



## Effets de la composition chimique et biochimique des résidus de cultures sur leur décomposition dans un sol Limono-Argileux du semi aride (Chemical and biochemical composition's Effect of crop residues on their decomposition in semi-arid)

K. Bouajila<sup>1</sup>, F. Ben Jeddi<sup>1</sup>, H. Taamallah<sup>2</sup>, N. Jedidi<sup>3</sup>, M. Sanaa<sup>1</sup>

1. Institut National Agronomique de Tunisie (INAT). Université de Carthage. Adresse: 43, Avenue Charles Nicolle-Tunis-Mahrajène TUNISIE.
2. Laboratoire d'Eremologie et Lutte Contre la Désertification de l'Institut des Régions Arides Médenine/ Tunisie.
3. Centre de Recherches et des Technologies des Eaux, Institut National de Recherche Scientifique et Technique, B.P. 95-2050 Hammam-lif, TUNISIE.

Received 13 June 2013, Revised 27 Sept 2013, Accepted 23 Sept 2013

\* Corresponding Author: Bouajila khédija, Email: [bouajilakhedija@yahoo.com](mailto:bouajilakhedija@yahoo.com); Tél: +21699418029

### Abstract

The soil organic matter has an important role in soil fertility and productivity. The increase of carbon storage in soils could decrease CO<sub>2</sub> concentrations in the atmosphere and mitigate global climate change. In this study, we analyzed the chemical composition of crop residues (roots and shoots) of sulla (*Hedysarum coronarium* L.), rapeseed (*Brassica napus* L.), faba bean (*Vicia faba* L. var *minuta* (eg Desf. Alef) Mansf....)) and wheat (*Triticum durum* Desf) and compared against a control bovine manure. Residues and manure were applied on a silty clay soil (da: 1.45) in a minimum amount restituted or supplied in unproductive year under natural conditions. The incubation was carried out under aerobic conditions and at a constant temperature of 28 °c during 90 days with a moisture adjusted to 2/3 Θcc. The observed organic carbon ranged from 40.08 to 44.07 % for the residues and for the manure is about 31.75 %. The latter is richer in total nitrogen is 2.33 %, compared to residues whose content did not exceed 1%, therefore the C / N ratio of manure was 17.63 while the average of the residuals was around 59.49. Fabaceae residues (sulla and faba bean) were characterized by the highest rate of cellulose corresponding to 35.43 and 35.50 % of the organic matter (OM); compared to manure that is distinguished by a more low rate of 2.35 %. The lignin contents ranged from 7.03 to 19.30 % in the residues and manure respectively. The neutral detergent soluble fraction was significantly lower in the range of 26.04 % for the Fabaceae and 24.96 % for wheat and rapeseed, against 70.10 % for the manure. Under the experimental conditions, the decomposition of the tested organic products (Sulla, faba bean, rapeseed, wheat, and cattle manure) is closely related to their chemical and biochemical compounds. More organic residues are rich in lignin biodegradation is more difficult. Fiber fractions of organic products have shown that manure is significantly (p < 0.05) rich in lignin and soluble fractions while crop residues are richer in cellulose and hemicellulose. At the end of incubation, the amount of C-CO<sub>2</sub> emitted from the soil varies between 23.91 and 91.51 % COT of organics products added. The contribution of Fabaceae residues and manure have mineralized amounts of carbon significantly higher (p < 0.05) than the control and significantly lower (p < 0.05) than the mixture of soil-rape and soil-wheat. However, the mineralization potential (C<sub>0</sub>) is more important for crop residues as manure.

Keywords: crop residues, manure, decomposition, carbon.

### Résumé

La richesse des sols en matières organiques est l'un des principaux indicateurs de la fertilité. De même elle représente une caractéristique de plus en plus appréciée dans un contexte global de changement climatique où le stockage du carbone dans les sols représente une alternative permettant la réduction du CO<sub>2</sub> atmosphérique. Quatre résidus de cultures (racines et fanes) de sulla (*Hedysarum coronarium* L.), colza (*Brassica napus* L.), féverole (*Vicia faba* L. var. *minuta* (Desf. ex. Alef.) Mansf.) et blé dur (*Triticum durum* Desf.) ont été caractérisés sur le plan chimique et comparés par rapport au fumier bovin utilisé comme un témoin. Les résidus et fumier ont été épandus sur un sol argilo-limoneux (da: 1.45) dans des conditions naturelles. L'incubation a été réalisée en aérobiose à une température constante de 28 °c pendant 90 jours avec une humidité ajustée à 2/3 de la capacité au champ. L'analyse des fibres a montré que les quatre résidus sont caractérisés par un taux en carbone (C) compris entre 40.08 et 44.07 %; alors que celui du fumier est de 31.75 %. Ce dernier est plus riche en azote total (N) soit 2.33%, comparé aux résidus dont la teneur n'a pas dépassé 1%. En conséquence, le rapport C/N du fumier a été de 17.63 alors que la moyenne des résidus a été de l'ordre de 59.49. Les résidus des fabacées (sulla et féverole) sont caractérisés par les taux en cellulose les plus élevés correspondant respectivement à 35.43 et 35.50 % de la

