité de la matière organique stockée	31
II - Reconstitution du peuplement de vers de terre	31
III - La répartition des vers de terre est-elle dépendante de la structure spatiale du C dans la prairie ?	32
Conclusion	33
Références bibliographiques	35
Liste des figures et tableaux	39
Annexes	40

INTRODUCTION

Pour des sols tropicaux, il est bien souvent établi que le taux de matière organique (MO) contrôle à la fois les propriétés physiques (Feller *et al.*, 1996), chimiques et biologiques du sol (Carter, 1996) et que sa diminution excessive par des systèmes de culture intensive entraîne de dangereuses dégradations des sols. La mise en place d'un périmètre irrigué au début des années 80 dans le Sud-Est de la Martinique a permis le développement de cultures maraîchères, dans une région où les plantations de canne à sucre, l'élevage et les forêts sèches dominaient. La succession de plusieurs cultures sur une même parcelle la même année est souvent nécessaire pour faire face à la demande et augmenter les profits. Des études antérieures montrent que ce type de système de production intensif conduit à une forte diminution du stock organique (Albrecht *et al.*, 1992a) et est responsable d'une dégradation sensible de la structure des sols, avec érosion en nappe, et pertes de nutriments associés aux éléments fins (Albrecht *et al.*, 1992b). La recherche d'un système cultural permettant la restauration du stock organique est alors indispensable à la réhabilitation des sols dégradés.

Dans le domaine de la recherche agronomique et environnementale, tant en milieu tempéré que tropical, il existe un intérêt grandissant pour les études du cycle global du carbone (C). Le sol, par l'intermédiaire de la photosynthèse des plantes, peut être considéré comme un système puits du carbone (C) et ainsi limiter l'effet de serre. L'efficacité de ce système est lié non seulement à la nature des sols mais aussi à leur mode de gestion. Les systèmes fourragers, pour lesquels la production végétale est souvent plus élevée que dans les systèmes maraîchers, doit permettre un stockage de C atmosphérique plus important.

L'ORSTOM conduit dans ce contexte un programme de recherche autour de la restauration des stocks organiques des sols dégradés. Des études complémentaires se mettent aujourd'hui en place afin d'étudier parallèlement le cycle global du C et la fonction puits de C du sol. L'objectif de ces recherches est de proposer une gestion organique appropriée des sols. Brossard *et al.* (1985) ont montré que pour des sols argileux tropicaux, tels qu'un vertisol, les apports de MO exogène (compost, fumier) n'ont que des effets fugaces sur la reconstitution du stock organique. L'introduction de pâturage dans le système de production, c'est-à-dire la mise en place d'une rotation culture intensive-prairie est alors envisagée.

Le stockage du C du sol est la résultante de deux processus antagonistes, (i) les entrées liées aux activités des plantes ou à des amendements organiques, (ii) les sorties par minéralisation, et/ou lixiviation, et/ou exportation par érosion. Dans les vertisols, les phénomènes de lixiviation de C solubles sont négligeables (peu de drainage interne dans ce type de sol), en revanche les pertes par érosion et minéralisation peuvent être élevées. Le taux de minéralisation de la MO dépend de la quantité (Singh et Singh, 1995), de la nature (Parton, 1987 ; Feller, 1994), mais aussi de la localisation (dans ou hors les agrégats) de la MO (Beare *et al.* 1994). La MO dans les agrégats est davantage protégée contre la minéralisation, elle est en effet moins disponible aux décomposeurs. De même, la sensibilité à l'érosion est en relation avec la stabilité structurale du sol. Aussi, la dynamique des pertes de C est-elle liée à l'organisation du sol. (Fig. 1).

Les racines, mais aussi la faune du sol et plus particulièrement les invertébrés, jouent un rôle important dans l'entretien de la structure physique du sol et la dynamique de la MO en

milieu naturel. Souvent en milieu tropical humide, la population de vers de terre domine les autres populations d'invertébrés (Lavelle, 1994). Des travaux, *in situ* ou en laboratoire, sur les effets des vers de terre sur des sols de savanes naturelles montrent (i) un rôle positif de ces animaux sur le taux d'agrégation du sol (Blanchart *et al.* 1993) et (ii) un rôle négatif sur la biomasse microbienne (Daniel et Anderson, 1992) et le taux de minéralisation de la MO à moyen terme (Martin, 1989). Les vers de terre semblent donc jouer un rôle important dans le stockage de la MO dans les systèmes naturels, où leur peuplement est généralement estimé à des densités nettement plus élevées que sous culture (Lavelle et Pashanani, 1989 ; Rossi, 1992 ; Fraser 1994). L'étude simultanée de la reconstitution du stock organique et du peuplement de vers de terre doit permettre de comprendre l'influence des vers de terre sur la dynamique de restauration des propriétés des sols (Fig.1).

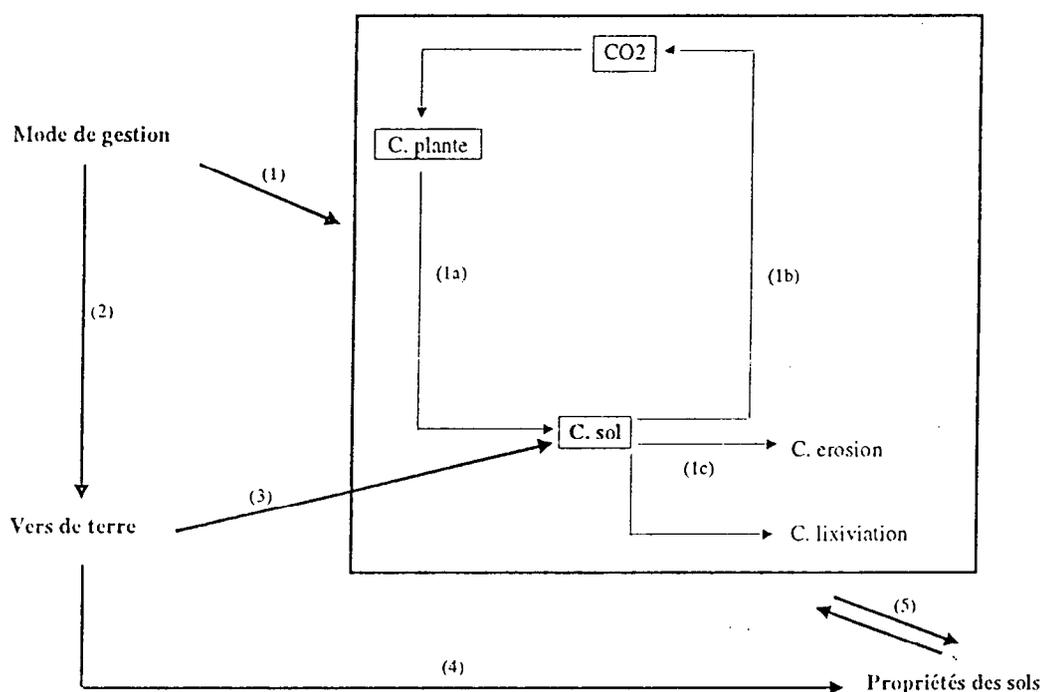


Figure 1 : Contexte de l'étude du DEA

- Les modes de gestion agissent sur le cycle global du C. directement (1) en modifiant les apports organiques (1a), le taux de minéralisation (1b), et l'érodibilité des sols (1c), et indirectement (2) par leurs actions sur les densités de vers de terre.
- Les vers de terre influence le stock de C (3), en intervenant sur la qualité et la quantité de MO disponible aux minéralisateurs, et sur la structure du sol (4).
- Les propriétés du sol, granulométrie, porosité et structure (agrégation et stabilité structurale), interagissent (5) avec plusieurs composants du cycle global du C, plus particulièrement les pertes par voie gazeuse (minéralisation) et par voie solide (érosion). En effet, selon la stabilité structurale du sol et la localisation du C dans ou hors agrégats, le C est plus ou moins protégée de la minéralisation et de l'érosion, mais le C a un rôle positif sur l'agrégation et est souvent considéré comme un bon agent de réhabilitation des sols dégradés.

Dans cette optique, une étude diachronique, c'est à dire conduite sur une même parcelle mais dont les prélèvements sont effectués à des dates différentes (chaque année de 1992 à 1995 inclus), a été entreprise sur un pâturage du Sud-Est de la Martinique planté en *Digitaria decumbens*, fin 1991, sur un sol cultivé en maraîchage pendant au moins 15 ans. Les sols étudiés ici sont majoritairement, voire exclusivement, peuplés de l'espèce *Polypheretima elongata* (Megascolecidae) ; c'est pourquoi seule l'étude de cette espèce sera envisagée.

Les traitements statistiques et géostatistiques des données permettront d'appréhender la variabilité et la structure spatiale de la reconstitution du stock organique et du peuplement de vers de terre. Ce dispositif doit permettre de recueillir des données quantitatives sur les mécanismes de stockage du C à court terme (3 ans), et donc de mieux comprendre à la fois la dynamique de stockage du C sous prairie et la vitesse de réhabilitation des sols dégradés. Ainsi cette étude aidera à la conduite et la gestion des pâturages dans les systèmes de rotation maraîchage-prairie.

MATERIEL ET METHODES

La prairie étudiée est située au sud-est de la Martinique sur la commune de Sainte-Anne dans la station d'essais de culture irriguées (SECI). Le climat est tropical humide. La température, de 26 à 28°C, est constante tout au long de l'année (Fig.2a), et les précipitations, concentrées de juillet à novembre (hivernage), sont de l'ordre de 1400 mm.an⁻¹ (Fig.2b). Les sols sont des vertisols qualifiés de "calco-magnésio-sodiques" (environ 35% des bases échangeables sont du magnésium, 15% du sodium et 50% du calcium) développés sur des andésites.

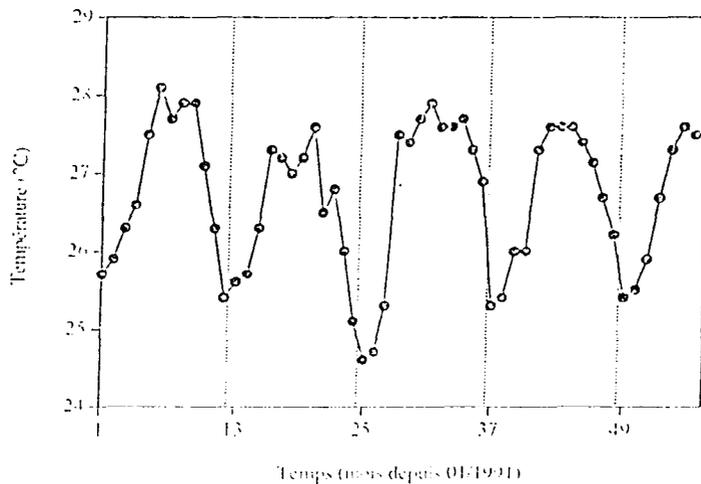


Figure 2a : Température moyenne mensuelle à Sainte-Anne du 01/91 au 08/95

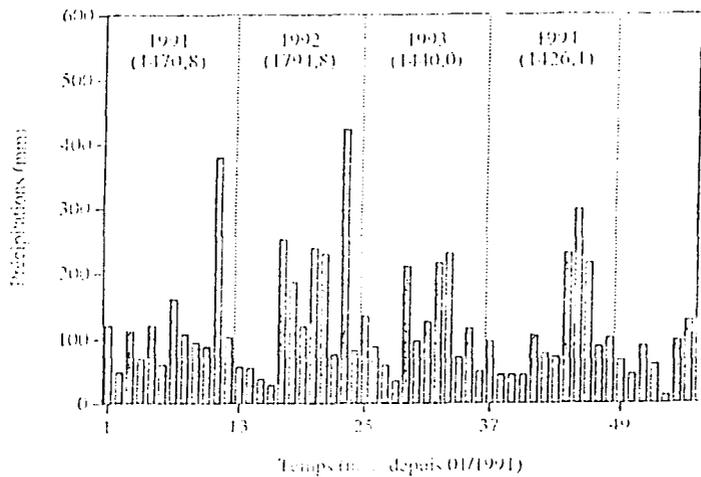


Figure 2b : Pluviométrie mensuelle à Sainte-Anne du 01/91 au 08/95

Le dispositif expérimental a été installé dans le cadre du projet CEE Macrofauna II (STD3 n°ERBTS3*920128). Il repose sur l'étude d'un sol cultivé durant 15 ans avant replantation, fin 1991, d'une prairie de *Digitaria decumbens*, graminée fourragère (pangola). Les dimensions de la parcelle d'étude sont : 77 x 53 m, soit 0,4 ha. La plantation est réalisée soit à partir de boutures de tige, soit à partir de touffes. Les plants sont espacés de 75 cm à 1 m. Le choix s'est porté sur *D.decumbens* car cette espèce est connue pour, (i) être une bonne espèce fourragère, (ii) avoir une production peu affectée par le pâturage (Humphreys, 1981) et (iii) bien s'adapter aux sols érodés (Havard et Duclos, 1967). La parcelle est, de plus, pâturée (ovins) et ferti-irriguée (100 kg d'azote/ha/an). En février 1992 (T0), 96 points d'échantillonnage ont été installés de façon aléatoire, la distance minimale entre deux points est de 1 m. (Annexe 1). Sur chacun de ces points, granulométrie, profondeur totale du sol, teneur en carbone organique(C), et azote (N) total et, densité de vers de terre ont été mesurées. Teneurs en C, et N organique et densité de vers de terre sont ensuite mesurées chaque année (début février). Les prélèvements de sol ont été effectués de 10 cm en 10 cm jusqu'à 30 cm de profondeur.

Méthodes analytiques

- Granulométrie

Elle est déterminée à l'aide d'un granulomètre laser (Mastersizer E, Malvern) après dispersion maximale du sol et attaque H₂O₂ afin d'éliminer toute la matière organique.

- Carbone et azote organique

Carbone organique et azote total, sont déterminés par un autoanalyseur (chromatographie en phase gazeuse) CNS Na 1500 (Carlo Erba Instruments).

- Densité de vers de terre

Les vers de terre sont séparés manuellement à partir d'un bloc de terre de 30 cm de côté (3 répétitions) selon la méthode préconisée par le manuel de Tropical Soil Biology & Fertility, TSBF (Anderson et Ingram, 1993).

Méthodes statistiques

Les statistiques descriptives et comparatives ont été réalisées au moyen du logiciel StatViews SE + Graphics (Abacus Concept 1987, 1989), les géostatistiques au moyen du logiciel Geo-Eas (E.P.A., Environmental Monitoring System Laboratory., 1988).

Nous rappelons ci-dessous quelques aspects généraux de l'approche géostatistique (Voltz, 1996).

L'approche géostatistique permet la description et l'interpolation spatiale de variables à distribution continue dans l'espace. C'est une méthode d'estimation probabiliste sur laquelle s'appuie la notion de variable régionalisée dont les grandes lignes sont présentées dans le premier paragraphe. Par ailleurs, afin d'optimiser l'estimation, ces méthodes cherchent à connaître au préalable la structure spatiale du phénomène étudié : ceci est effectué à travers l'analyse du variogramme, dont on donne les hypothèses et les principes de calcul et d'interprétation dans le second et troisième paragraphe. Enfin, le dernier paragraphe présentera la méthode

d'estimation probabiliste de base, le krigage.

1- Notion de variable régionalisée

Une variable régionalisée prend ses valeurs dans une région bien déterminée de l'espace que l'on appelle champ géométrique. Au sein du champ géométrique, la variable régionalisée est une fonction du point spatial. Ses valeurs varient d'un point spatial à un autre avec une certaine continuité. A chaque point x_i du champ géométrique, on peut associer une variable aléatoire $Z(x_i)$, aussi nommée fonction aléatoire.

2- Hypothèses

Quelques hypothèses sont nécessaires pour déterminer la loi de probabilité de la fonction aléatoire $Z(x)$:

2.1 - Hypothèse d'ergodicité

On ne dispose que d'une seule observation ou réalisation de la fonction aléatoire $Z(x)$, or un seul tirage au sort ne permet pas de reconstituer la loi de probabilité de la fonction aléatoire. Par conséquent, on considère que la réalisation unique de la variable régionalisée rend compte de l'ensemble des réalisations éventuelles : c'est l'hypothèse d'ergodicité.

2.2 - Hypothèse de stationnarité

On suppose une certaine stationnarité du phénomène dans l'espace. On réduit ainsi le nombre de paramètres statistiques à estimer. L'hypothèse de stationnarité se traduit par :

$$E(Z(x)) = m \quad \text{où } m \text{ est une constante}$$

$$\text{Var}(Z(x)) = s^2$$

$$\text{Cov}(Z(x_1), Z(x_2)) = \text{Const}(h) \quad \text{avec } h = x_2 - x_1$$

2.3 - Hypothèse intrinsèque

Dans le cas où la variabilité du phénomène observé croît avec la surface étudiée, seuls les accroissements de la fonction aléatoire sont stationnaires, autrement dit, $E[Z(x+h) - Z(x)] = 0$ et $\text{Var}[Z(x+h) - Z(x)] = g(h)$, g étant le variogramme.

3- Calcul, et interprétation du variogramme

Le variogramme mesure la corrélation spatiale entre deux variables $Z(x_i)$ du champ géométrique. La première étape de cette méthode consiste à calculer le variogramme expérimental à partir des points d'observation, puis de trouver un variogramme théorique qui ajuste au mieux ce variogramme expérimental.

L'expression générale du variogramme est : $g[Z(x_1), Z(x_2)] = 1/2 \text{Var}[Z(x_1) - Z(x_2)]$

3.1- Calcul du variogramme expérimental

D'après la définition du variogramme et sous les hypothèses citées ci-dessus on obtient :

$$g(h) = 1/2 E[(Z(x+h) - Z(x))^2] = 1/2 \int [Z(x+h) - Z(x)]^2 . dx$$

En fait, cette intégrale n'est pas calculable, car on ne peut disposer que d'un nombre fini de paires de points, issues d'un échantillonnage expérimental. C'est pourquoi on prendra un estimateur non biaisé de $g(h)$:

$$g(h) = 1/2 n(h) \sum_{i=1}^{n(h)} [Z(x_i) - Z(x_i+h)]^2 / n(h) \text{ étant le nombre de paires d'observations séparées par } h.$$

Soit un échantillon de n observations, on peut constituer $n(n-1)/2$ paires différentes. La procédure de

calcul du variogramme réalise des classes de distance pour l'ensemble des paires. Elle calcule ensuite un point du variogramme en calculant la somme des écarts quadratiques de l'ensemble des paires d'une distance moyenne entre les paires de la classe prise en compte. On note que $g(h)$ est une fonction qui ne dépend que de la distance entre deux points et non de leurs positions respectives.

La distance maximale est inférieure ou égale à la moitié de la plus grande distance de la surface d'étude, c'est-à-dire ici 40 mètres.

3.3- Notion et ajustement du variogramme théorique

Le variogramme expérimental n'est estimé qu'en un nombre fini de points (il y a autant de points que de classes de distance). Une procédure est utilisée pour trouver la fonction théorique qui se rapproche le plus du variogramme estimé : cette fonction est le variogramme théorique. L'ajustement peut être effectué en comparant visuellement le graphe des points expérimentaux et celui de la fonction choisie. Une telle procédure demande beaucoup d'expérience et est très arbitraire. Il est donc préférable d'utiliser des procédures d'ajustement non-linéaire. La procédure utilisée ici est celle de la méthode des moindres carrés, qui consiste à minimiser le critère suivant :

$$SS = \sum_{j=1}^k (g_t(h_j) - g_e(h_j))^2 \quad \text{où } k \text{ est le nombre de points estimés du variogramme expérimental}$$

(g_e) et g_t est le variogramme théorique.

L'algorithme d'ajustement consiste à choisir les paramètres du modèle théorique de façon à minimiser SS. La sélection de modèle afin d'ajuster au mieux le variogramme expérimental au variogramme théorique est un problème difficile car bien que chaque modèle corresponde à un type de processus spatial défini, on dispose rarement d'arguments naturalistes pour choisir entre les différents modèles possibles. Aussi, on s'est basé sur des arguments d'ordre statistique, c'est à dire que l'on a choisi le modèle qui minimisait le plus la somme des moindres carrés. On a de plus privilégié les modèles simples parmi les modèles les plus utilisés, ie les modèles sphériques, linéaires.

3.3- Principales caractéristiques des variogrammes

Le modèle sphérique (Fig.3)

$$g(h) = C_0 + (C - C_0) \left[\frac{3h}{2a} - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right] \quad \text{pour } 0 < h < a$$

$$g(h) = C \quad \text{pour } h > a$$

La portée (a) du variogramme est la distance à partir de laquelle le variogramme se stabilise autour d'un palier (C). Cette distance est la limite à partir de laquelle un point n'a plus d'influence sur les autres. Il arrive souvent que $g(h)$ soit différent de 0 (C_0) quand $h=0$, ce phénomène est appelé *effet de pépité*. L'origine possible de l'effet de pépité est double :

- i. l'existence d'une microrégionalisation, dont la structure n'est pas accessible à l'échelle d'échantillonnage.
- ii. l'existence d'erreur de mesures, qui rajoutent un bruit aléatoire non corrélé spatialement aux mesures.

Schématiquement, on peut dire que le modèle sphérique correspond à un type de structure spatiale en tâches.

Sur le plan théorique, le palier est égal à la variance totale dans le cas de l'hypothèse de stationnarité. Ainsi le rapport effet pépité sur palier (C_0/C) indique la part de la variance non expliquée par la structure spatiale de la variable à l'échelle de mesure.

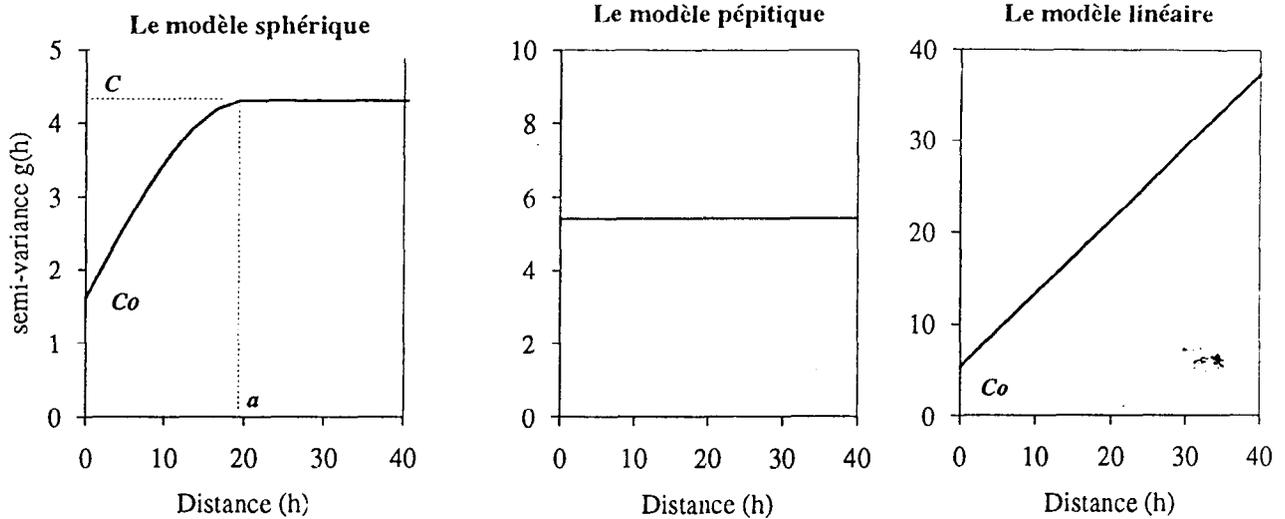


Figure 3 : Les modèles géostatistiques utilisés. (Co: pépite ; C: palier ; a: portée)

Le modèle linéaire (Fig.3)

$$g(h) = [(C-Co)/a] h + Co$$

Les variogrammes qui présentent un effet de pépite pur, $g(h) = Co$, sont des cas particuliers de modèle linéaire. Schématiquement, on peut dire que le modèle linéaire correspond à un type de structure spatiale en bandes.

4- Le krigeage

Le krigeage propose un estimateur de Z en x_0 , $Z^*(x_0) = \sum \lambda_i \cdot Z(x_i)$ avec x_i les points d'échantillonnage de Z ($\neq x_0$) et n le nombre de points d'échantillonnage utilisé pour l'estimation. Il s'agit donc d'un estimateur linéaire, pour lequel on cherche les λ_i qui fournissent la meilleure estimation possible de $Z(x_0)$. Ce qui se traduit par

- (1) $E[Z^*(x_0) - Z(x_0)] = 0$
- (2) $\text{Var} [Z^*(x_0) - Z(x_0)]$ minimale.

La condition (1) se traduit par $\sum \lambda_i = 1$.

La condition (2), en sachant que $g(x_i, x_j) = 1/2 E[(Z(x_i) - Z(x_j))^2]$, aboutit à :

$$\text{Var} [Z^*(x_0) - Z(x_0)] = - \sum \sum \lambda_i \lambda_j \cdot g(x_i - x_j) + 2 \sum \lambda_i \cdot g(x_i - x_0)$$

i et j varient respectivement de 1 à n et sont tels que $x_i \neq x_0$ et $x_j \neq x_0$. En exprimant que la variance d'erreur doit être minimale on obtient un système de n équations dont les inconnues sont les λ_i . Ce système est dit système de krigeage, sa résolution fournit les λ_i optimaux.

En observant l'expression de la variance d'erreur, on en déduit quelques caractéristiques :

- la variance d'erreur est indépendante des valeurs de Z.
- la variance d'erreur dépend de la distance entre les points d'observation et le point à estimer. Par conséquent, elle dépend de la structure de l'échantillonnage.
- si la corrélation entre les points d'observations est forte, la variance d'erreur augmente. Ceci permet de tenir compte d'éventuelles redondances d'information dans l'échantillonnage.

Le krigeage permet d'estimer en tout point la valeur de Z et la variance d'erreur associée.

RESULTATS

I - Variabilités des profondeurs et granulométries du sol

I - 1 - Profondeurs

La profondeur totale, jusqu'à l'horizon d'altération, du sol de la prairie est de 70 à 80 cm en moyenne (Tab.1), la variance étant très élevée, la dispersion autour de cette valeur moyenne est grande. La profondeur totale du sol varie de 40 à plus de 100 cm. L'étude géostatistique montre que la variable "*profondeur totale du sol*" a une variabilité spatialement structurée. Le variogramme des profondeurs totales du sol est de modèle linéaire. L'effet pépité ne représente que 15,4% de la variance totale (Tab.1), l'erreur de mesure et la variabilité locale sont donc réduits. La variabilité observée de la profondeur du sol est alors structurée spatialement dans une large proportion. (Tab.1 et Fig.4, Annexe 2).

Tableau 1 : Profondeur totale et granulométrie de la parcelle

	Profondeur totale du sol (cm)	Argile + Limons fins (%)
moyenne	77,54	70,19
variance	612,93	24,81
modèle	linéaire	sphérique
pépité	100	2,2
portée (m)	40	22
palier	650	5,9
% pépité/palier	15,4	37,3

I - 2 - Granulométrie

Nous n'avons étudié la granulométrie qu'en surface (0-10 cm). La texture du sol sur l'ensemble de la prairie est argileuse. La teneur en argile plus limons fins (A+Lf), centrée autour de 70 % a une faible variance (Tab.1). Bien que réduite, la variabilité de la texture est structurée spatialement (Tab.1 et Fig.5), le variogramme est de modèle sphérique, et la part de la variance totale expliquée par la dépendance spatiale (100-%pépité/palier) est de 63% (Annexe 2).

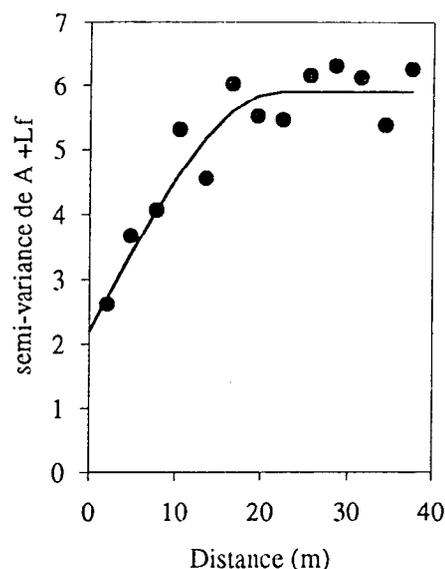
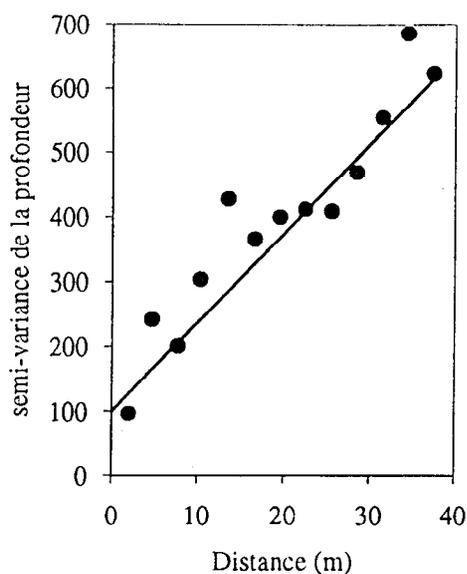


Figure 4 : Variogramme de la profondeur totale du sol

Figure 5 : Variogramme de la teneur en A + Lf à 0-10 cm

II - Variabilités des teneurs en carbone organique

II - 1 - Les teneurs moyennes en Corganique (voir le tableau 2)

Les tests statistiques d'analyse de la variance et de comparaisons de moyenne (Anova + Fischer P-LSD) montrent qu'il y a un effet date et un effet profondeur sur les teneurs en C. Pour une profondeur donnée, les teneurs en C augmentent significativement dans le temps, et, pour un temps donné, les teneurs en C diminuent significativement avec la profondeur de prélèvement.

Tableau 2 : Moyenne (m) et variance (v) des teneurs en C (mg/g de sol sec) de la parcelle aux différents temps et à chaque profondeur.

Date	Profondeur							
	0-10 cm		10-20 cm		20-30 cm		0-30 cm	
	m	v	m	v	m	v	m	v
T0	16,3 a	2,6	14,8 a	2,6	12,9 a	4,2	14,6 a	2,0
T1	16,3 a	3,8	14,3 a	1,7	13,2 a	3,8	14,6 a	1,8
T2	17,1 b	3,3	14,2 b	2,5	12,9 a	6,1	14,7 a	2,1
T3	19,7 c	7,8	17,4 b	5,1	15,3 b	4,1	17,4 b	3,0

a, b, c différence significative entre moyenne (test Anova, P-LSD Fischer à $p = 0,05$)

Effet date

L'augmentation des teneurs en C dans le temps est significative dès la seconde année à 0-10 cm (16,3 mgC/g sol à T0 et T1 ; 17,1 mgC/g sol à T2 ; 19,7 mgC/g sol à T3). Mais elle n'est significative que la troisième année pour 10-20 cm et 20-30 cm (Tab.2). Ce n'est donc qu'au bout de trois ans que l'entrée de C provenant de *D.decumbens* est significative et contribue à l'augmentation du stock organique sur l'ensemble du profil (0-30 cm).

Effet profondeur

Les teneurs en C diminuent en profondeur (Tab.2), les profils ne sont pas homogènes sur 0-30 cm. De plus, les augmentations dans le temps des teneurs en C sont plus élevées en surface (+3,6 mgC/g de sol à 0-10 cm) qu'en profondeur (+2,3 mgC/g de sol à 20-30 cm) (Fig.6).

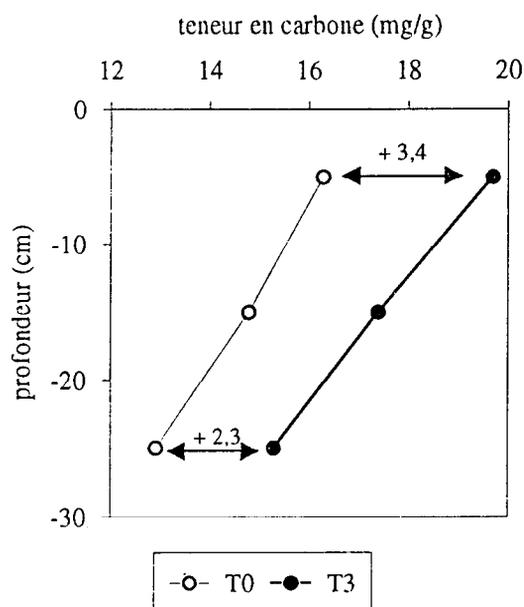


Figure 6 : Evolution du profil de carbone

II - 2 - Evolution au cours du temps de la variance des teneurs en carbone

Le tableau 2 montre, pour la couche 0-10 cm, une augmentation au cours du temps de la variance des teneurs en C. Les histogrammes de distribution (Fig.7) des populations illustrent la plus grande dispersion des teneurs autour d'une valeur moyenne dès la première année de restauration. A T1, la dispersion des teneurs autour de la valeur moyenne est faible de l'ordre de +/- 1 mgC/g sol. En revanche, à T3, l'étalement des teneurs en C est due à des différentes intensités d'accroissement de teneurs en C d'un point prélevé à un autre.

La couche de sol 10-20 cm montre une plus tardive augmentation de la variance des teneurs en C au cours du temps, seulement à T3.

Pour la couche 20-30 cm, la variance est plus élevée à T2 qu'aux autres dates (T0, T1 et T3), ceci est due à de très faibles teneurs en C à T2. L'augmentation de la variance des teneurs en C au cours du temps est moins nette que dans les couches de surface.

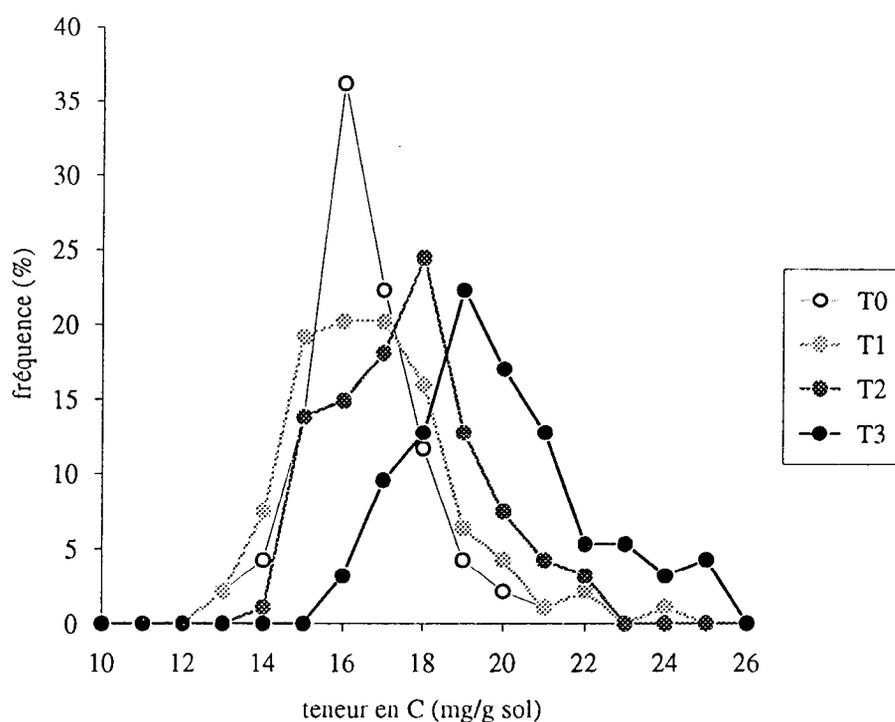


Figure 7 : Courbe de distribution des teneurs en C à 0-10 cm.