matière organique (MO); comparés au fumier qui s'est distingué par un plus faible taux de 2.35 %. Les teneurs en lignine ont varié de 7,03 à 19,30 % dans les résidus et fumier. La fraction soluble au détergent neutre a été nettement plus faible de l'ordre de 26.04 % pour les fabacées et 24.96 % pour le blé et colza contre 70.10 % pour le fumier. Dans les conditions expérimentales, la décomposition des produits organiques testés (Sulla, féverole, colza, blé, et fumier bovin) se trouve en relation étroite avec leurs composés chimiques et biochimiques. Plus les résidus organiques sont riches en lignine, plus leur biodégradation est difficile. Les fractions en fibres des produits organiques ont montré que le fumier est significativement ( $P < 0.05$ ) plus riche en lignine et fractions solubles alors que les résidus de cultures sont plus riches en cellulose et hémicellulose. À la fin des incubations, la quantité de C-CO<sub>2</sub> émise par ce sol varie entre 23.91 et 91.51 pourcentage de carbone organique total (% COT) des résidus organiques ajoutés. L'apport des résidus de fabacées et fumier ont minéralisé des quantités de carbone significativement supérieure ( $P < 0.05$ ) au témoin et inférieure ( $P < 0.05$ ) aux mélange sol-Colza et sol-Blé. Toutefois, le potentiel de minéralisation (C<sub>0</sub>) est plus important pour les résidus végétaux (27.934 à 50.868 % COT) que pour le fumier 14.914 % COT.

*Mots clé:* résidus de cultures, fumier, décomposition, carbone.

## 1. Introduction

Actuellement, la durabilité de la production représente un défi majeur de l'activité agricole [1]. Cette condition est basée particulièrement sur la fertilité organique du sol. En Tunisie, les réserves organiques des sols ont subi plusieurs transformations sous la contrainte de changement de leur usage et de l'utilisation intensive des ressources naturelles; d'une restitution très faible de résidus de cultures et d'amendements organiques [2]. Notamment, les pratiques agricoles comme le travail du sol, l'utilisation de diverses sortes de fertilisants minéraux et l'irrigation des terres ont contribué à augmenter la vitesse de minéralisation de la matière organique. Dans un plan de compensation d'émission de gaz à effet de serre, la Tunisie envisage le stockage d'au moins 7000 kte CO<sub>2</sub> dans les sols d'ici 2020 [3]. Ce programme potentiel est envisagé, via des pratiques culturales de conservation comme le semis direct, la restitution des résidus de cultures, ou l'apport d'amendements organiques.

Les principales sources de matières organiques dans les sols agricoles sont les résidus de récolte et systèmes racinaires, le fumier, le lisier ou du recyclage de déchets organiques (effluents, composts et boues).

Dans le semi aride supérieur, les cultures de sulla, blé, féverole et colza restituent au sol des biomasses sèches comprises respectivement entre 5 et 15; 0,5 et 2,5; 2 et 6 t h<sup>-1</sup> [4].

Les résidus de végétaux sont constitués essentiellement de glucides, lipides, protéines et lignine avec des proportions variables [5]. La fraction organique du sol est répartie en plusieurs groupes de nature fraîche héritée, microbienne et argilo-humique [5]. Les substances, non humiques et humiques, forment la totalité de la matière organique du sol. La partie non-humique est formée de composés chimiques reconnaissables issus de résidus organiques et de molécules excrétées par des microorganismes. Ces derniers dégradent les structures organiques à des taux variant selon leur contenu en carbone et azote, mais aussi le degré d'aromaticité des molécules et leur composition biochimique [6]. Le rapport C/N est parmi les indicateurs le plus utilisé pour caractériser la matière organique. Bien que ce rapport évolue dans le temps, il n'est pas possible de prévoir la quantité de carbone stable d'un produit organique. La lignine, la cellulose, l'hémicellulose, la fraction soluble et leur rapport avec l'azote et le carbone ont été introduits dans des modèles décrivant la dynamique du carbone et de l'azote du sol [1, 7, 8, 9]. La composition chimique des matières organiques exogènes restituées aux sols est un des principaux facteurs qui influencent leur cinétique de décomposition [10] en modifiant ainsi l'activité des organismes décomposeurs du sol [1, 9, 11]. Les flux de carbone et de l'azote dans l'hydrosphère et l'atmosphère des sols agricoles sont étroitement liés à la nature de la matière organique.

Cette étude caractérise la composition d'un ensemble de résidus organiques (blé dur, sulla, colza et féverole) comparés à un fumier bovin et son impact sur la minéralisation du carbone.

## 2. Matériels et méthodes

### 2.1. Sol et résidus de cultures testés

Le sol est de type peu évolué d'apport alluvial hydrique à caractère vertique (CPCS 1967)- FLUVIOSOL vertique (référentiel pédologique-AFES, 2009) - *Vertic Xero Fluvent (Soil Taxonomy)*. Ce sol représente environ 50% des terres cultivées dans le Nord de la dorsale tunisienne [11], soit plus d'un million d'hectares. C'est un sol profond à profil homogène dont les principales caractéristiques physico-chimiques avant la conduite de l'expérimentation, sont présentées dans le tableau 1.

Les prélèvements de ce type de sol ont été effectués dans une parcelle expérimentale de l'Institut National Agronomique de la Tunisie (INAT), située dans la région de Mornag (36° 41 N 10° 19 E), 20 km au sud de Tunis située au nord de la Tunisie. Les échantillons du sol ont été tamisés à 2mm. Le climat est de type semi-aride supérieur à hiver doux; il se

caractérisé par une distribution irrégulière des précipitations durant toute l'année avec une moyenne annuelle de 500 mm. La température moyenne annuelle est de 18°C.

Le sol est de texture limono-argileuse avec des taux de 36.7; 38.7; et 14.6 % respectivement pour l'argile, limon et sable. Le carbone total (CT), l'azote totale (NT), le pH<sub>H2O</sub>, l'humidité pondérale (Hs) et la densité apparente (da) sont respectivement de l'ordre de 1.28 % ; 0.173 % ; 8.5 ; 7.75 % et 1.45.

Les quatre résidus (racines, chaumes ou fanes) sont représentés par un mélange homogène de cinq échantillons ramassés chacun à partir de quatre parcelles correspondantes. Alors que le fumier de ferme provient d'un élevage bovin destiné à l'engraissement et conduit en stabulation entravée avec litière de paille de blé dur.

## 2.2. Analyses chimique et biochimique des résidus

La préparation pré-analytique passe par les étapes suivantes: lavage à l'eau courante des parties aériennes et racinaires des résidus puis à l'eau distillée pour éliminer toute impureté et risque de contamination par la terre. Le séchage des échantillons a été effectué dans une étuve et à une température de 38 +/-2°C jusqu'à poids constant. Enfin, un broyage des parties racinaires et aériennes ensemble a été réalisé.

Le fractionnement des résidus a été réalisé par la méthode Van Soest et Wine (1967) [12]. Le carbone organique a été déterminé après calcination à 550°C. Les cendres ont été ensuite attaquées par HNO<sub>3</sub> (1N). L'extrait final a été ramené à un volume de 100 ml pour servir à l'analyse du phosphore et du potassium. Ces derniers ont été dosés respectivement par un spectrophotomètre ( $\lambda = 660$  nm) et un photomètre à flamme [13]. Le pH<sub>H2O</sub> a été mesuré dans une solution obtenue après agitation de 3 heures et filtration du mélange eau et résidus (1/5). Enfin l'azote total a été déterminé par la méthode micro kjeldahl [13]. L'indice de stabilité biologique (ISB) défini par Linères et Djakovitch (1993) [7]:

$$ISB = 2.112 - (0.02009 \times SOLU) - (0.02378 \times HEMI) - (0.02216 \times CEL) + (0.00840 \times LIGN) \quad (1)$$

où : SOLU représente la fraction soluble (% MOT); HEMI: fraction hémicellulose (% MOT); CELL: fraction cellulose (% MOT); LIGN: fraction lignine (% MOT).

## 2.3. Incubation

Des échantillons de 100 g du sol ont été placés dans des bocaux hermétiques de un litre. L'humidité des échantillons a été ajustée au 2/3 à la capacité au champ pour 100 g de sol sec et la température d'incubation a été de 28°C, à l'obscurité.

Des quantités de résidus organiques sulla, colza, blé et féverole et fumier de ferme de l'ordre de 0.115; 0.046; 0.011; 0.011 et 0.115 g, équivalents à 5; 2; 0.5; 0.5 et 5 tha<sup>-1</sup>, ont été apportées à 100 g de sol sec et comparées à un témoin non amendé. La quantité minimale apportée représente la quantité de résidus restitués au sol en condition d'une année faiblement pluvieuse. Pour chaque traitement, trois répétitions ont été réalisées.