Accroissements du stock organique sous prairie en surface (0-10 cm)

Dans la couche de sol 0-10 cm, l'histogramme de distribution des accroissements (en mgC/g sol) des teneurs en C dans le sol individualise deux sous-populations d'effectifs semblables (Fig.8). Une première dont l'accroissement moyen est nul ou très faible (1 mgC/g sol de sol à 0-10 cm) et une seconde dont l'accroissement moyen est de 5 à 6 mgC/g sol de sol à 0-10 cm. Les accroissements ont des variances très élevées (Tab.3). Au sein de la prairie, il y a donc à court terme (3 ans) différentes intensités de stockage de C ; le phénomène étant plus net en surface (0-10 cm) qu'en profondeur (Annexe 3).

Tableau 3 : Moyenne (m) et variance (v) des accroissements de teneurs en C (mg/g de sol) de la parcelle aux différents temps (par rapport à T0) et à chaque profondeur.

Date	Profondeur							
	0-10 cm		10-20 cm		20-30 cm		0-30 cm	
	m	v	m	v	m	v	m	v
DT1	1,4	136,3	-3,2	97,9	4,3	446,8	0,17	87,608
DT2	6,9	186,0	-3,7	157,8	1,6	607,0	1,13	124,75
DT3	23,3	418,2	17,2	182,0	20,6	531,2	19,74	153,5

DTi : Accroissement de teneur en C entre Ti et T0

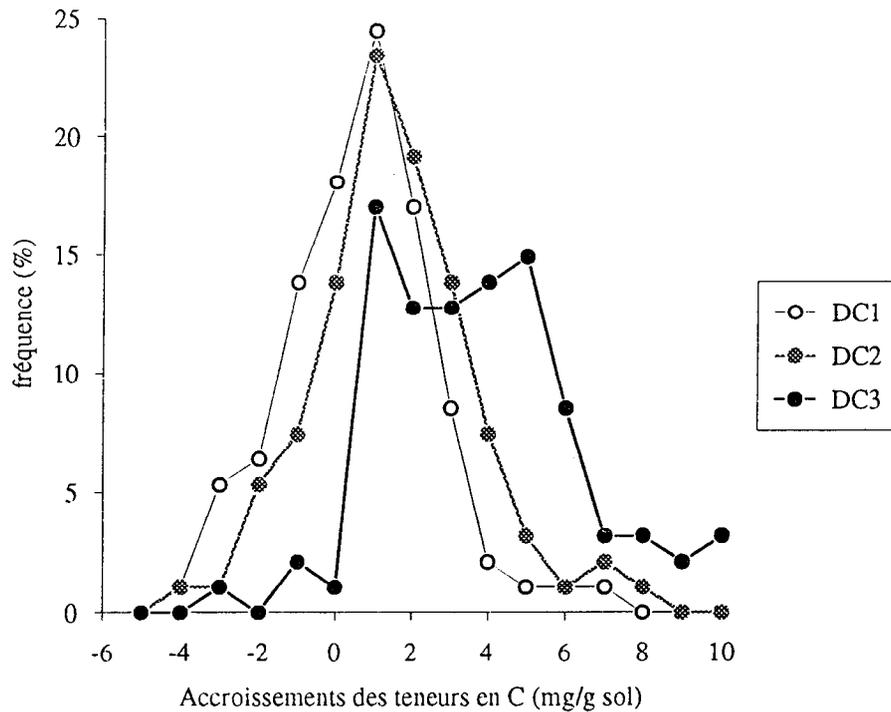


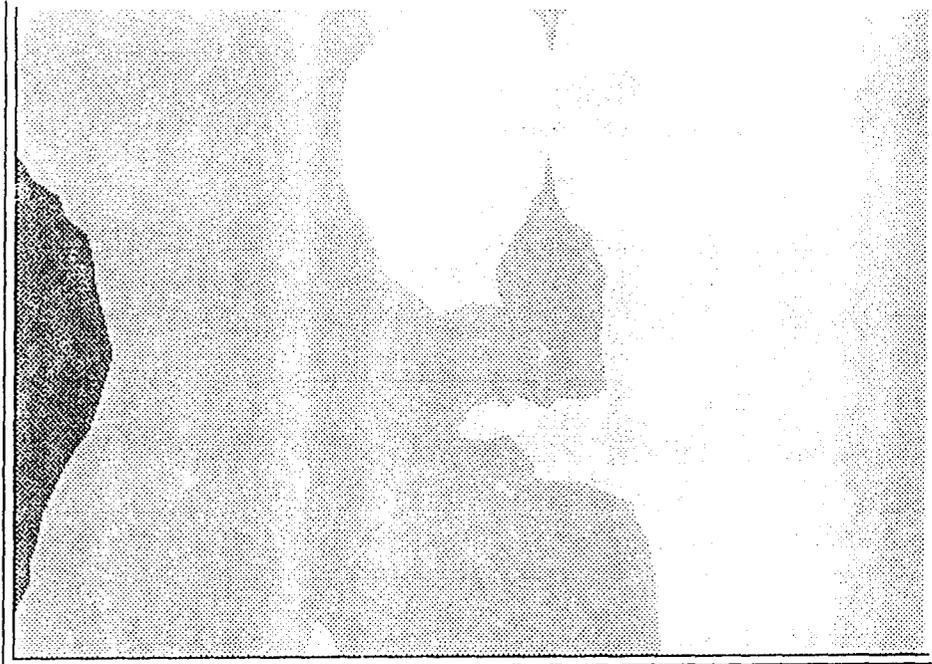
Figure 8 : Courbe de distribution des accroissements des teneurs en C à 0-10 cm.

II - 3 - Structure spatiale des teneurs en Corganique

Les teneurs en C sont, quelles que soient la date et la profondeur considérées, structurées spatialement à l'échelle de l'échantillonnage.

Couche de sol 0-10 cm (Tab.4 et Fig.9)

Les modèles des variogrammes sont tous linéaires, la distribution générale des différentes teneurs en C est en "bandes" (Fig.10). Néanmoins, les caractéristiques de la structure spatiale des teneurs en C se modifient au cours du temps. La contribution de l'effet pépité à la variance totale augmente avec l'installation de la prairie de 48 à 77%. Rappelons que l'effet pépité représente l'erreur de mesure (supposée identique pour chaque prélèvement) et la microvariabilité, dont la structure spatiale est inaccessible à l'échelle d'échantillonnage utilisée (pas de 2-3 m). Son augmentation illustre donc la plus forte variabilité locale des teneurs en carbone lors du développement de la prairie.



T0



T3

Echelle : 6 m

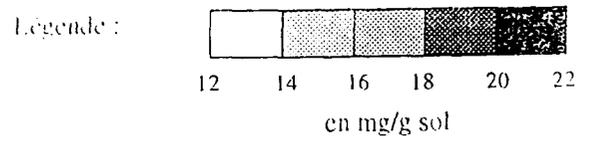


Figure 10 : Cartes des teneurs en carbone, à 0-10 cm, aux temps T0 et T3

Tableau 4 : Caractéristiques principales des variogrammes de la teneur en C aux différentes dates et aux différentes profondeurs, pour la couche de sol 0-10 cm.

Dates	Caractéristiques des variogrammes					
	Modèle	Portée (m)	Palier	Pépite	Pépite/Palier (%)	R
T0	L	40	2,5	1,2	48	0,9
T1	L	40	2,5	1,4	56	0,9
T2	L	40	3,0	1,8	60	0,8
T3	L	40	5,7	4,4	77	0,8

L : modèle linéaire ; S : modèle sphérique ; R : coefficient de corrélation entre le variogramme expérimental et le variogramme théorique.

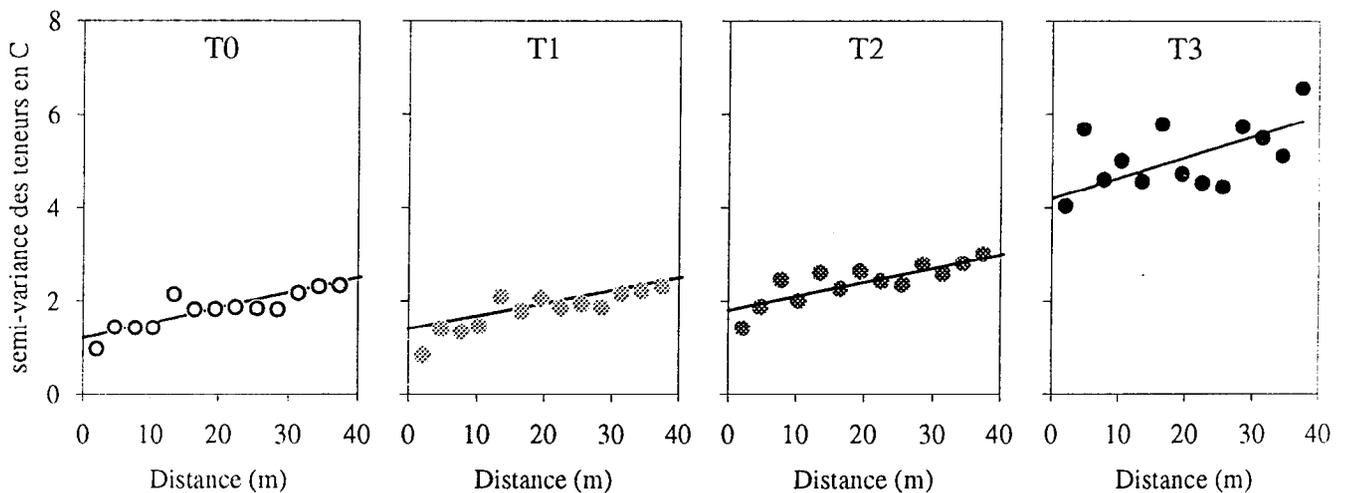
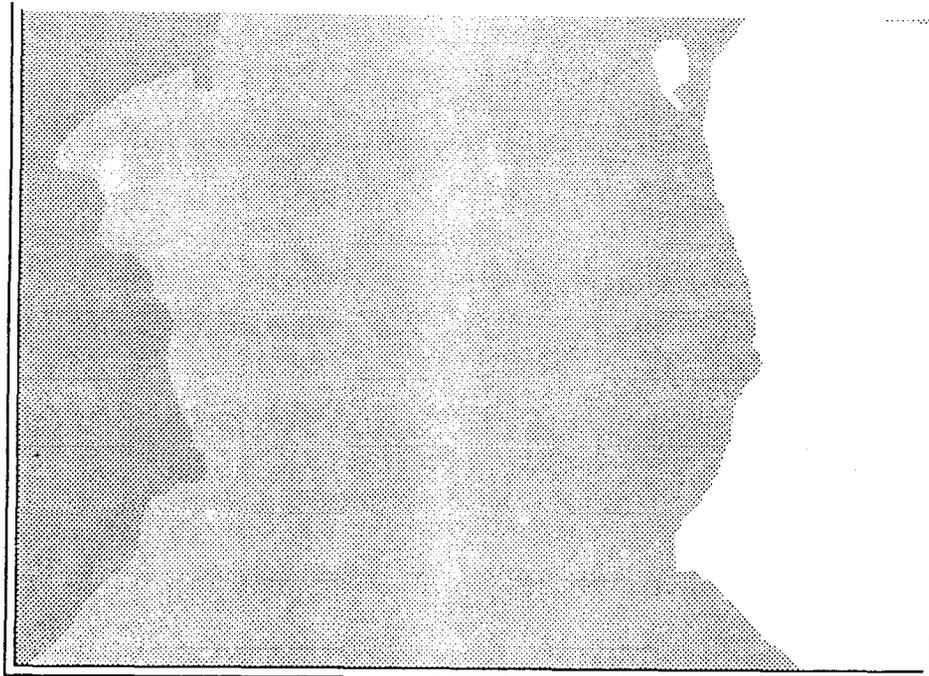


Figure 9 : Variogrammes de la teneur en C à 0-10 cm

Couche de sol 10-20 cm (Tab.5 et Fig.11)

Les modèles sont linéaires à T0 et à T1, et sphériques à T2 et à T3. La structure spatiale a donc évolué dans le temps ; d'une répartition des taux de C générale en "bandes" à T0 et T1, elle est passée à une distribution générale en "tâches" (Fig.12).

A T0 et T1, la structure spatiale explique 50% environ de la variabilité des teneurs en C. A T3, la variabilité au pas de 3 à 5 m est nettement plus faible qu'aux pas supérieurs à 6 m (Fig.). Là encore, comme pour la couche 0-10 cm, il y a augmentation de la microvariabilité à T3 ; elle est, dans ce cas, à une échelle plus grande (> 5 mètres). Les teneurs en C après trois ans ont alors, à 10-20 cm, un patron de distribution en petites tâches de 3-5 m d'envergure environ (Fig.12).



T0



T3

Echelle : 6 m

Légende :

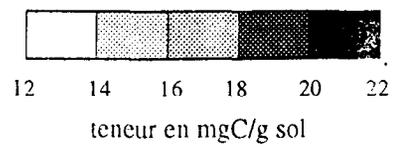


Figure 12 : Cartes des teneurs en carbone, à 10-20 cm, aux temps T0 et T3

Tableau 5 : Caractéristiques principales des variogrammes de la teneur en C aux différentes dates et aux différentes profondeurs, pour la couche de sol 10-20 cm.

Dates	Caractéristiques des variogrammes					
	Modèle	Portée (m)	Palier	Pépite	Pépite/Palier (%)	R
T0	L	40	2,3	1,5	65	0,8
T1	L	40	1,6	0,8	50	0,9
T2	S	25	2,4	1,0	42	0,8
T3	S	10	4,2	1,2	29	0,8

L : modèle linéaire ; S : modèle sphérique ; R : coefficient de corrélation entre le variogramme expérimental et le variogramme théorique.

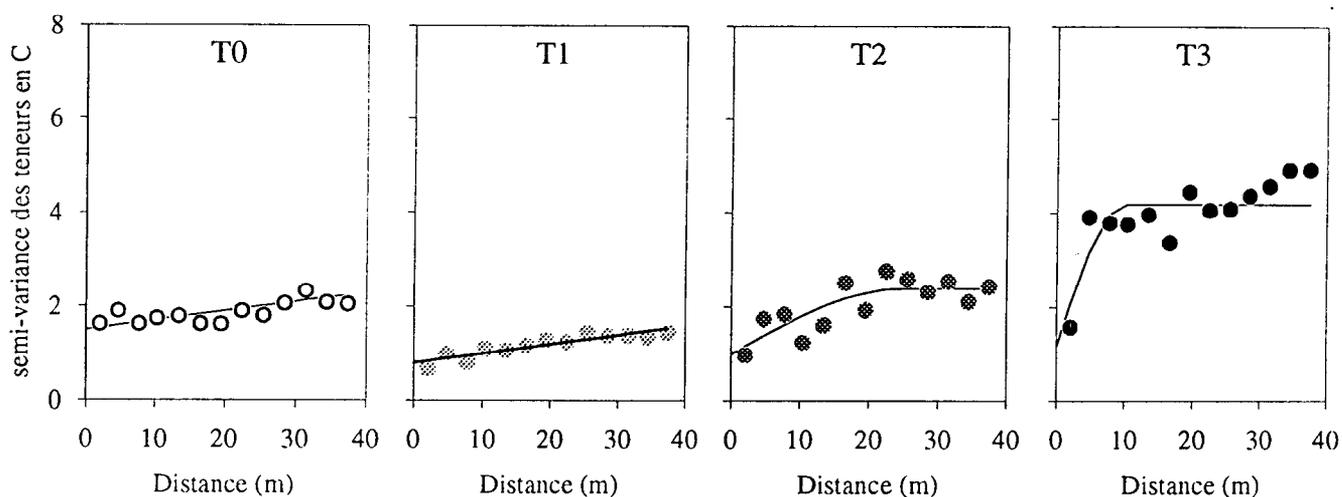


Figure 11 : Variogrammes de la teneur en C à 10-20 cm

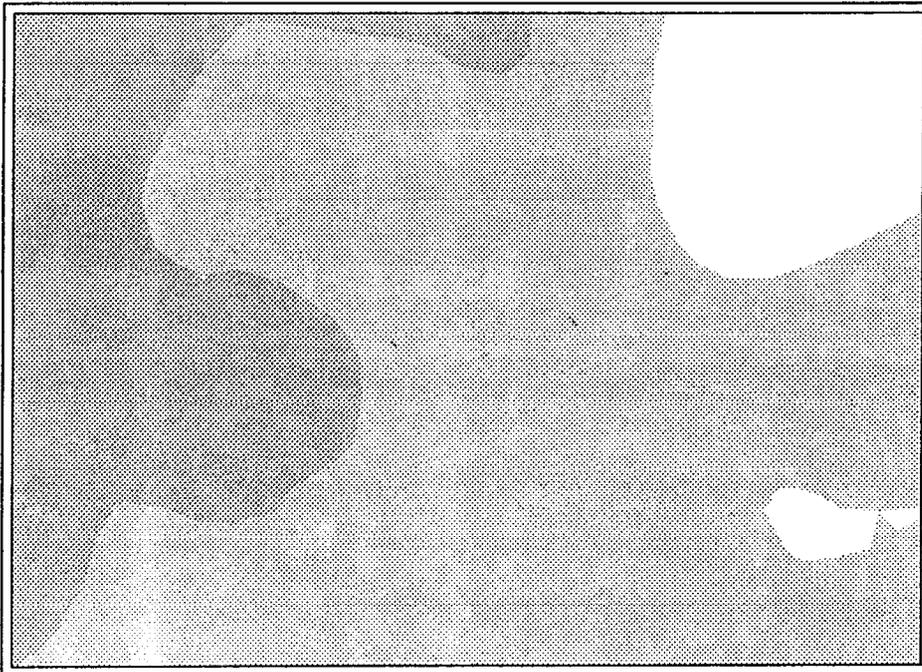
Couche de sol 20-30 cm (Tab.6 et Fig.13)

Les modèles des variogrammes sont sphériques, excepté à T2. La répartition spatiale des teneurs en C en "tâches" est cependant peu visible sur les cartes (Fig.14).