Le CO<sub>2</sub> dégagé au cours de l'incubation a été piégé dans une solution de 5 ml de NaOH 0.1 N [14]. La soude est ensuite titrée par une solution de HCl 0.1N en présence de 5 ml de chlorure de baryum (BaCl<sub>2</sub>) 0.1 N et le phénophtaléine comme indicateur coloré.

Les mesures ont été réalisées pendant une période de 90 jours, à des intervalles de temps réguliers (deux jours pendant deux semaines, puis 4 jours pendant le reste des mois). Le CO<sub>2</sub> piégé par la soude est ensuite titré par HCl (0.1N) après ajout de 5 ml de BaCl<sub>2</sub>. La quantité du carbone minéral exogène apportée par les résidus organiques est calculée par la différence entre la quantité du carbone produite par le mélange (sol + résidus) et le témoin (sans apport) pour la même période.

L'ajustement des cinétiques de minéralisation du carbone en % COT est réalisé selon une équation de 1<sup>er</sup> ordre qui permet d'approcher les tailles des compartiments labiles et résistants des matières organiques du sol:

$$y = a(1 - e^{-kt}) + bt \quad (2)$$

Où : la constante "a" représente la fraction du carbone potentiellement minéralisable, [15,16], "b" représente le coefficient de dégradation du compartiment résistant, "k" représente le coefficient de la vitesse de minéralisation du compartiment minéralisable par jour et "t" représente le temps de minéralisation en jours.

## 2.4. Traitement statistique des données

L'analyse statistique des données relatives aux divers paramètres a été réalisée par le logiciel SPSS (version-20). L'ensemble des mesures a fait l'objet d'une analyse de la variance à un seul facteur pour vérifier au seuil de risque 5 % [17, 18]. L'analyse des variances sera suivie par une comparaison des moyennes intragroupe.

## 3. Résultats et discussion

### 3.1. Caractéristiques chimiques et biochimiques des résidus organiques

#### Carbone total

Une variation significative entre les taux du carbone des différents produits organiques a été observée, avec un c.v = 7.24 % (Tableau1).

Les résidus végétaux se caractérisent par des taux de carbone de 44.07; 43.02; 41.12 et 40.08 % respectivement pour les résidus de Sulla; féverole; blé; et colza. Ces résidus de cultures contiennent plus de matière organique que le fumier de ferme (31.75 %).

### **Azote total**

Comme indiquées dans le tableau 1, les teneurs en azote organique total varient de 0.54 à 2.33 %. Le fumier de ferme est le plus riche en azote total (2.33 %). Alors que, les résidus de cultures se caractérisent par des taux inférieurs à 1 %.

### **Rapport C/N**

Ce rapport est largement utilisé pour classer les types de matières organiques dans un sol. Il représente un indicateur de dégradation des résidus dans un sol. Comparé au fumier de ferme, les rapports C/N des résidus sont très élevés (> 40 %) (Tableau 1) indiquant une décomposition de ces résidus déficitaire en azote.

**Tableau 1.** Spécificités chimique et biochimique des résidus de sulla, colza, blé et féverole en comparaison avec le fumier bovin

Paramètres chimiques	Sulla	Colza	Blé	Féverole	Fumier	c.v (%)
pH	6.82 b	6.59 b	6.11 c	5.65 d	7.53 a	2.65
NT%	0.95 b	0.84 b	0.54 b	0.63 b	2.,33 a	32.17
CT%	44.07 a	40.08 a	41.12 a	43.,02 a	31.,75 b	7.24
C/N	48.04 a	52.94 a	81.,32 a	72.,43 a	14.,14 b	33.66
NDF(%MO)	81.43 a	73.57 b	76.50 ab	66.50 c	29.90 d	4.95
ADF(%MO)	53.38 a	29.77 bc	39.00 b	51.00 a	21.65 c	16.86
ADL(%MO)	17.95 a	7.03 b	8.50 b	15.43 a	19.30 a	23.52
CELL (%)	35.43 a	22.74 b	30.50 a	35.50 a	2.35 c	11.45
HEMI (%)	28.05 b	43.80 a	37.00 a	15.50 c	8.25 d	13.06
LIGN (%)	17.95 a	7.03 b	8.50 b	15.50 a	19.30 a	23.52
SOLU (%)	18.57 d	26.42 c	23.50 cd	33.50 b	70.10 a	9.43
ISB (%)	0.45 ab	0.10 b	0.15 b	0.42 ab	0.63 a	51.69

Les valeurs suivies de la même lettre dans chaque colonne ne sont pas statistiquement différentes au seuil  $\alpha = 5\%$  selon le test de Newman et Keuls.

pH; Azote totale(NT); Carbone totale(CT); rapport C/N; Fibres au détergent neutre (NDF); Fibres aux détergents acides (ADF); Lignines aux détergents acides (ADL); Cellulose: CELL = ADF – ADL; Hémicellulose: HEMI = NDF – ADF; Lignine: LIGN = ADL; Fraction soluble: SOLU = 100 – NDF; ISB: Indice de stabilité biologique ; c.v: Coefficient de variation.