L'effet pépite augmente légèrement et la part de variabilité des teneurs en C expliquée par la structure spatiale diminue faiblement avec le temps. Le variogramme des teneurs en C à T2 est particulier, les valeurs de semi-variance sont en effet très élevées (Tab.6). Cette forte variabilité est due à de très faibles valeurs de teneurs en C par rapport aux autres dates (T0, T1 et T3). Ces faibles valeurs sont rencontrées uniquement, et de manière isolée en quelques points (n=7) dispersés dans la parcelle. Leur suppression du fichier de données conduit à un variogramme proche de celui de T3 (Fig.15).



T0



T3

Echelle : 6 m

Légende :

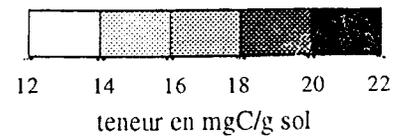


Figure 14 : Cartes des teneurs en carbone, à 20-30 cm, aux temps T0 et T3

Tableau 6 : Caractéristiques principales des variogrammes de la teneur en C aux différentes dates et aux différentes profondeurs, pour la couche de sol 20-30 cm.

Dates	Caractéristiques des variogrammes					
	Modèle	Portée (m)	Palier	Pépite	Pépite/Palier (%)	R
T0	S	14	3,3	1,4	42	0,7
T1	S	20	3,8	2,1	55	0,8
T2	L	40	6,4	3,3	52	0,9
T3	S	30	3,8	2,0	53	0,8

L : modèle linéaire ; S : modèle sphérique ; R : coefficient de corrélation entre le variogramme expérimental et le variogramme théorique.

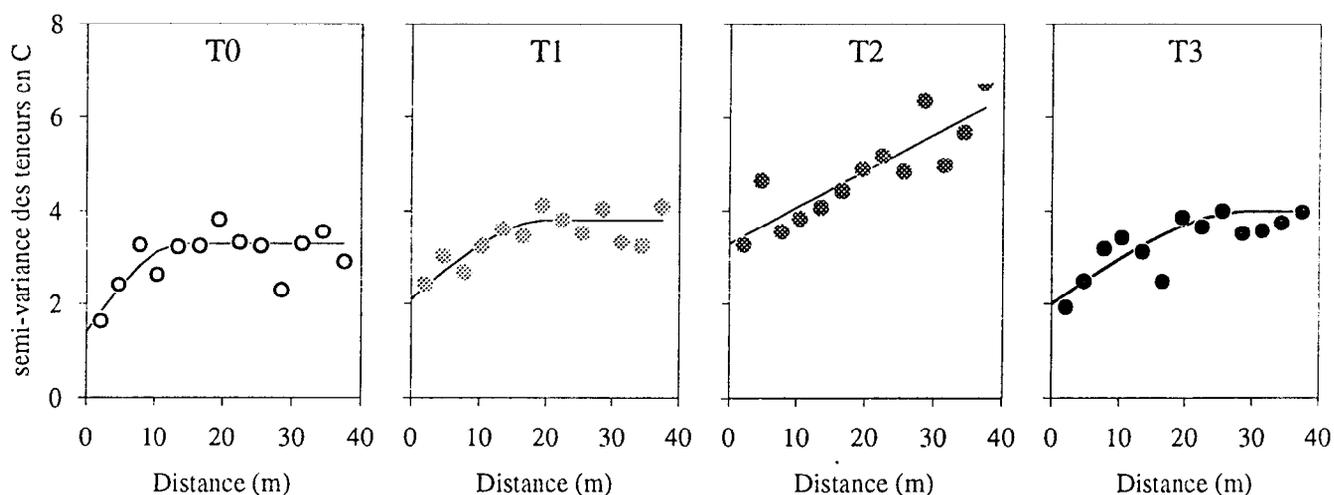


Figure 13 : Variogrammes de la teneur en C à 20-30 cm

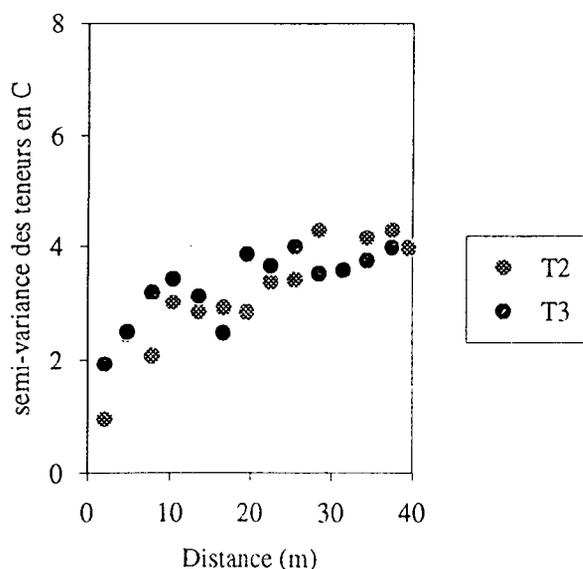


Figure 15 : Variogramme de la teneur en C à T2 et T3 à 20-30 cm

III - Variabilités de la qualité de la matière organique (MO)

Pour de nombreux auteurs (ref, Feller, 1994), le rapport C/N reflète la qualité de la MO, une faible valeur du rapport reflétant une MO davantage transformée et décomposée qu'une valeur élevée. Ainsi, la figure 16 permet de préciser la qualité de la MO stockée dans le sol aux différentes profondeurs et aux différentes dates.

III - 1 - Rapport C/N moyen

Tout comme les teneurs en C, le rapport C/N est plus élevé en surface qu'en profondeur (Tab.7). De même, son augmentation dans le temps entre T0 et T3 est plus forte en surface (+ 0.7 à 0-10 cm) qu'en profondeur (+ 0.37 à 20-30 cm) (Fig. 16).

En surface, la première (T1) et la deuxième année (T2) d'installation de la prairie, les rapports C/N ne sont pas significativement différents de celui de T0 ; en revanche, en profondeur, à 10-20 et 20-30 cm, les rapports C/N à T1 et T2 sont significativement plus faibles qu'à T0. La diminution du rapport C/N est due soit à une diminution des teneurs en C (à 10-20 cm) et à des teneurs en N constantes, soit à une augmentation des teneurs en N et à des teneurs en C constantes (à 20-30 cm). Bien que les variations de C/N à T1 et T2 en profondeur soient statistiquement significatives, elles sont très faibles et difficilement interprétables.

-la diminution à 10-20 cm n'est que de 0,3 unité.

-la diminution à 20-30 cm est due à une augmentation de 0,2 mgN/g sol. L'augmentation de 15% de la teneur en N à T1 n'a pu être expliquée, la faible fertilisation azotée (100 kgN.ha⁻¹) ne pouvant expliquer cette valeur élevée.

Après trois ans de prairie, parallèlement à l'augmentation des teneurs en C, le rapport C/N augmente de 0.8 à 0.9 unités de T2 à T3 (Tab.7).

Tableau 7 : Moyenne (*m*) et variance (*v*) des rapports C/N de la parcelle aux différents temps et à chaque profondeur.

Date	Profondeurs							
	0-10 cm		10-20 cm		20-30 cm		0-30 cm	
	<i>m</i>	<i>v</i>	<i>m</i>	<i>v</i>	<i>m</i>	<i>v</i>	<i>m</i>	<i>v</i>
T0	10,4 a	0,6	10,0 a	0,3	9,8 a	0,4	10,1 a	0,15
T1	10,3 a	0,3	9,7 b	0,2	8,7 b	0,5	9,5 b	0,13
T2	10,2 a	0,5	9,8 b	0,2	9,4 c	0,4	9,8 c	0,15
T3	11,1 b	0,4	10,5 c	0,4	10,2 d	0,5	10,6 d	0,15

a, b, c, d différence significative entre moyenne (test Anova, P-LSD Fischer à $p = 0,05$)

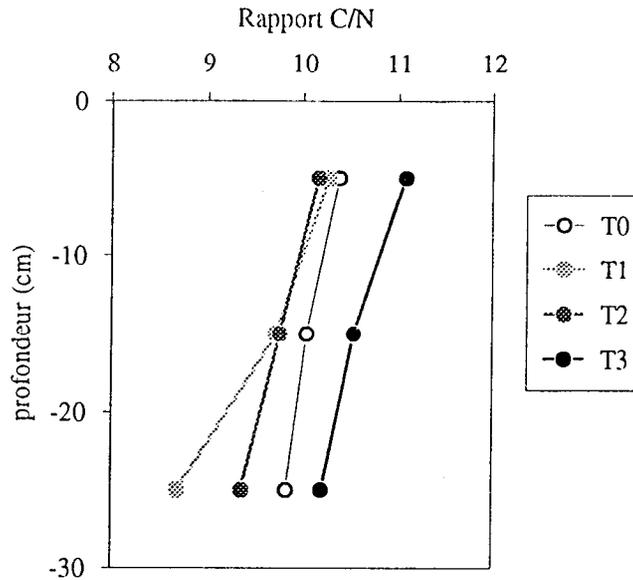


Figure 16 : Profils des rapports C/N

III - 2 - Evolution au cours du temps de la variance du rapport C/N

La variance de C/N est réduite et n'évolue pas dans le temps. Les distributions du rapport C/N sont centrées sur une unité (Annexe4).

III - 3 - Structure spatiale du rapport C/N

Excepté à 20-30 cm, les variogrammes des rapports C/N présentent des contributions de l'effet pépite à la variance totale forte. La structure spatiale explique donc peu, de l'ordre de 20 à 30 %, la variabilité des rapports C/N (Annexe 5).

IV - Variabilités des densités de vers de terre

La population de vers de terre est essentiellement composée d'une espèce de ver de terre tropical, endogée et polyhumique, *Polypheretima elongata* (Megascolecidae). A T2 et T3, des vers de terre d'une espèce encore indéterminée et de biomasse très faible ont été dénombrés. Du fait de leur faible biomasse et de leur caractère épigé, on estimera que leurs actions sur le sol sont négligeables.

IV - 1 - Evolution de la densité de population de *P.elongata* au cours du temps

(voir tableau 8)

La population à T0 de *P.elongata* est non nulle, il y a sous culture une population relicte. Après une augmentation à T1, la population diminue à T2 jusqu'à une valeur proche de celle existante en début d'installation de prairie (11,29 à T2, 7,32 ind.m⁻² à T0). Les densités augmentent ensuite brutalement à T3.

A T1 et T3, l'augmentation des juvéniles (vers de terre de petite taille dont la caractérisation a été effectuée sur des critères morphologiques et non physiologiques) et des

cocons est en grande partie responsable de l'augmentation de la population de vers de terre. Ainsi, la proportion de vers de terre juvéniles et de cocons dans la population totale augmente au cours du temps, de 30% à T0 à 72% à T3 pour les juvéniles ; et de 0% à T0 à 13% à T3 pour les cocons.

Tableau 8 : Moyenne (m) et variance (v) des densités de vers de terre, *P.elongata*(individus/m²)

Date	Densité de <i>P.elongata</i>							
	Population entière		Adulte		Juvenile		Cocon	
	m	v	m	v	m	v	m	v
T0	7,3	173,9	5,1	57,4	2,2	105,1	0	0,0
T1	24,1	723,4	6,6	141,4	13,5	363,5	40,1	73,9
T2	11,3	270,3	3,5	58,4	5,3	110,0	2,4	32,2
T3	47,1	4283,8	6,6	128,0	34,0	4141,3	6,5	123,0

IV - 2 - Structure spatiale des densités de *P.elongata*

A T0, le variogramme (Fig.17) présente un effet pépite pur. La population relictuelle de *P.elongata* sous culture maraîchère intensive est donc très faible et non structurée dans l'espace.

Les variogrammes à T1 et T2 sont pépitiques voire chaotiques. En revanche à T3, malgré quelques points aberrants (Fig.17), ils peuvent être considérés linéaires. Dans tous les cas, l'augmentation de la densité des vers de terre s'accompagne d'une augmentation de la microvariabilité locale (pépite) (Fig. 17).

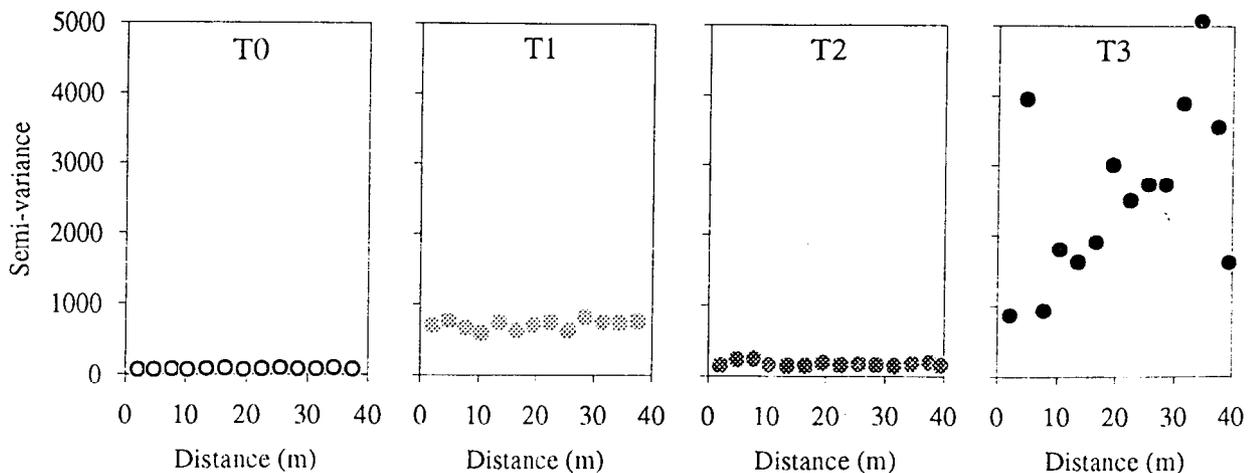


Figure 17 : Variogrammes de la densité totale de *P.elongata*

V - Corrélation entre les différentes variables étudiées

Nous comparerons d'abord, les variables "teneur et accroissement en C" avec les variables édaphiques, "A+Lf", "profondeur totale du sol" et "teneur en C initiale" (Tab.9) ; puis, les variables "teneur et accroissements en C" et "densité de vers de terre" (Tab.10).

V - 1 - Teneur et accroissements en C, et, variables édaphiques

En surface (0-10 cm et 10-20 cm), il n'y a pas de corrélation entre teneur en C et teneur en A+Lf. A 20-30 cm de profondeur, teneur en C et teneur en A+Lf sont corrélés à T0, néanmoins la corrélation n'existe plus à T3.

Quelque soit la couche de sol considérée, teneur en C et profondeur totale du sol sont corrélés en début d'installation de la prairie (T0, T1, T2), ce n'est plus le cas en surface (0-10 cm) à T3. Exceptée la faible corrélation négative des accroissements des teneurs en C avec la profondeur totale du sol à 0-10 cm, les accroissements des teneurs en C ne sont pas corrélés à la granulométrie, et à la profondeur totale du sol.

Seule la teneur initiale en C est corrélée à l'accroissement sur 3 ans du stock organique aux couches 0-10 et 20-30 cm.

Tableau 9a : Tableau de corrélation à 0-10 cm

	P	A+Lf	CT0	CT3
P	1			
A+Lf	0,06	1		
CT0	0,47 **	-0,02	1	
CT3	-0,02	0,06	0,12	1
DC	-0,27 **	0,07	-0,42 **	0,85 **

Tableau 9b : Tableau de corrélation à 10-20 cm

	P	A+Lf	CT0	CT3
P	1			
A+Lf	-0,18	1		
CT0	0,43 **	-0,03	1	
CT3	0,34 **	0,08	0,57 **	1
DC	0,04	0,12	-0,17	0,71 **

Tableau 9c : Tableau de corrélation à 20-30 cm

	P	A+Lf	CT0	CT3
P	1			
A+Lf	0	1		
CT0	0,4 **	-0,23 *	1	
CT3	0,43 **	-0,09	0,39 **	1
DC	0,03	0,13	-0,55 **	0,55 *

P : Profondeur totale du sol ; A+Lf : Argile + Limons fins ; CT0 : Teneur en C à T0 ; CT3 : Teneur en C à T3 ; DC : Accroissement des teneurs en C entre T0 et T3. * significatif à p=0,05 ; ** significatif à p=0,01

V - 2 - Teneur et accroissements en C, et, densité de vers de terre

Le tableau 10 présente les coefficients de corrélation entre les densités de vers de terre et les teneurs en C à 0-30 cm. Les corrélations sont faibles lorsqu'elles existent et, soit entre deux dates différentes et souvent éloignées l'une de l'autre (densité de vers de terre à T2 et teneur en C à T0 par exemple), soit prenant en compte la très faible densité de *P.elongata* à T2, elles sont difficilement interprétables. Les corrélations entre densité de vers de terre à T3 et teneur ou accroissement en C à T2 sont négativement corrélés.

Tableau 10 : Tableau de corrélation entre densité de *P.elongata* et teneur en C (0-30 cm).

	CT0	CT1	CT2	CT3
VT0	0,14	-0,07	-0,13	0,04
VT1	-0,10	0,01	0,11	-0,05
VT2	0,26 *	0,21 *	0,31 **	0,18
VT3	0,43	-0,12	-0,23 *	0,14

VTi : Densité de *P.elongata* au temps i ; CTi : Teneur en C au temps i.