### **pH des résidus**

Les résidus de culture de sulla, blé, féverole et du colza présentent des pH respectifs de 6.82; 6.11; 5.65; et 6.59; significativement plus acides que celui du fumier (7,53) (tableau 1) avec un c.v de 2.65 (Tableau1).

### **Fractionnement biochimique des résidus de cultures**

Les résidus de blé, sulla, féverole et colza sont plus riches en NDF et ADF que le fumier de ferme. Ce dernier devient plus riche en ADL (19.30 %), mais au même niveau que les fabacées (sulla et féverole).

Le fractionnement biochimique de la matière organique des résidus de cultures a décelé des teneurs en cellulose et hémicellulose significativement plus élevées que celles du fumier (> 8.25 %). Les résidus de fabacées se caractérisent par le taux de cellulose le plus élevé que le reste des résidus et du fumier (Tableau1).

Quant à l'hémicellulose, les fabacées et le fumier se caractérisent par les taux les plus bas, respectivement 21.77 et 8.25 %, alors que le colza et le blé ont les taux d'hémicellulose les plus élevés, respectivement 43.80 et 37.00 (%). Par contre, le fumier se caractérise par le taux de lignine le plus élevé (19.30 %) comparé à celui du colza qui garde significativement la teneur la plus faible (7.03%). En matière de fractions solubles testées, le fumier maintient aussi la fraction la plus élevée (70.10%) (Tableau 1).

### **L'indice de stabilité biologique**

Les indices biologiques des fabacées sont supérieurs à 0.42 %. Alors que le colza se caractérise par un indice de stabilité plus faible (0.11 %). Quant au fumier de ferme, il a l'indice le plus important de l'ordre de 0.63.

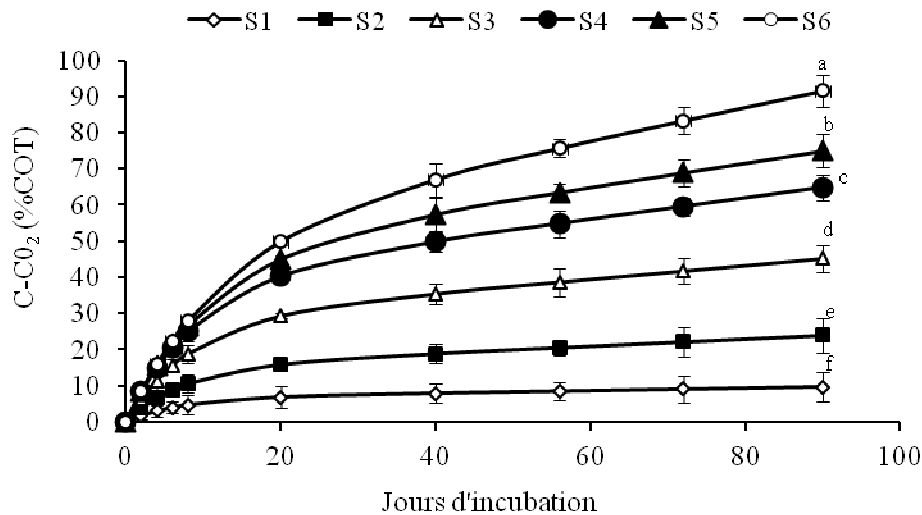
### **3.2. Cinétique de minéralisation potentielle du carbone selon les résidus de cultures**

Quelque soit la nature du mélange sol + résidus, les vitesses de minéralisation se trouvent maximales en début de l'incubation. Elles sont plus importantes dans les mélanges sol + résidus de cultures que sol pur ou sol + fumier. Dans ces derniers, la minéralisation du carbone tend à être constante après 20 à 30 jours d'incubation; contrairement aux autres mélanges qui continuent à se minéraliser même après 90 jours d'incubation.

Lors de l'incubation, le cumul du C-CO<sub>2</sub> libéré au cours de la minéralisation des résidus de cultures a été significativement ( $P < 0.05$ ) plus faible pour les deux témoins sol nu (S1) et fumier (S2) respectivement de 9.64 et 23.91 % COT.

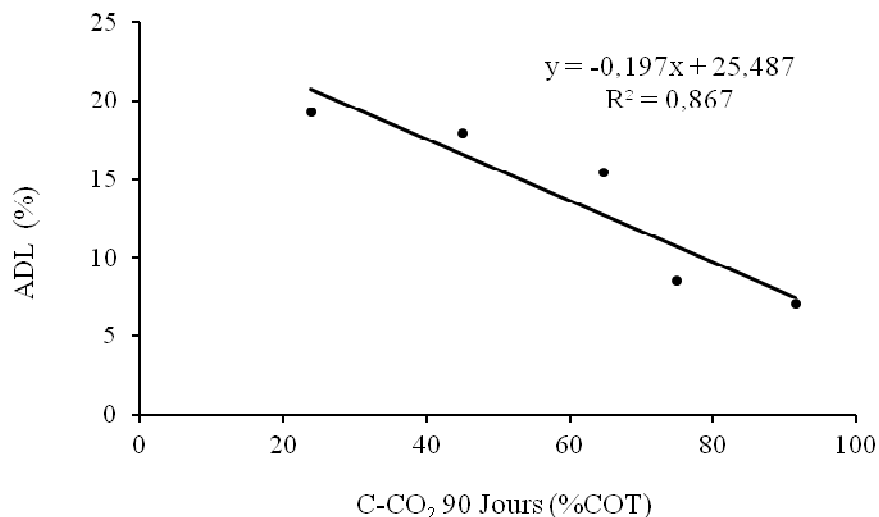
Comparé à d'autres mélanges, sol + résidus du colza favorise une libération C-CO<sub>2</sub> significativement plus élevée de l'ordre de 91.51 % COT (Figure 1).

Pour les différentes quantités de résidus organiques appliqués, les vitesses de minéralisation sont maximales au début des incubations. Elles sont plus importantes avec les résidus de cultures que les amendements organiques (fumier). Les vitesses de minéralisation diminuent rapidement au cours des incubations pour rester globalement constantes jusqu'à la fin de l'incubation.



**Figure 1.** Variation des cumuls de C-CO<sub>2</sub> libérés au cours de la minéralisation selon la nature des résidus. S1: témoin absolu ; S2: sol+ fumier témoin relatif ; S3: sol+sulla ; S4: sol+féverole ; S5: sol+blé ; S6: sol+colza.

Cependant, les taux de carbone libérés par les divers mélanges en fin d'incubation se trouvent corrélés négativement (une pente négative de la droite de régression; soit -0.197) avec les taux ADL respectifs aux divers résidus et fumier. Les mélanges caractérisés par les taux d'ADL les plus bas comme le colza et le blé libèrent plus de C-CO<sub>2</sub> supérieur à 70 % COT après 90 jours d'incubation (Figure 2).



**Figure 2.** Relation entre le taux d'ADL des résidus et quantité de C-CO<sub>2</sub> émise après 90 jours d'incubation dans un sol limono-argileux.

### 3.3. Estimation de la minéralisation potentielle (C0) du carbone, et de la constante de minéralisation (k) selon les mélanges.

L'ajustement des points expérimentaux selon le modèle  $C-CO_2 = a(1-e^{-kt})+bt$ , permet d'estimer les coefficients de vitesse de la minéralisation des compartiments organiques labile et résistant des résidus organiques apportés.

La taille du compartiment labile (a) est plus grande pour les résidus végétaux (27.934 à 50.868 % COT) que pour le fumier 14.914 % COT.

La constante de la vitesse de minéralisation du compartiment labile (k) varie de 0.081 j<sup>-1</sup> et 0.131 j<sup>-1</sup> et est plus élevée pour le fumier de ferme 0.131 (Tableau 2).

**Tableau 2.** Cinétique de minéralisation du carbone durant l'incubation selon les mélanges sol+résidus.

Coefficient de l'équation	S1	S2	S3	S4	S5	S6
a (% COT) = C <sub>0</sub>	6.491	14.914	27.934	38.483	45.043	50.868
b (% COT. jour <sup>-1</sup> )	0.035	0.100	0.191	0.292	0.332	0.452
k (jour <sup>-1</sup> )	0.141	0.131	0.120	0.111	0.095	0.081
R <sup>2</sup>	0.998**	0.999**	0.999**	0.999**	0.997**	0.998**

\*\*indique une significativité au seuil de 0.05

S1: témoin absolu; S2: sol+fumier témoin relatif; S3: sol+sulla; S4: sol+féverole; S5: sol+blé; S6: sol+colza; a: la fraction du carbone potentiellement minéralisé; b: le coefficient de dégradation du compartiment résistant; k: le coefficient de vitesse de la minéralisation exprimée en jour<sup>-1</sup>; t: le temps d'incubation en jours et R<sup>2</sup>: coefficient de corrélation.