* significatif à p =0,05 ; ** significatif à p =0,01

DISCUSSION

I - Reconstitution du stock organique

I - 1 - Evolution au cours du temps du stock de Corganique

Stockage moyen du Corganique

Lors du changement d'un système de culture intensif, maraîcher ou céréalier, vers un système prairial, le sol s'enrichi en C (Angers, 1992 ; Dalal *et al.*, 1995). Les apports de matériel végétal plus important dans le cas des prairies expliquent en grande partie ce résultat (Dalal *et al.*, 1995). L'enrichissement du sol en C n'est significatif que la 2^{ème} ou la 3^{ème} année après la mise en prairie, aussi bien en milieu tempéré (Angers, 1992) qu'en milieu tropical (Talineau *et al.*, 1980), et est plus intense en surface qu'en profondeur (Picard, 1976 ; Dalal *et al.*, 1995). Ceci s'explique à la fois par des apports de matériel végétal plus importants en surface (Picard, 1976) et par le non travail du sol (Beare *et al.*, 1994, Perfect et Kay, 1990). Des mesures de biomasses racinaires (Fig.18) sur la parcelle d'expérimentation à T1 (Chotte, *comm. pers.*) et T3 (Chevallier, 1995) montrent, d'une part une augmentation de la biomasse racinaire au cours du temps et d'autre part des valeurs plus élevées en surface qu'en profondeur. Les travaux de Picard (1976) sur les dynamiques racinaires de *Panicum maximum* dans quelques prairies de Côte d'Ivoire montrent de même une augmentation progressive de la masse racinaire les 2 premières années (les 3 premières pour Nye (1958) cité par Picard, 1976) de mise en prairie puis une stabilisation au même niveau que dans une prairie âgée.

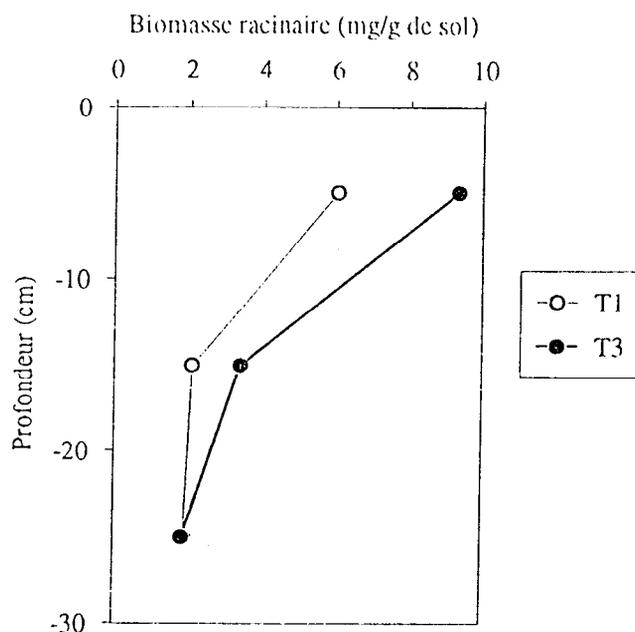


Figure 18 : Evolution de la biomasse racinaire au cours du temps (D'après Chotte, comm.pers et Chevallier, 1995)).

Le temps de latence peut alors être interprété comme le temps d'installation de la prairie au cours de laquelle les apports végétaux sont encore insuffisants pour compenser les pertes de C par minéralisation. Lors de la mise en prairie après destruction de la forêt tropicale au Brésil, Choné *et al.* (1991) suggèrent cette même hypothèse. La quantité énorme de MO laissée par la forêt se minéralise rapidement les deux premières années ; mais au bout de 2 ans, la minéralisation est masquée par les apports prairiaux et la reconstitution du stock organique s'effectue progressivement (Fig. 19).

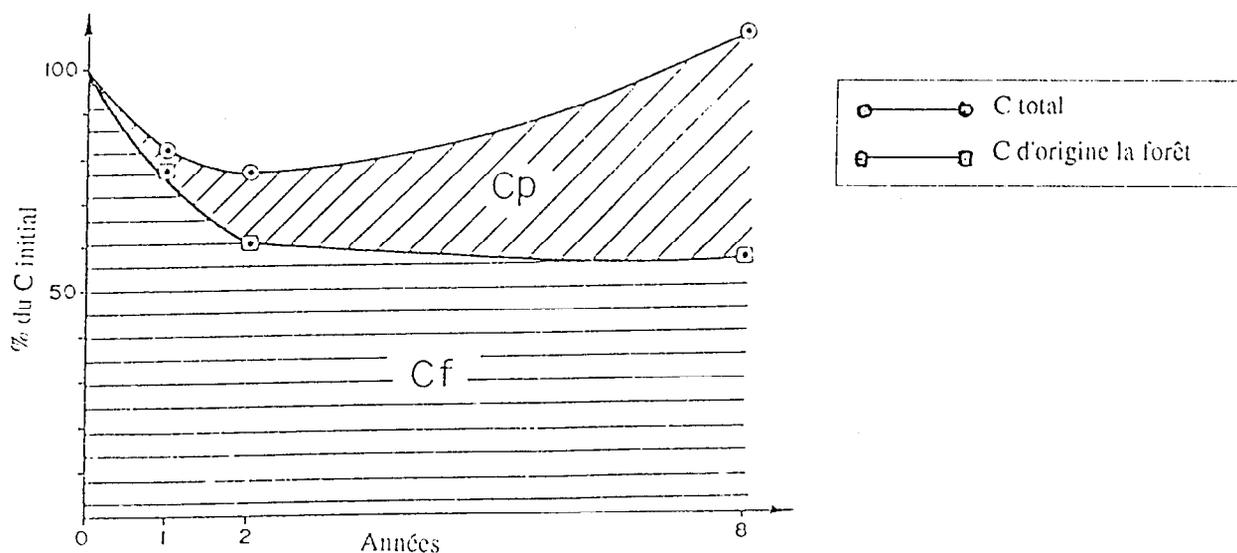


Figure 19 : Dynamique du C total du sol dans la couche 0-20 cm. Figure d'après Choné *et al.* (1991).

Cf : Carbone d'origine la Forêt ; Cp : Carbone d'origine la Prairie.

Dalal *et al.* (1995) sur des vertisols australiens observent des augmentations de teneurs en C dès la première année sur 0-2,5 cm. Pour des couches de sol plus profondes, 5-10 cm, l'enrichissement observé n'est pas significatif au bout de trois ans. Nos résultats sont en accord avec ceux d'Angers (1992) où sur des prairies de légumineuses (luzerne) au Québec, l'enrichissement en C après développement de la prairie est brutale. Ainsi à 0-10 cm, d'un enrichissement nul la première année, l'accroissement du taux de C, par rapport au taux initial, passe de + 0,9 tC.ha⁻¹ à + 3,7 tC.ha⁻¹ de la seconde à la troisième année. Angers (1992) décrit la reconstitution du stock organique sous prairie par une courbe de forme sigmoïde (Fig.20) dont le plateau est atteint dès la 4-5^{ème} année. La figure 20 montre qu'ici, un accroissement annuel, constant à partir de T2, et d'environ 18%, ie identique à celui mesuré entre T2 et T3, conduirait en 5 ans aux stocks moyens de 30 tC.ha⁻¹ rencontrés sous prairies âgées pour la couche 5-15 cm (Albrecht *et al.* 1992a).

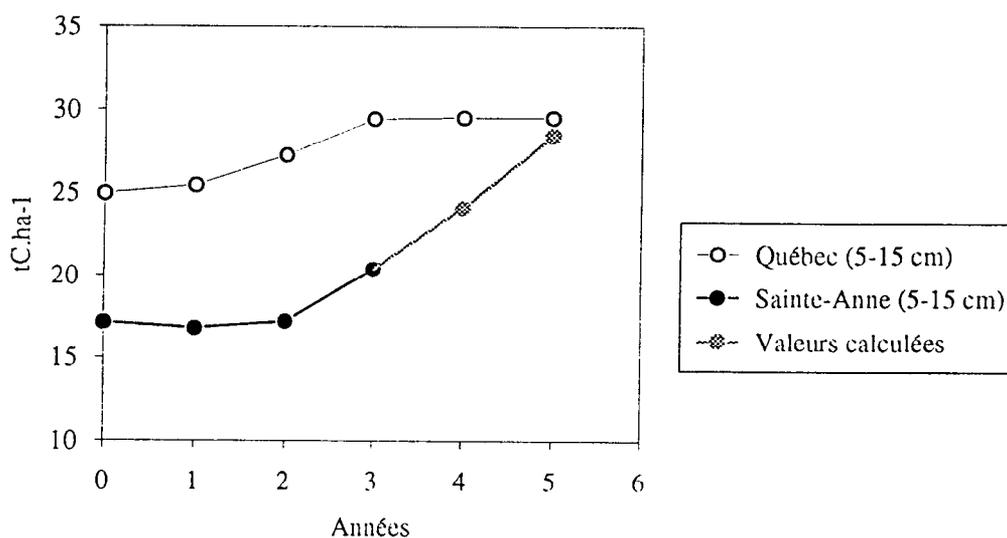


Figure 20 : Dynamique de reconstitution du stock organique sous prairie

Pour comparer, les résultats trouvés ici aux résultats d'autres auteurs, il était nécessaire de passer des teneurs en C (mgC/g de sol) aux stocks de C (tC.ha⁻¹) en tenant compte de la densité apparente (Da). Celle-ci a été estimée à 1,1, les prélèvements de chaque année ayant été effectués dans des conditions d'humidité voisines et de l'ordre de 20 %, valeur moyenne mesurée à T3 (Annexe 6).

Le stockage de C sur 3 ans, observé ici, est difficilement comparable à ceux rapportés dans la littérature (Tab.13) :

* Il est en effet, pour certains milieux, aussi bien tempérés que tropicaux, plus élevé (Wood *et al.*, 1991 ; Picard, 1976 ; Talineau *et al.*, 1976, Desjardins *et al.*, 1993) ; pour d'autres milieux, il est du même ordre de grandeur (Angers, 1992), voire de plus faible intensité (Choné *et al.*, 1991 ; Chotte, 1988). Le climat semble ne pas jouer énormément sur la quantité de C stocké.

* Plusieurs auteurs, dont Martel et Deschesnes (1976) et Elustondo *et al.* (1990) ont montré que l'augmentation du stock organique, suite à laquelle une culture à fort apports végétaux au sol, est plus importante dans un sol argileux que dans un sol sableux ou limoneux. Les différences de résultats avec Wood *et al.* (1991), Talineau *et al.* (1976) ou Desjardins *et al.* (1993) peuvent ainsi être expliquées en partie par les faibles teneurs en argile des parcelles

Tableau 13 : Différents niveaux de stockage à court ou moyen terme de Corganique sous prairie.

Milieux	Auteurs	Quantité stockée
Milieux tempérés		
Colorado (moyenne sur plusieurs sites)	Wood <i>et al.</i> (1991)	0,8 tC.ha ⁻¹ sur 0-5 cm, en 4 ans.
Québec sols argileux (A=47%)	Angers (1992)	4 gC.kg ⁻¹ si Da de l'ordre de 1,25 à 1,5 5-6 tC.ha ⁻¹ sur 5-15 cm, en 3 ans.
Milieux tropicaux		
Côte d'Ivoire sols ferrallitiques, sablo-argileux	Talineau <i>et al.</i> (1976)	4 à 7 tMO.ha ⁻¹ , soit environ 1,7 à 2,9 tC.ha ⁻¹ sur 0-25 cm, sur 2 ans.
Côte d'Ivoire sols ferrallitiques	Picard (1976)	5 à 12 tMO.ha ⁻¹ .an ⁻¹ soit 2,1 à 5 tC.ha ⁻¹ .an ⁻¹ principalement sur 0-25 cm.
Mexique entisol	Garcia-Oliva <i>et al.</i> (1994)	4 tMO.ha ⁻¹ soit 2 tC.ha ⁻¹ sur 0-6 cm en 3 ans.
Brésil oxisols (argileux)	Desjardins <i>et al.</i> (1993)	12,5 tC.ha ⁻¹ sur 0-20 cm, en 10 ans
Brésil oxisols (sablo-argileux)	Choné <i>et al.</i> (1991)	14 tC.ha ⁻¹ sur 0-20 cm en 2 ans. 45,8 tC.ha ⁻¹ sur 0-20 cm en 8 ans.
Australie vertisols	Skjemstad <i>et al.</i> (1994)	0,83 tC.ha ⁻¹ .an ⁻¹ 0,64 tC.ha ⁻¹ .an ⁻¹
Martinique vertisols	Chotte (1988)	11 tC.ha ⁻¹ sur 0-10 cm en 2 ans.
Martinique vertisols	<i>Ce travail</i>	9 tC.ha ⁻¹ sur 0-30 cm en 3 ans.

étudiées par ces auteurs. La nature du sol et en particulier la granulométrie semble donc influencer l'intensité du stockage de C (Feller, 1994).

* La fertilisation favorise la production végétale. Il est alors tentant d'attribuer une part des différences observées entre auteurs aux différentes fertilisations des essais expérimentaux. Toutefois, Chotte (1988) a observé une faible influence du taux de fertilisation sur la quantité de C stockée en deux ans par *D.decumbens* sur vertisol (Martinique).

* L'exploitation intensive, par fauche ou par pâturage, accélère le taux de renouvellement des racines (Picard, 1976). De plus, l'irrigation permet de s'affranchir de la saison sèche et d'obtenir une production régulière tout au long de l'année (Salette et Dumas, 1969). La vitesse de restauration du stock de C doit ainsi être plus rapide sous prairie exploitée où la productivité végétale est plus élevée, comme le montre la comparaison des résultats de Chotte (1988) à ceux trouvés ici. L'intensité du stockage du C dépend en partie de la conduite de la prairie adoptée.

Ces conclusions sont une illustration de l'importance de la texture du sol mais aussi de la conduite (fertilisation, et surtout du niveau d'exploitation) de la prairie sur la réhabilitation de terres dégradées.

Essai de bilan organique

Quelques mesures de biomasses racinaires de *D.decumbens* ont été réalisées à T0 et à T3 (Fig.18). Les valeurs obtenues sur 0-30 cm sont respectivement 11 tMS.ha⁻¹ et 16 tMS.ha⁻¹. Les passages, durant 5 jours, des moutons sont répartis régulièrement dans l'année tous les 35 jours soit à 9 passages par an. En estimant que la grande majorité de la biomasse racinaire meure à chaque passage des animaux (Picard, 1976), la quantité de racines apportées au sol puis les entrées de C dans le sol à T0 et T3 peuvent être évaluées :

Apport racinaire annuel :

* à T0 : 9 x 11 tMS.ha⁻¹

* à T3 : 9 x 16 tMS.ha⁻¹

La proportion de C dans le poids sec d'une racine de *D.decumbens* est estimé à 0,4 (Chevallier, 1995). Les apports annuels de C sont donc :

* à T0 : 9 x 11 x 0,4 = 40 tC.ha⁻¹

* à T3 : 9 x 16 x 0,4 = 58 tC.ha⁻¹

Soit l'équation simplifiée de bilan organique : *Entrées = Stockage + Pertes*. Le stockage à T1 est nul, entrées = pertes = 40 tC.ha⁻¹. Le stockage à T3 est de 9 tC.ha⁻¹, les pertes sont alors estimées à 49 tC.ha⁻¹ (58-9), soit un taux de minéralisation du C apporté de 84 %. Cette valeur est plus élevée que celles trouvées par Ayanaba et Jenkinson (1990) au Nigeria sur des racines de maïs marquées (78 % en un an). Cependant, de nombreuses approximations ont été faites, en particulier les apports de débris racinaires qui doivent être surestimés. Des mesures de biomasse racinaire annuelle, de même que la production d'exsudats racinaires permettront d'affiner le bilan organique présenté ci-dessus.

Différentes intensités de stockage

Il y a au sein de la parcelle différentes intensités de stockage de C ; les études statistiques, présentées dans les tableaux 10, montrent que granulométrie et profondeur totale du sol n'expliquent pas les différentes intensités de stockage. Relativement homogène et très argileuse, la texture de la parcelle n'influence pas sur le stockage de la C (Gonzalez et Zak, 1994). Par ailleurs, Salette et Dumas (1969) ont rapporté que la productivité de *D. decumbens*, responsable en grande partie de l'intensité du stockage organique, n'est pas influencée par la profondeur totale du sol. Néanmoins, on a remarqué que le stockage sur les trois années (DC3) est négativement corrélé à la profondeur totale du sol. De ce fait teneur et profondeur ne sont plus corrélés à T3 en surface comme c'est le cas à toutes autres dates et profondeurs. Ceci peut s'expliquer par l'ancienne occupation du sol. Un sol profond favorisait alors le développement des plantes en place et donc les apports organiques. Le stockage, négativement corrélé au teneur en C initiale, est donc plus important dans les zones où la teneur en C initiale est faible, zones correspondant aux profondeurs totales du sol les plus faibles. Granulométrie et profondeur totale du sol n'expliquent alors pas les différentes intensités de stockage.

En revanche, la restauration du stock organique de surface est négativement corrélée au stock organique initial. Les sites riches en C se restaurent moins vite que les sites plus pauvres. Ainsi, lorsque deux sous-populations, d'effectif semblable, sont distinguées par leur teneur initiale en C à 0-10 cm, la sous-population dont la teneur moyenne en C initiale était de 15,1 mgC/g sol a une restauration plus rapide que la sous-population dont la teneur moyenne en C initiale était de 17,5 mgC/g sol (Fig.21). A T3, les teneurs en C de ces deux sous-populations ne sont plus significativement différentes, elles sont toutes deux de l'ordre de 19,7 mgC/g sol (19,6 et 19,8 mgC/g sol, à 0-10 cm).

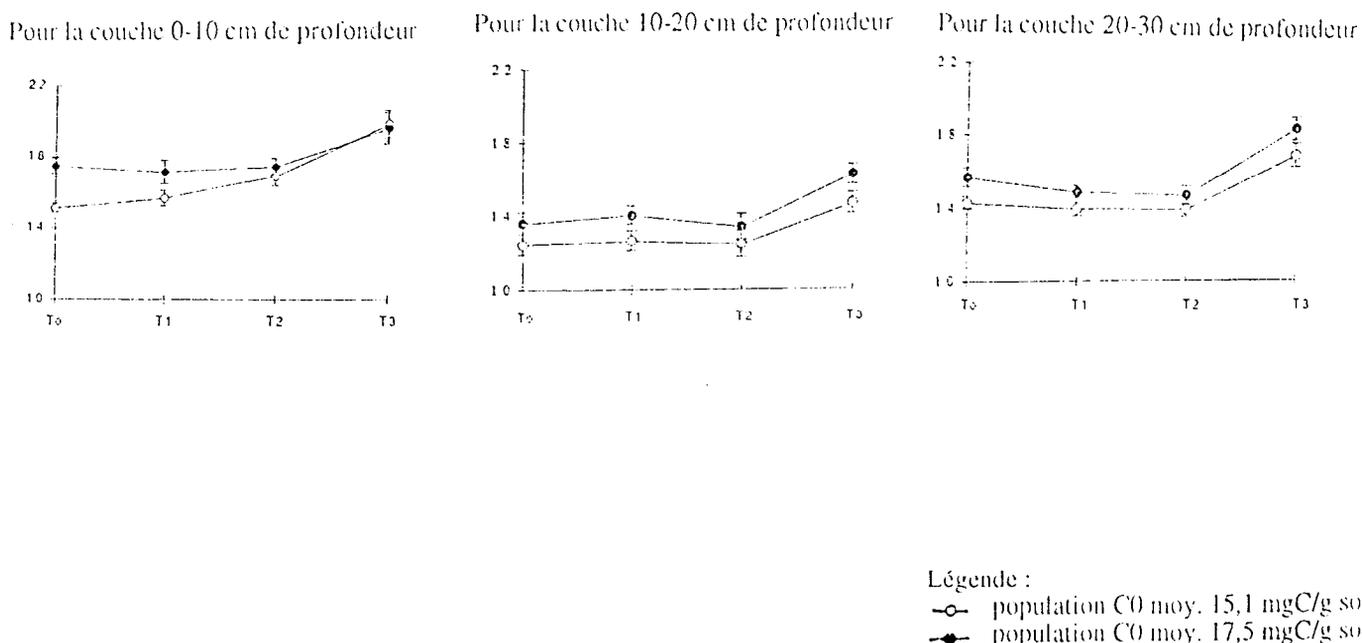


Figure 21 : Dynamique des teneurs en C de deux sous-classes de la population, d'effectif proche et établies selon leur teneur en C initiale.

Les "entrées" de C étant supposées globalement homogène sur l'ensemble de la parcelle, seul des différences de "sorties" de C peuvent expliquer ce résultat. deux hypothèses ont été envisagées puis discutées :

- * (1) Un transfert de C de la surface en profondeur dans les sites initialement riches en C.
- * (2) Une activité minéralisatrice plus intense dans les sites initialement riche en C.

La distinction de deux sous-populations et les différentes dynamiques de restauration associées ne sont effectives qu'en surface, en dessous de 10 cm le phénomène semble moins clair (Fig.21). A 10-20 cm, cette corrélation négative n'existe plus et bien qu'il y ait, à 20-30 cm, une corrélation négative entre taux initial de C et accroissement sur 3 ans, les accroissements entre les deux sous-populations ne sont pas significativement différentes, et les teneurs en C restent différentes durant les trois années d'installation de la prairie (Fig.21). Les teneurs en C des deux sous-populations restant distinctes à 10-20 et 20-30 cm durant les 4 années, l'hypothèse (1) d'un transfert de C de la surface vers les couches de sol profondes, les deux premières années de la mise en prairie sur les sites de forte teneur initiale en C, est donc insuffisante.

L'activité microbienne est souvent positivement corrélée au taux de C du sol (Ladd *et al.*, 1994, Singh et Singh, 1995). Ainsi, la teneur en C microbien est probablement plus élevée sous prairie que sous culture (Fraser *et al.*, 1994). De plus, certains auteurs (Helal et Sauerbeck, 1984 ; Ladd *et al.*, 1994) ont montré que les graminées pouvaient stimuler l'activité des décomposeurs de C. En supposant que les apports végétaux de *D.decumbens* sont indépendants du taux de matière organique initial du sol, on peut émettre l'hypothèse suivante : l'activité minéralisatrice est plus élevée dans les zones où le C est plus élevé. Du fait d'apports identiques mais de pertes par minéralisation plus élevées, la restauration des zones initialement riches en C est donc plus lente. Skjemstad *et al.* (1994) émettent, cependant avec réserve, la même hypothèse, lors de la comparaison de leurs sites n°1 et n°3 (Tab.13). Le site n°1, de plus faible teneur en C en début d'expérimentation stocke annuellement moins de carbone que le site n°3. Toutefois la grande variabilité des résultats et les différentes natures de sols entre les deux sites ne permettent pas de conclure. Une fois la prairie installée à T3, les apports végétaux sont suffisants pour compenser, voire même masquer les pertes par minéralisation. Les augmentations en C la troisième année sont alors du même ordre quelle que soit la teneur en C initial (Fig.21). Cependant, cette hypothèse reste à vérifier au delà de T3.

I - 2 - Evolution au cours du temps de la structure spatiale des teneurs en C

Trangmar *et al.* (1985) montrent qu'une modification de pratiques culturales change la structure spatiale de quelques caractéristiques telles que le pH du sol ou la croissance végétale. De même ici, la structure spatiale des teneurs en C se modifie au cours du temps (Fig.9, 11 et 13).

La prairie est un écosystème dont les caractéristiques peuvent être considérées à différentes échelles. L'individu "plante", qui concentre les nutriments et crée un environnement écologique particulier, est une échelle importante à prendre en compte pour comprendre la variabilité spatiale de l'écosystème. Ceci a été démontré en forêt (Vogt *et al.*,

1995) mais semble être applicable de la même façon sous prairie, en surface du sol. Smith *et al.* (1994) ont ainsi défini pour certaines graminées la notion d'îlot de fertilité. En forêt tropicale humide (Ste Lucie, Petites Antilles) Gonzalez et Zak (1994) ont montré que le patron d'organisation spatiale du C est lié à des facteurs biotiques tels que la végétation, plutôt qu'à des facteurs abiotiques comme le pH ou la texture. Bien que la variabilité horizontale de la production végétale n'ait pas été analysée ici, il semble raisonnable de penser que l'augmentation de microvariabilité des teneurs en C pour les couches de sol 0-10 cm et 10-20 cm avec le développement de la prairie soit en grande partie expliquée par l'hétérogénéité du couvert végétal. En effet, *D. decumbens* est une graminée tropicale à port en touffe. La densité racinaire du sol est donc discontinue dans le sol (Picard, 1976, sur *Panicum maximum*), étant plus dense sous les touffes qu'entre les touffes. L'enracinement de *D. decumbens*, est réduit à 20-30 cm et ne semble donc pas exercer d'influence sur le patron de distribution du C en profondeur comme en surface.

On a négligé dans cette étude l'influence du pâturage sur la variabilité spatiale des teneurs en C. Une étude de West *et al.* (1989) montre de plus, que contrairement à d'autres nutriments (Nmin, Ca...), les teneurs en C ne sont que très peu affectées par le pâturage intensif. Dalal *et al.* (1995) montrent de plus qu'une exploitation de la prairie par fauche ou par pâturage ne différenciait pas les teneurs en C.

L'étude géostatistique puis la méthode du krigeage ont permis, d'estimer des teneurs en C en des points non prélevés, et d'établir ensuite une grille de teneur en C régulière dans l'espace. Il a ainsi été possible de dessiner des cartes (Fig. 10, 12 et 14). Ces cartes ont une précision de l'ordre du pas (h) pris lors de l'établissement des variogrammes, c'est-à-dire ici 3 m. Les variabilités inférieures à 3 m de la variable illustrée, ne sont donc pas représentées. Les cartes de teneurs en C à 0-10 cm aux temps T0 et T3 n'illustrent donc pas l'augmentation de microvariabilité locale (< 3 m) avec la mise en prairie. En revanche, à 10-20 cm la variabilité à 3-5 m est illustrée par des tâches concentriques de plus fortes teneurs en C et de faibles envergures (Fig.12).

Le plan d'échantillonnage adopté, ne prenant pas en compte l'hétérogénéité du couvert en touffe de la végétation, ne permet pas d'appréhender le stockage lié à *D. decumbens* de façon fine. Pour cela, les échantillons auraient dû être prélevés à des distances plus proches les uns des autres. En revanche, les cartes des teneurs en C en surface (Fig.10) illustrent l'uniformisation moyenne des teneurs en C dans l'espace. L'analyse des résultats des accroissements dans le temps des teneurs en C a essayé d'expliquer cette observation.

L'étude géostatistique n'a pas apporté d'éléments nouveaux dans la compréhension de la dynamique du stockage du C à une échelle supérieure à 3 m. Elle nous a seulement permis d'illustrer par des cartes les conclusions tirées de l'étude statistique classique. Le plan d'échantillonnage mis en place en début d'expérimentation semble *a posteriori* insuffisamment adapté à la fois à l'étude de la dynamique moyenne de stockage du C sur ce type de sol et à l'étude de la dynamique de restauration fine liée directement à l'activité racinaire et sa répartition dans le sol. Un plan d'échantillonnage stratifié aurait été plus approprié. Quelques points de prélèvements répartis de manière lâche dans la parcelle suffisent à l'étude de la dynamique moyenne du C ; en revanche, une ou plusieurs sous unités, dont la maille d'échantillonnage est fine (de l'ordre du dm), réparties dans différentes zones permettrait de prendre en compte la répartition en touffe des racines de *D. decumbens* dans le sol.

I - 3 - Qualité de la matière organique stockée

Rappelons que la qualité de la MO stockée sera estimée par l'analyse du rapport C/N du sol. Les variations de C/N à T1 et T2 par rapport à T0 ne seront pas prise en compte dans la discussion (cf.résultats).

A T3, l'augmentation du rapport C/N, parallèle aux teneurs en C, suggère une contribution importante des débris végétaux (C/N de l'ordre de 20 à 50) dans le stock de MO du sol, et donc l'importance des apports végétaux dans la reconstitution du stock de C. De plus, ceci expliquerait pourquoi la restauration est plus rapide et plus importante dans la couche de surface (0-10 cm) que dans les couches profondes de sol (10-20 et 20-30 cm), la biomasse racinaire de *D.decumbens* étant plus élevée en surface qu'en profondeur (Fig. 18). La variabilité du rapport C/N est faible, de l'ordre d'une unité quelles que soient la profondeur ou le temps considérée. Malgré des différences d'intensité de stockage de C, et donc de MO, la qualité de la MO stockée semble être identique, ou, très proche, en tout point.

Après 3 ans de développement de la prairie, le stockage de C sur 0-30 cm est de 9 tC.ha⁻¹

¹ La vitesse, l'intensité et la distribution spatiale de la reconstitution du stock organique est pour une grande partie liée à la dynamique de *D.decumbens*. La nature très argileuse du sol étudié et les apports élevés de MO végétales, liés à la conduite intensive de la prairie, explique en partie la valeur relativement élevée par rapport aux résultats trouvés dans la littérature du stockage de C.

II - Reconstitution du peuplement de vers de terre

Le peuplement de vers de terre n'est pas nul à T0, il existe sous culture un peuplement relictuel d'environ 7,32 individus.m⁻², résultat légèrement supérieur à celui de Rossi (1992) de 2,5 ind.m⁻². Dans les deux cas, cette population relictuelle n'est pas structurée spatialement. La reconstitution du peuplement de vers de terre n'est pas continue dans le temps, et les augmentations observées à T1 puis à T3 sont principalement réalisées par des populations de vers de terre de petites tailles ("juvéniles") et des cocons. Le peuplement total à T2 (47,14 ind.m⁻²) n'atteint pas la densité mesurée sous prairie âgée de 7 ans par Rossi (1992) : 186,4 ind.m⁻².

Deux hypothèses sur la dynamique de recolonisation du sol par les vers de terre sont envisageables :

- * (1) la recolonisation est essentiellement réalisée par une expansion de la population relictuelle existante sous culture : "recolonisation par l'intérieur",
- * (2) la recolonisation est effectuée par des populations extérieures qui envahissent progressivement la parcelle : "recolonisation par l'extérieur".

L'importance, toutefois relative, des cocons dans la recolonisation de la parcelle en voie de restauration et la tâche de densité de *P.elongata* élevée visible sur la carte (Fig.22) justifie en partie l'hypothèse (1).

Si l'hypothèse (2) paraît, *a priori*, difficile à prendre en compte du fait du faible

déplacement horizontal des vers de terre endogés tropicaux (Lavelle *et al.* 1992), Rossi (1992), souligne que les vers de terre juvéniles semblent plus se déplacer horizontalement que les vers de terre adultes davantage sédentaires. Bien que les individus qualifiés de juvéniles dans notre travail ne soient pas strictement des juvéniles, on ne peut donc exclure l'hypothèse de recolonisation de la parcelle par des populations extérieures. De plus, la structure spatiale à T3 est différente de celle décrite par Rossi (1992) sous prairie âgée. Le patron de répartition en "bande" aux lisières de la parcelle (Fig.22) à T3 renforcerait alors l'hypothèse d'une recolonisation initiée par les individus initialement extérieurs à la parcelle.

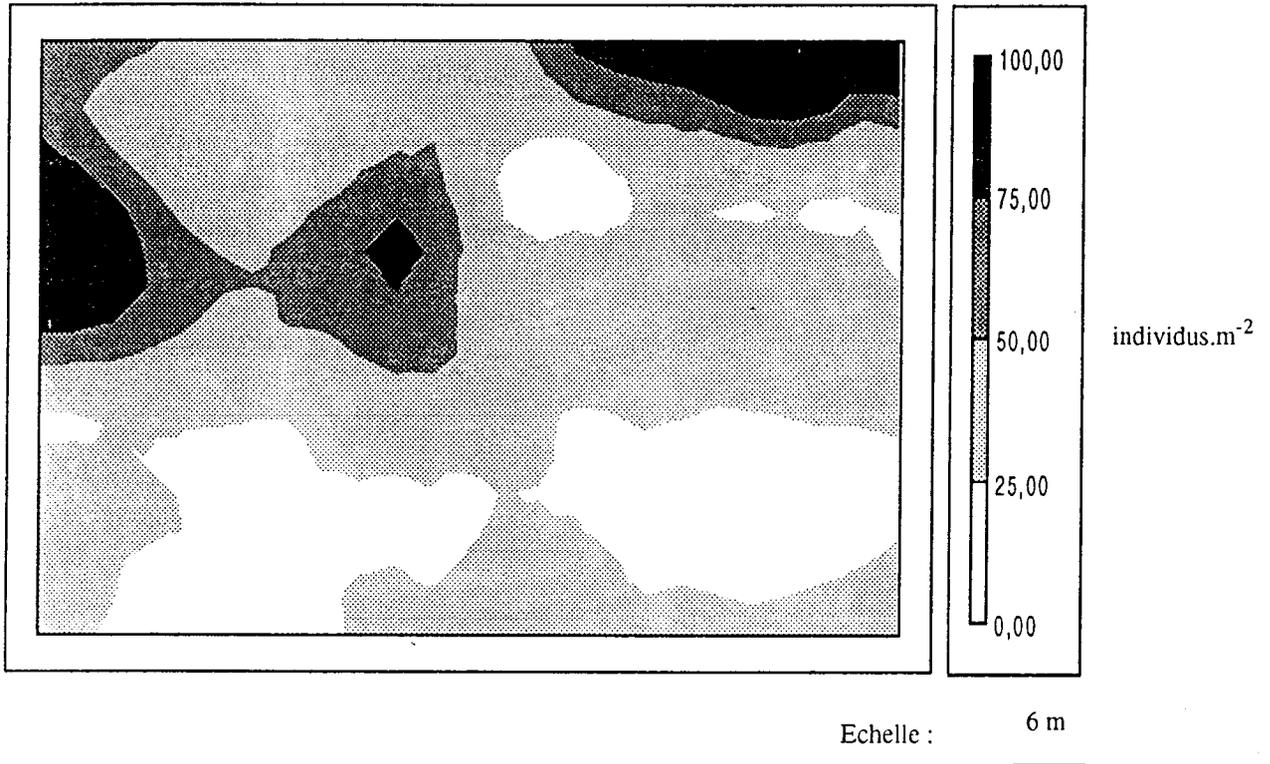


Figure 22 : Carte des densités de *P. elongata* à T3

III - La répartition des vers de terre est-elle dépendante de la structure spatiale du C dans la prairie ?

L'augmentation brutale de la densité de vers de terre, juvéniles et cocons surtout, s'effectue la même année que l'augmentation des teneurs en C du sol. Toutefois, teneurs en C et densité de vers de terre, en valeurs absolues comme en accroissement, ne sont pas corrélés. La recolonisation des vers de terre ne semble donc pas être corrélée spatialement au stockage du C. Ces résultats sont identiques à ceux trouvés sous prairie permanente par Rossi *et al.* (1996). Les auteurs concluent que le stock organique sous prairie est suffisamment élevé pour qu'il ne soit pas un facteur limitant pour le développement des vers de terre. Il était alors tentant de penser à une corrélation entre C et vers de terre lors de situation de plus faible teneur en C, ce qui n'a pu être démontré ici. Toutefois, la faible taille des individus dénombrés peut révéler une influence du stock organique sur le développement des vers de terre.

CONCLUSION

La mise en culture intensive prolongée des vertisols du Sud-Est de la Martinique conduit à une dégradation de la stabilité structurale des sols et une forte diminution de leur stock organique. Souvent, la teneur en C est considérée comme un bon agent de réhabilitation de sols dégradés, c'est pourquoi l'objectif de ce travail est de comprendre la dynamique à court terme de la restauration des stocks organiques. Par ailleurs, de nombreux auteurs ont montré l'influence positive exercée par la macrofaune, et plus particulièrement des vers de terre endogés tropicaux, sur l'organisation physique du sol et la protection de la MO contre la minéralisation. Il était donc intéressant d'étudier parallèlement la reconstitution du stock organique et du peuplement de vers de terre afin de mettre, ou non, en évidence l'influence des vers de terre sur la reconstitution du stock organique du sol et vice versa.