La minéralisation du carbone organique total en cours de l'incubation est souvent utilisée comme un indicateur de l'activité microbienne globale. Celle-ci est stimulée par des apports de matières organiques facilement métabolisables, caractérisées par des coefficients de vitesse de minéralisation élevé [20,21]. Les résidus de cultures devraient donc fortement stimuler l'activité microbienne du sol par rapport à un amendement à base de fumier.

De plus, la minéralisation potentielle des résidus organiques étudiés est liée à leur composition biochimique différente. Les intensités de minéralisation sont corrélées positivement avec la teneur en cellulose des résidus organiques et leur rapport C/N (Tableau 3). En revanche, les lignines sont corrélées négativement à la minéralisation du carbone. L'intensité de la minéralisation du carbone organique des résidus est également corrélée positivement avec leur teneur en carbone organique totale COT. La corrélation est négative avec la fraction soluble telle que définie par le fractionnement Van Soest, qui ne peut donc pas être assimilée à une fraction facilement biodégradable.

**Tableau 3.** Coefficient de corrélation entre les quantités du carbone minéralisable au 90<sup>ème</sup> jour (C90j) dans le sol limono-argileux et les caractéristiques initiales des résidus de cultures. Valeur significative au seuil de 5 % et 1 %.

Composé chimiques et biochimiques des résidus de cultures.	La moyenne C90j du sol limono-argileux
%COT	0.353
%N	-0.059
C/N	0.044
CELL	0.753**
HEMICELL	0.657*
LIGN	-0.754**
SOLU	0.417

\*\* La corrélation est significative au niveau 0.01 (bilatéral).

\* La corrélation est significative au niveau 0.05 (bilatéral).

Plusieurs études, ont montré des corrélations entre la composition biochimique et la biodégradabilité de la matière organique [22, 23, 24, 25]. La décomposition des produits organiques testés (Sulla, féverole, colza, blé, et fumier bovin) est en relation étroite avec leurs origine, nature et compositions chimiques et biochimiques [26, 27]. Plus les résidus organiques sont riches en lignine, plus leur biodégradation est difficile suite à la récalcitrance de ces polymères végétaux [28]. Les fractions en fibres des produits organiques ont montré que le fumier est significativement (P < 0.05) plus riche en lignine et en fraction soluble alors que les résidus de cultures sont plus riches en cellulose et hémicellulose. Jedidi (1998), a confirmé ces résultats sur le fumier [11]. La caractérisation des résidus organiques selon l'indice de stabilité biologique (ISB) permet une classification selon leurs natures (Linères et Djakovitch, 1993) [7]. Les résidus des cultures de fabacées se caractérisent par un indice de stabilité biologique plus important que les autres résidus soit 0.44 et 0.42 % respectivement pour le sulla et la féverole. Ces derniers contribuent avec le fumier (0.63 %) à améliorer le stock organique du sol.

Après 90 jours d'incubation, le taux de minéralisation du carbone dans un sol limono-argileux de Mornag amendé avec une quantité minimale des résidus (sol + colza), atteint 92 % du carbone total.

Les mélanges sol+colza et sol+blé, ont subi les plus grandes minéralisations. Le potentiel de minéralisation ( $C_0$ ) est plus important pour les résidus végétaux (27.934 à 50.868 % COT) que pour le fumier (14.914 % COT). Ces résultats montrent que le potentiel de minéralisation est lié à la qualité chimique et biochimique le fumier apportés au sol [11, 29, 30]. Les vitesses de minéralisation sont maximales en début de l'incubation et plus importantes avec les résidus de cultures que le fumier. Les résidus organiques ont permis un accroissement de la minéralisation du carbone organique dans un sol limono-argileux. Ceci est dû à l'augmentation du carbone labile suite à un apport de matière organique exogène servant comme support énergétique principal des micro-organismes [31,32, 33,34, 35,36]. La texture fine de ce sol et l'effet protecteur des argiles par rapport aux molécules organiques expliquent les différences observées dans la proportion du carbone minéralisé [37, 38,39]. Cet effet a été largement discuté [40,41,42]).

En général, le carbone minéralisé est fortement corrélé avec la cellulose, l'hémicellulose au cours de la décomposition [11,45, 46, 47]. Les résultats observés confirment également la relation négative bien connue entre les résidus organiques décomposés et la teneur en lignine [11, 45, 46, 47, 48, 49,50].

## Conclusion

La gestion de la matière organique dans les sols revêt une importance capitale sur le plan agronomique et environnemental. En Tunisie, le stockage du carbone dans le sol est une des alternatives avancées afin d'atténuer les émissions de gaz à effet de serre et d'améliorer la fertilité du sol.