L'approche statistique classique a permis d'appréhender la dynamique moyenne du stockage du C sous prairie en 3 ans. Après deux ans de latence, correspondant au temps d'installation de la prairie, le stockage du C, plus élevé en surface qu'en profondeur, est en moyenne de 9 tC.ha⁻¹ sur 0-30 cm. L'intensité, relativement élevée par rapport aux résultats de la littérature, s'explique en partie par une nature du sol très argileuse (60 à 70%) et par d'importants apports d'origine végétale (racines, exsudats). Il semble donc qu'une conduite de pâturage intensive (ferti-irrigation) sur ce type de sol puisse restaurer rapidement, en 5-7 ans, des stocks organiques faibles par suite de cultures annuelles intensives. Des études complémentaires sur la dégradation précoce du sol suite à la mise en culture maraîchère devrait permettre d'estimer la durée acceptable d'une telle culture intensive sur ce type de sol. On sera alors en mesure de préconiser l'introduction de rotations maraîchage-pâturage dans le système cultural et d'en préciser la conduite. Ainsi, l'association de l'agriculture et de l'élevage, doit permettre à la fois le maintien des propriétés physiques et chimiques du sol et son exploitation intensive.

La comparaison des résultats obtenus ici par rapport à ceux de la littérature souligne le rôle très important de la granulométrie sur la teneur en C d'un sol. Les vertisols, très argileux, stockent des quantités de C élevées et semblent donc être, a priori, des systèmes particulièrement intéressants comme puits de C dans le cycle global du C. Les conduites agricoles modifient les stocks organiques des sols ; le deuxième objectif de ce travail est donc de souligner les aspects positifs des systèmes prairiaux sur le stockage du carbone dans le sol dans le but de limiter l'effet de serre. Bien que réalisée sur une courte période (3 ans), l'étude donne quelques éléments de réponse (Fig.23) et montre que, dès la 3^{ème} année de mise en prairie, il y a un stockage significatif du C dans le sol. Néanmoins la nature du C stocké dans le sol n'a pas été caractérisé. Il serait intéressant de savoir si le C a plutôt été stocké dans un pool de C fortement ou faiblement labile. Ceci est essentiel pour évaluer la durabilité du stockage du C par des prairies.

L'étude géostatistique a permis de mettre en évidence l'importance de la dynamique racinaire en touffe de *D. decumbens* sur le stockage de la MO, mais surtout de donner des éléments en vue d'améliorer les techniques d'approche géostatistique dans ce type d'étude de la MO. Cette étude nous montre : (i) d'une part que le nombre d'échantillons (n=96) est

excessif pour étudier la dynamique moyenne de restauration du stock organique et (ii) d'autre part que le nombre d'échantillons est trop faible pour étudier la dynamique de restauration fine liée directement à l'activité racinaire et sa répartition dans le sol. Un échantillonnage stratifié, c'est-à-dire la mise en place d'un plan d'échantillonnage moins dense mais comprenant des zones dont la maille d'échantillonnage est réduite, de l'ordre du décimètre, semble plus judicieux. De telles zones étudiées de façon plus détaillées, et choisies à la fois dans les zones initialement riches et dans les zones initialement pauvres en C permettront peut-être de mieux comprendre les différences de dynamique précoce de reconstitution des stocks organiques de ces deux types de zones.

L'étude des vers de terre a montré une recolonisation de *P.elongata* parallèle à l'augmentation de la teneur en C la troisième année de mise en prairie. Cependant cette simultanéité n'est pas accompagnée d'une corrélation spatiale. L'influence de la densité de vers de terre sur la reconstitution du stock organique ou celle du stock organique sur la dynamique des peuplements de vers n'a donc pu être mise en évidence.

Le schéma de la figure 23 illustre les principaux résultats et les incertitudes qui résident encore après cette étude. Des mesures complémentaires, telles que la quantification exacte des apports organiques (racines, exsudats) et la détermination du taux de minéralisation de la MO du sol sont nécessaires. Enfin, une étude plus approfondie, tenant compte (i) de l'organisation et de la dynamique de la structure physique du sol, (ii) de la sensibilité de la MO face à la minéralisation, liée à sa nature et sa localisation, (iii) de l'influence des activités biologiques (bactérienne, racinaire, et faunique) sur la MO, devrait permettre d'identifier puis de hiérarchiser les déterminants du stockage de la MO. Les objectifs de ce travail seront donc tout à la fois la compréhension de la fonction puits du sol dans le cycle global du C et l'estimation des durées de prairies nécessaires à une gestion organique appropriée des vertisols, dans le cadre d'agriculture associant élevage et cultures maraîchères intensives.

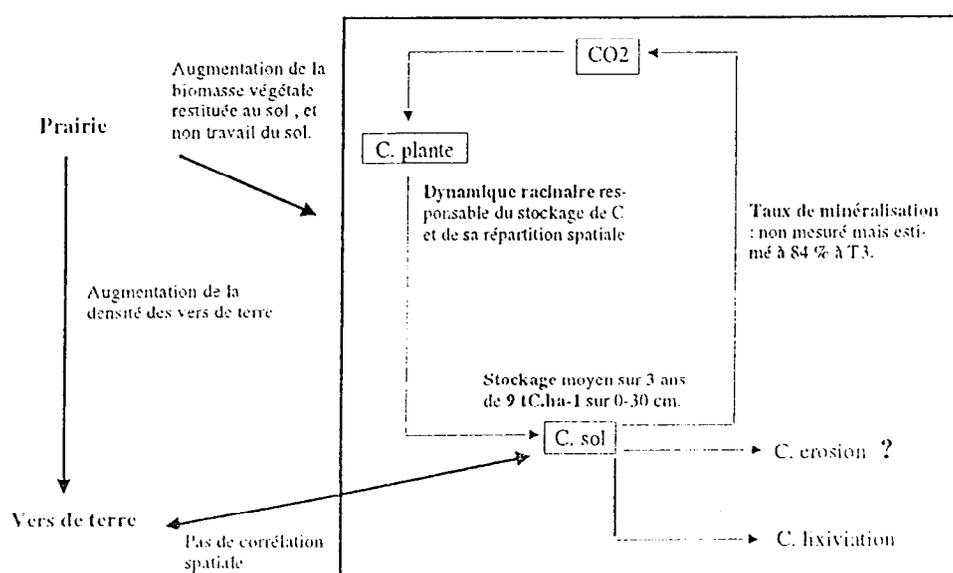


Figure 23 : Influences de la prairie sur le stockage de la matière organique et la densité de *P.elongata*

Références Bibliographiques

- Abacus concepts. 1987. Statview II. Abacus concepts, Berkeley, C.A.
- Albrecht A., Brossard M., Chotte J. L. & Feller C. 1992a. Les stocks organiques des principaux sols cultivés de la Martinique (Petites Antilles). *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.* 22 : 23-26.
- Albrecht A., Rangon L. & Barret P. 1992b. Effets de la matière organique sur la stabilité structurale et la détachabilité d'un vertisol et d'un ferrisol (Martinique). *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.* 22 : 121- 133.
- Anderson J. M. & Ingram J. S. I. (eds) 1993. *Tropical Soil Biology And Fertility ; A handbook of methods*. Wallingford. 221p.
- Angers D. A. 1992. Changes in soil aggregation and organic carbon under corn and alfalfa. *Soil Science Society of America Journal* 56 : 1244-1249.
- Ayanaba A. & Jenkinson D. S. 1990. Decomposition raygrass and maize under tropical conditions. *Soil Science Society of America Journal* 54 : 112-115.
- Beare M. H., Hendrix P. F. & Coleman D. C. 1994. Water-Stable aggregates and organic matter fractions in conventional and no-tillage soils. *Soil Science Society of America Journal* 58 : 777-786.
- Blanchart E., Bruand A. & Lavelle P. 1993. The physical structure of casts of *Millsonia anomala* in shrub savana soils. *Geoderma* 56 : 302-304.
- Brossard M., Balesdent J., Feller C., Plenecassagne A. & Turenne J. F. 1985. Etude de la matière organique des sols par fractionnement granulométrique. I. Décomposition au champ d'un compost enfoui dans plusieurs types de sols des Antilles. In : "Small Farm Systems in the Caribbean". Proc. 20th Caribbean Food Crops Society Meet., Sainte-Croix, U.S., Virgin Islands, 68-73.
- Carter M.R. 1996. Analysis of soil organic matter storage in agrosystems. In : Advances in soil science : Structure and organic matter storage in agricultural soils. New York 3-11 p.
- Chevallier T. 1995. *Rôle respectif des macro-organismes (racines, vers de terre) sur le stock organique d'un vertisol*. DAA ENSA.R. 59 p.
- Choné T., Andreux F., Correa J. C., Volkoff B. & Cerri C.C. 1991. Changes in organic matter in an oxisol from the central amazonian forest during eight years as pasture, determined by carbon-13 isotopic composition. In : Diversity of environmental biogeochemistry. Berthelin J (ed.)398-405p.
- Chotte J. L. 1988. Importance de l'activité rhizosphérique dans la dynamique de reconstitution du stock organique des sols (vertisol, Martinique) traçage isotopique ^{15}N . *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.* 24 : 345-346.
- Dalal R.C., Strong W.M., Weston E.J., Cooper J.E., Lehane K.J., King A.J., Chicken C.J. 1995. Sustaining productivity of a vertisol at Warra, Queensland, with fertilisers, no-tillage, or legumes. 1- Organic matter status. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 35 : 903-913.

Daniel O. & Anderson J. M. 1992. Microbial biomass and activity in contrasting soil materials after passage through the gut of the earthworms *Lumbricus rubellus* Hoffmeister. *Soil Biology & Biochemistry* 24 : 465-470.

Desjardins T., Andreux F., Volkoff B. & Cerri C. C. 1993. Organic carbon and ^{13}C contents in soils and soil size-fractions, and their changes due to deforestation and pasture installation in eastern Amazonia. *Geoderma* 61 : 103-118.

Elustondo J., Angers D. A., Lavardière M. R., & NDayegamiye. 1990. Etude comparative de l'agrégation et de la matière organique associée aux fractions granulométriques de sept sols sous culture de maïs ou en prairie. *Canadian Journal Soil Science* 70 : 395-402.

Environmental Monitoring System Laboratory. 1988. Geoeas. EPA.

Feller C. 1994. *La matière organique dans les sols tropicaux à argile 1 : 1 : recherche de compartiments organiques fonctionnels, une approche granulométrique*. Thèse de doctorat d'Etat de l'UER des Sciences de la vie et de la terre. Institut géologie-Stasbourg. 393 pages plus annexes.

Feller C., Albrecht A., Tessier D. 1996. Aggregation and organic matter storage in kaolinitic and smectitic tropical soils. *In* : Advances in soil science : Structure and organic matter storage in agricultural soils. New York 309-360 p.

Fraser P. M., Haynes R. J., & Williams P. H. 1994. Effects of pasture improvement and intensive cultivation on microbial biomass, enzyme activities, and composition and size of earthworms populations. *Biol. Fertil. Soils* 17 : 185-190.

Garcia-Oliva F., Casar I. & Morales P. 1994. Forest-to-pasture conversion influences on soil organic carbon dynamics in a tropical deciduous forest. *Oecologia* 99 : 392-396.

Gonzalez O. J. & Zak D. R. 1994. Geostatistical analysis of soil properties in a secondary tropical dry forest, St.Lucia, West Indies. *Plant and Soil* 163 : 45-54.

Harvard & Duclos 1967. *Techniques agricoles et productions tropicales*. Paris, 397 p.

Helal H. M. & Sauerbeck R. 1984. Influence of plant roots on C and P metabolism in soil. *Plant and Soil* 76 : 175-182

Humphreys L. R. 1981. *Environmental adaptation of tropical pasture plants*. Sainte Lucia. 261 p.

Ladd J. N, Amato M., Zhou L. K. & Schultz J. E. 1994. Differential effects of rotation, plant residue and nitrogen fertilizer on microbial biomass and organic matter in an australian alfisol. *Soil Biology & Biochemistry* 26: 821-831.

Lavelle P. & Pashanasi B. 1989. Soil macrofauna and land management in peruvian amazonia. *Pedobiologia* 33 : 283-291.

Lavelle P. 1994. Faunal activities and soil processes : adaptative strategies that determine ecosystem function. *Compte rendus 15th World Congress of Soil Science*. Acapulco, Mexico, July 10-16. Vol 1 : 189-220.

Lavelle P., Blanchart E., Martin A., Spain A.V. & Martin S. 1992. Impact of soil fauna on the

- properties of soils in the humid tropics *In* : Myths and science of soils of the tropics. Soil Science Society of American Society of Agronomy. Segoehd S. & Madison W. I. (eds) 157-185 p.
- Martin A., Mariotti A., Balesdent J., Lavelle P. & Vuattoux R. 1990. Estimate of organic matter turn over rate in a savana soil by ^{13}C natural abundance measurements. *Soil Biology & Biochemistry* 22: 517-523.
- Martel Y. A., Deschênes J. M. 1976. Les effets de la mise en culture et de la prairie prolongée sur le carbone, l'azote et la structure de quelques sols du Québec. *Canadian Journal Soil Science* 56 : 373-383.
- Parton W. J., Schimel D. S., Cole C. V. & Ojima D. S. 1987. Analysis factors controlling soil organic matter levels in great plains grassland. *Soil Science Society of America Journal* 51 : 1173-1179.
- Perfect E., Kay B. D, Van Loon W. K. P., Sheard R. W. & Pojasok T. 1990. Rates of change in soil structural stability under forages and corn. *Soil Science Society of America Journal* 54 : 179-186.
- Picard D. 1976. *Dynamique racinaire de Panicum maximum Jacq. et apport au sol de matière organique*. Th. Univ. Clermont. 275 p.
- Rossi J. P. 1992. *Répartition spatiale de la macrofaune du sol et de quelques caractéristiques pédologiques selon le mode d'exploitation d'un vertisol (Ste Anne, Martinique)*. DEA Université Pierre et Marie Curie (Paris VI).
- Rossi J. P., Lavelle P., Albrecht A. 1996. Relationships between spatial pattern of the endogeic earthworm *Polypheretima elongata* and soil heterogeneity. *Soil Biology and biochemistry*. Sous presse.
- Salette J.E. & Dumas Y. 1969. Points de vue écologiques sur la place des cultures fourragères dans l'agriculture antillaise ; exemple de l'utilisation du pangola dans l'étude des facteurs du milieu. *In* : Compte rendus du 7^{ème} congrès annuel Caribbean Food Crops Society. Martinique, Guadeloupe. Vol.7.219-229 p.
- Sanchez P.A. 1976. *Properties and management of soils in the tropics*. J.Wiley & Sons (eds.) New york. 618 p.
- Singh S. & Singh J. S. 1995. Microbial biomass associated with water stable aggregates in forest, savanna and cropland soils of a seasonally dry tropical region, India. *Soil Biology & Biochemistry* 27 : 1027-1033.
- Skjemstad J. O., Catchpoole V. R. & Le feuivre R. P. 1994. Carbon dynamics in vertisol under several crops as assessed by natural abundance ^{13}C . *Aust. J. Soil Res.* 35 : 311-321.
- Smith J. L., Halvorson J. J., & Bolton H. J. 1994. Spatial relationships of soil microbial biomass and C and N mineralization in a semi-arid shrub-steppe ecosystem. *Soil Biology & Biochemistry* 26 : 1151-1159.
- Talineau J. C., Hainnaux G., Bonzon B., Filloneau C., Picard D. & Sicot M. 1976. Quelques conséquences agronomiques de l'introduction d'une sole fourragère dans une succession culturale du milieu tropical humide de Côte d'Ivoire. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.* 11 : 277-290.

Talineau J. C., Bonzon B., Fillonneau C. & Hainnaux G. 1980. Contribution à l'étude d'un agrosystème prairial dans le milieu tropical humide de la Côte d'Ivoire. 2- Analyse des données relatives à l'état de la matière organique. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.* 18 : 29-47.

Trangmar B. B., Yost R. S., Vehara. 1985. Applications of geostatistics to spatial studies of soil properties *Adv. in agronomy* 38 : 45-94.

Vogt K. A., Vogt D. J., Absbjornsen H., & Dahlgren R. A. 1995. Roots, nutrients and their relationship to spatial patterns. *Plant and Soil* 168-169 : 113-123.

Voltz M. 1996. Analyse structurale et interpolation de variables à distribution continue dans l'espace. *Mastère "Systèmes d'information localisées"*. ENSA.M Montpellier 21 p.

West C. P. Mallarino A. P., Wedin W. F., & Marx D. B. 1989. Spatial variability of soil chemical properties in grazed pastures. *Soil Science Society of America Journal* 53 : 784-789.

Wood C. W., Westfall D. G., Peterson G. A. 1991. Soil carbon and nitrogen changes on initiation of no-till cropping systems. *Soil Science Society of America Journal* 55 : 470-476.

Liste des figures et tableaux

Figures

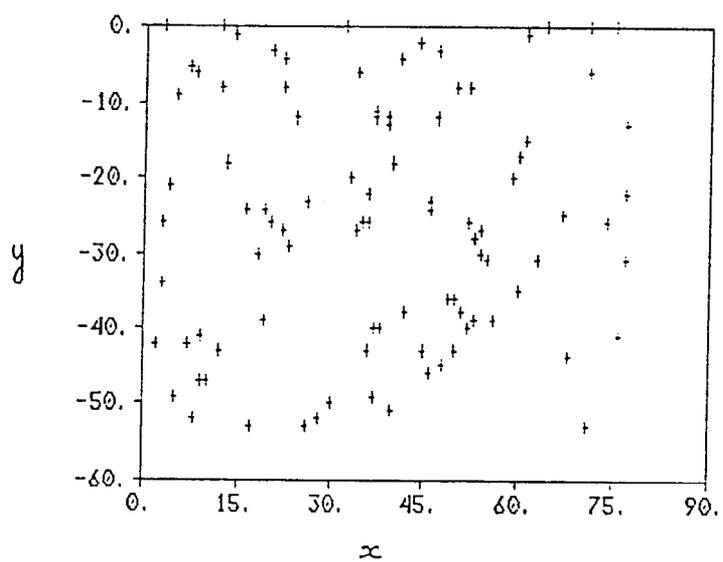
1. Contexte de l'étude du DEA
- 2a. Température moyenne mensuelle à Sainte-Anne du 01/91 au 08/95
- 2b. Pluviométrie mensuelle à Sainte-Anne du 01/91 au 08/95
3. Les modèles géostatistiques utilisés
4. Variogramme de la profondeur totale du sol
5. Variogramme de la teneur en A+Lf à 0-10 cm
6. Evolution du profil de carbone
7. Courbe de distribution des teneurs en C à 0-10 cm
8. Courbe de distribution des accroissements des teneurs en C à 0-10 cm
9. Variogrammes de la teneur en C à 0-10 cm
10. Cartes des teneurs en C à 0-10 cm aux temps T0 et T3
11. Variogrammes de la teneur en C à 10-20 cm
12. Cartes des teneurs en C à 10-20 cm aux temps T0 et T3
13. Variogrammes de la teneur en C à 20-30 cm
14. Cartes des teneurs en C à 20-30 cm aux temps T0 et T3
15. Variogrammes de la teneur en C à T2 et T3 à 20-30 cm
16. Profils des rapports C/N
17. Variogrammes de la densité totale de *P.elongata*
18. Evolution de la biomasse racinaire au cours du temps d'après Chotte (*comm. pers.*) et Chevallier (1995)
19. Dynamique du C total du sol dans la couche 0-20 cm. figure d'après Choné *et al.* (1991)
20. Dynamique de reconstitution du stock organique sous prairie
21. Dynamique des teneurs en C de deux sous population, d'effectif proche et établies selon leur teneur en C initiale
22. Carte des densités de *P.elongata* à T3
23. Influence de la prairie sur le stockage de la matière organique et la densité de *P.elongata*

Tableaux

1. Profondeur et granulométrie de la parcelle
2. Moyenne et variance des teneurs en C de la parcelle aux différents temps et à chaque profondeur
3. Moyenne et variance des accroissements de teneurs en C de la parcelle aux différents temps (par rapport à T0) et à chaque profondeur
4. Caractéristiques des variogrammes de la teneur en C aux différentes dates et aux différentes profondeurs, pour la couche de sol 0-10 cm
5. Caractéristiques des variogrammes de la teneur en C aux différentes dates et aux différentes profondeurs, pour la couche de sol 10-20 cm
6. Caractéristiques des variogrammes de la teneur en C aux différentes dates et aux différentes profondeurs, pour la couche de sol 20-30 cm
7. Moyenne et variance des rapports C/N de la parcelle aux différents temps et à chaque profondeur
8. Moyenne et variance des densités de vers de terre, *P.elongata*
- 9a. Tableau de corrélation à 0-10 cm
- 9b. Tableau de corrélation à 10-20 cm
- 9c. Tableau de corrélation à 20-30 cm
10. Tableau de corrélation entre densité de *P.elongata* et teneur en C, pour la couche 0-30 cm

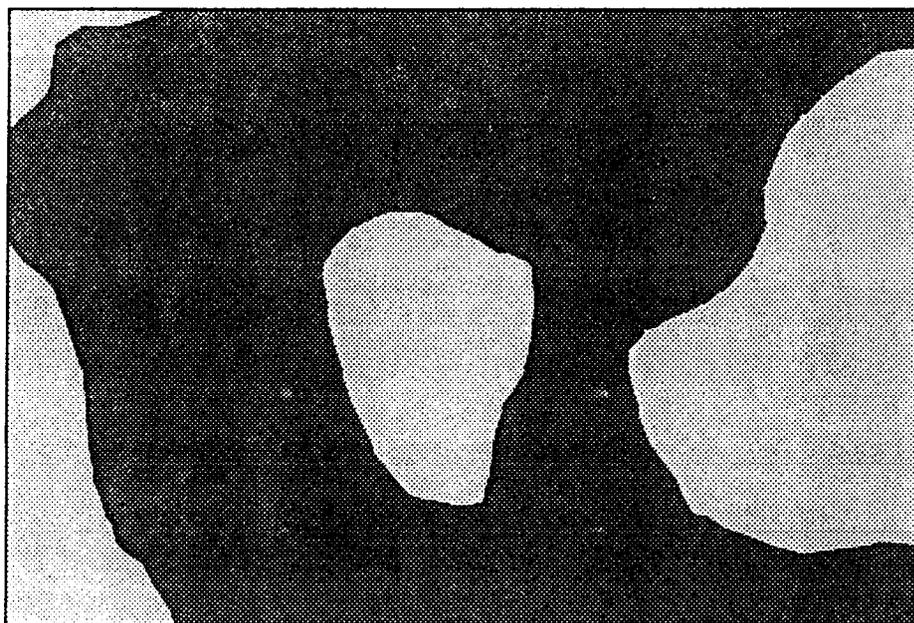
Annexe 1

Plan d'échantillonnage.
(96 points de prélèvement sur une parcelle de 0,4 ha.)



Annexe 2

Carte des teneurs en argile + limons fins (0-10 cm)



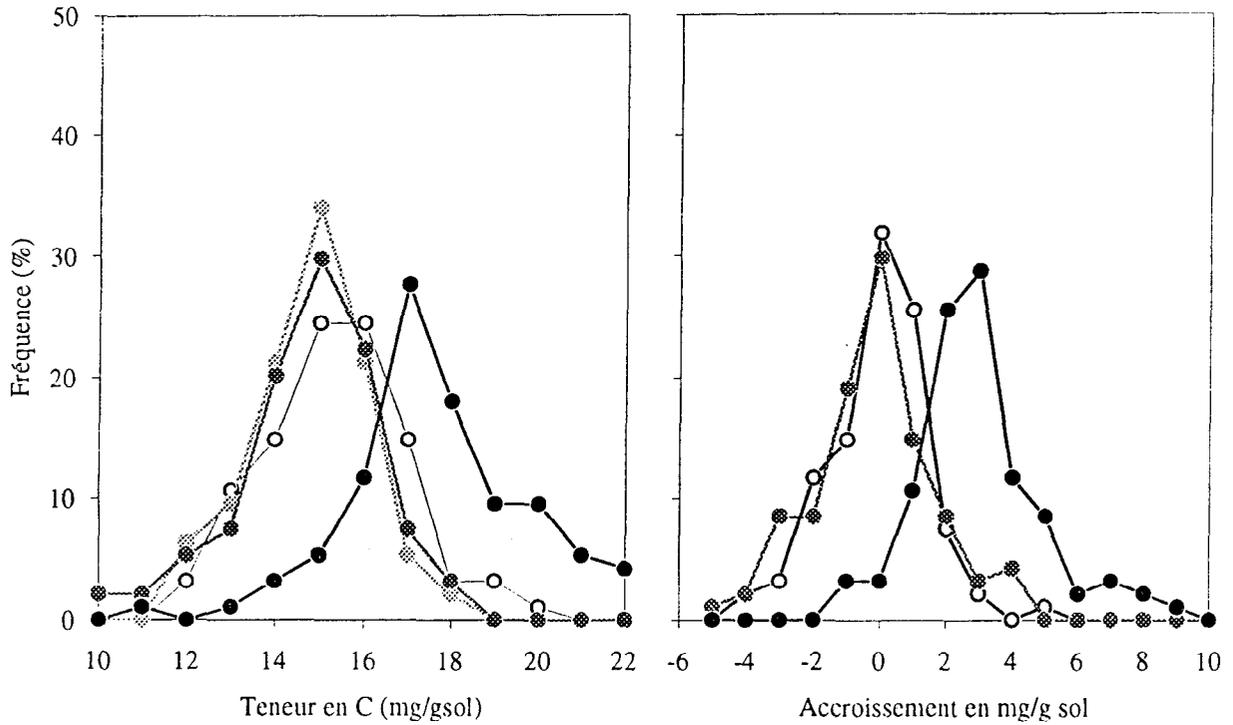
Carte des profondeurs totales du sol



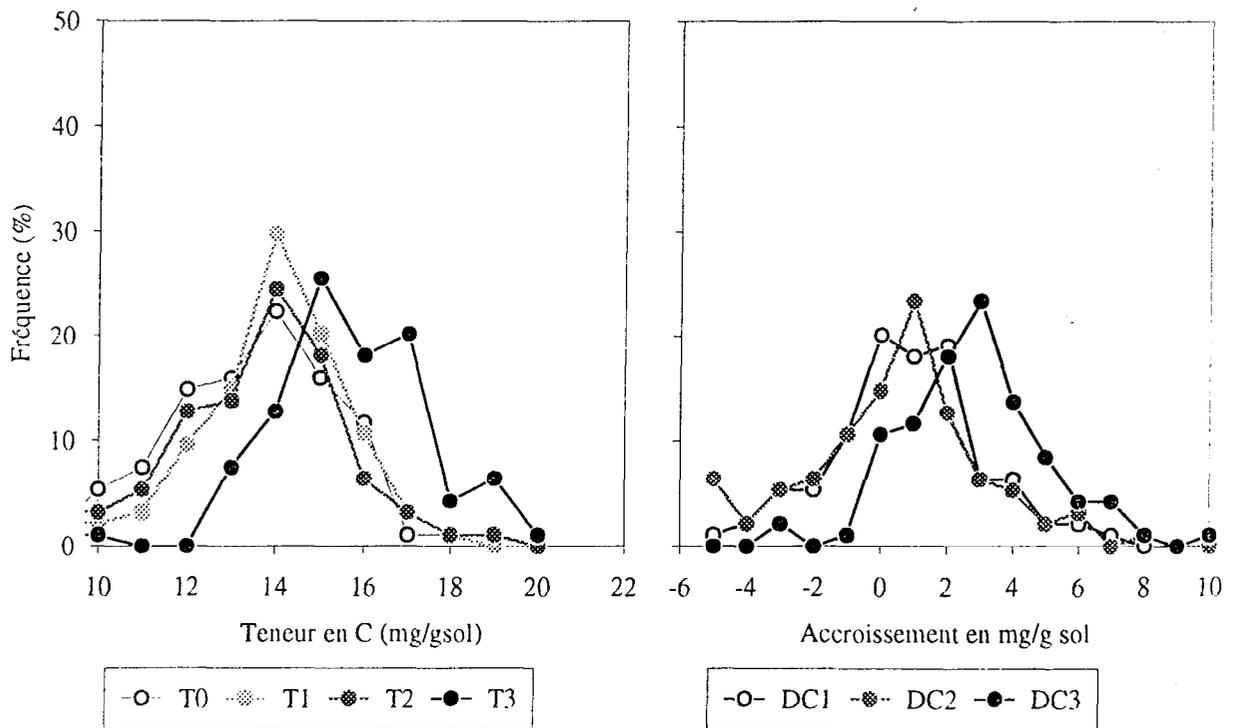
Annexe 3

Courbe de distribution des teneurs et accroissements en C aux différentes dates T0, T1, T2 et T3 et pour les couches de sol 10-20 cm et 20-30 cm.

Couche 10-20 cm

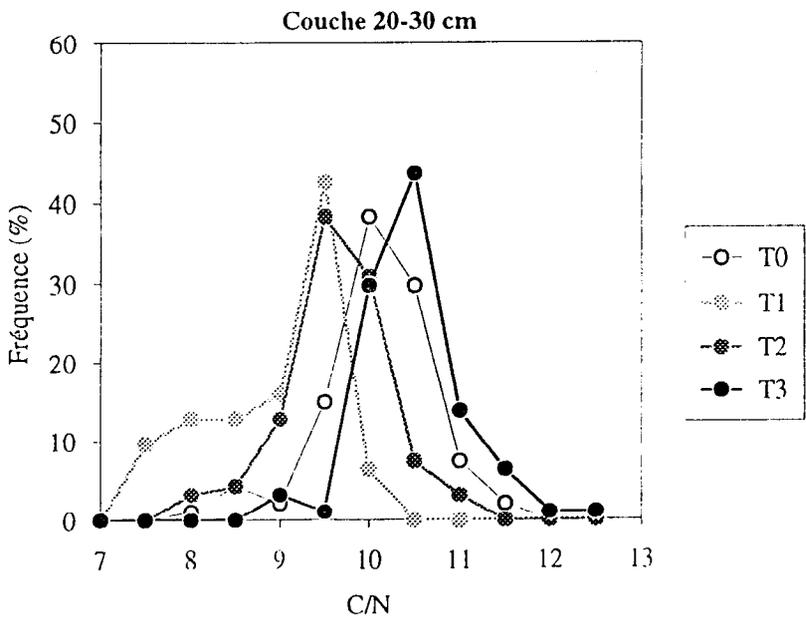
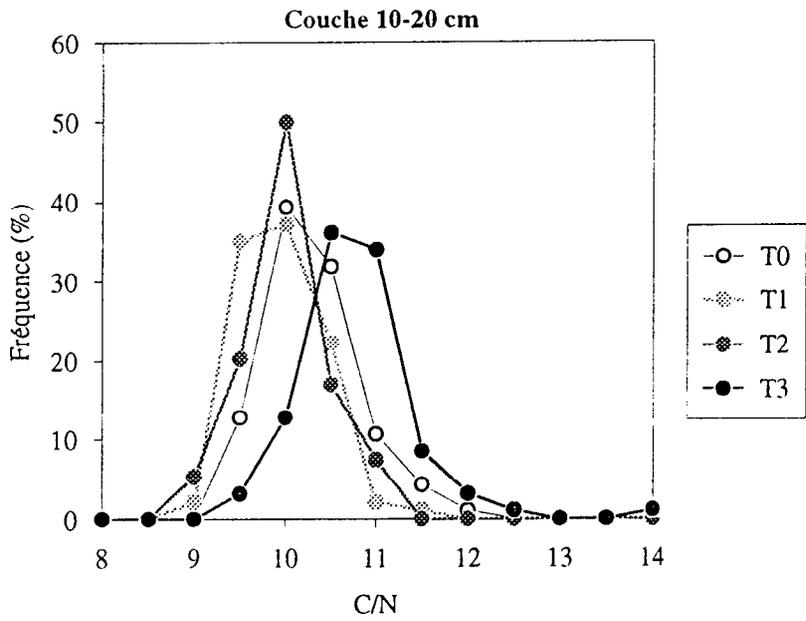
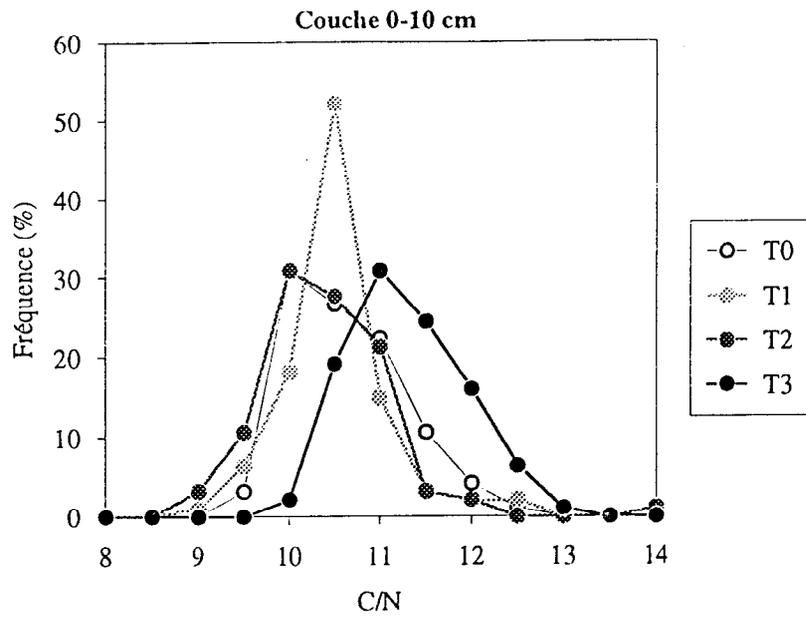


Couche 20-30 cm



Annexe 4

Courbe de distribution des rapports C/N aux différentes dates T0, T1, T2 et T3 et aux différentes profondeurs.



Annexe 5

Caractéristiques principales des variogrammes du rapport C/N aux différentes dates et aux différentes profondeurs.

0-10 cm

Dates	Caractéristiques des variogrammes				
	Modèle	Portée (m)	Palier	Pépité	Pépité/Palier (%)
T0	L	40	0,4	0,2	64,6
T1	L	40	0,3	0,2	61,1
T2	L	40	0,3	0,3	78,0
T3	S	20	0,4	0,2	64,3

10-20 cm

Dates	Caractéristiques des variogrammes				
	Modèle	Portée (m)	Palier	Pépité	Pépité/Palier (%)
T0	L	40	0,4	0,2	64,6
T1	L	40	0,1	0,1	84,4
T2	L	40	0,2	0,1	85,4
T3	L	40	0,3	0,2	62,5

20-30 cm

Dates	Caractéristiques des variogrammes				
	Modèle	Portée (m)	Palier	Pépité	Pépité/Palier (%)
T0	L	40	0,4	0,3	89,5
T1	S	20	0,6	0,2	28,1
T2	L	40	0,3	0,1	30,8
T3	L	40	0,3	0,1	30,8

L : modèle linéaire ; S : modèle sphérique

Annexe 6a

Teneur moyenne en C en t/ha* aux différents temps et à chaque profondeur

Date	Profondeur			
	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	0-30 cm
T0	17,9	16,4	14,2	48,5
T1	17,9	15,7	14,6	48,2
T2	18,8	15,6	14,1	48,6
T3	21,7	19,1	16,8	57,6

* Calcul : le stock organique Cs (t/ha), d'une épaisseur de sol e (dm), de densité apparente Da (g/cm³), estimée à 1,1, et de teneur en C (mg/g sol) est donné par la formule :

$$Cs \text{ (t/ha)} = C \text{ (mg/gsol)} \times Da \text{ (g/cm}^3\text{)} \times e \text{ (dm)}$$

Annexe 6b

Accroissements moyens en t/ha aux différents temps (par rapport à T0) et à chaque profondeur.

Date	Profondeur			
	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	0-30 cm
DT1	-0,0	-0,6	0,3	-0,3
DT2	0,9	-0,7	-0,1	0,1
DT3	3,8	2,7	2,6	9,1

DTi : Accroissement de teneur en C entre Ti et T0