Des différences dans la qualité du carbone du sol ont été établies selon la nature du résidu apporté au sol. Ces différences permettent d'expliquer à priori la similitude dans les profils de dégagement du C-CO<sub>2</sub> dans un sol limono-argileux. Il a été démontré que les résidus de cultures utilisés constituent la principale source de variation dans l'émission de C-CO<sub>2</sub> dans le sol. En effet, la quantité de C-CO<sub>2</sub> émise par ce sol varie entre 23.91 et 91.51 pourcentage de carbone organique total (% COT) des produits organiques ajoutés. L'apport des résidus de fabacées et fumier ont minéralisé des quantités de carbone significativement supérieure ( $P < 0.05$ ) au témoin et inférieure ( $P < 0.05$ ) aux mélange sol-Colza et sol-Blé.

En condition contrôlée de laboratoire sur un sol limono- argileux, l'utilisation des résidus Sulla, blé, colza, et féverole et fumier de ferme, a montré l'intérêt de ces apports dans la fertilité du sols.

Cependant, les résidus végétaux sont plus riches en cellulose (22.74 - 35.50 %) et hémicellulose (15.50- 43.80 %) alors que le fumier est plus riche en matières solubles (70.10 %) et lignine (19.30 %). Avec une quantité minimale d'apport organique représentative d'une année non pluvieuse, les résidus de cultures issus de fabacées permettent d'augmenter le stock organique du sol par rapport aux colza et blé.

Cette recherche basée sur des incubations de laboratoire devrait être testée en condition de plein champ. L'utilisation de modèles de biotransformation du carbone et de l'azote comme le modèle CANTIS, constituera une perspective intéressante. La valorisation agronomique des résidus de cultures et du fumier de ferme constitue une solution d'amélioration durable de la fertilité du sol et une technique de remédiation des sols biologiquement dégradés.

## Références

1. Machinet, G. E., Utilisation de la variabilité génétique du maïs pour évaluer le rôle de la qualité chimique des racines sur le processus de décomposition dans les sols. Thèse de doctorat, Université de Reims Champagne Ardenne, France, (2009) 207.
2. Mhiri A. & Bousnina H., *Ann. INAT*, Tunisie, 16 (1998) 209-228.
3. CIEDE., Centre d'information sur l'énergie durable et l'environnement. Emissions de gaz à effet de serre en Tunisie, (2001) 33.
4. Ben Jeddi, F., *Hedysarum coronarium L.* : Variation génétique, création variétale et place dans les rotations tunisiennes. Thèse de doctorat en sciences biologiques appliquées. Faculté des sciences en bio-ingénierie. Université de Gent Belgique, (2005) 216.
5. Duchaufour, Ph., *Sol, végétation, environnement*, (1997) 291.
6. Singh, B. & Malhi, S.S., *Soil & Tillage Research*, 85 (2006) 153.
7. Linères, M. & Djakovitch, J.L., *Quatrièmes journées de l'analyse de terre - Cinquième forum de la fertilisation raisonnée. Blois*. (1993) 178.
8. Parton, W.J., Persson, J. & Anderson, D.W., *Analysis of Ecological Systems: State-of-the-Art in Ecological Modelling. Elsevier, Amsterdam* (1983) 516.
9. Parnaudeau, V., Caractéristiques biochimiques de produits organiques résiduaux, prédiction et modélisation de leur minéralisation dans les sols. Thèse de doctorat, Agrocampus Rennes, France, (2005) 216.
10. Heal O.W., Anderson, J.M., Swift, M.J., Plant litter quality and decomposition: an historical overview. In: Cadisch, G., Giller, K.E. (Eds.) *Driven by Nature: Plant Litter Quality and Decomposition*. CAB International, Wallingford, UK, (1997).

- 11 Jedidi N., Minéralisation et humification des amendements organiques dans un sol limono-argileux Tunisien. Thèse Ph. D., Université Gent, Belgique (1998) 180.
12. Van Soest, P.J., Wine, R.H., *Journal of Association of Official Agricultural Chemists*, 50 (1967) 55.
13. Pauwels, J.M., Van Ranst, E., Verloo, M. and Mvondoze A., Manuel de laboratoire de pédologie. AGCD. (1992) 265.
14. Freijer, J.I. & Bouten W., *Plant Soil*, 135 (1991) 133-142.
15. Riffaldi, R., Saviozzi A., Lev-Minzi R., *Biol. Fertil. Soil*. 22 (1996) 293 – 298.
16. Ellert, B.H., Bettany, J.R., *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52 (1988) 1692 - 1702.
17. Steel Robert, G. D. et James, H. T., *McGraw-Hill Book Company*, (1980) 633.
18. Dagnelie P., Théorie et méthodes statistiques. *Applications agronomiques*. Universitaire de Gembloux. Belgique 2 (1986) 463.
19. Torri, S., Alvarez, R., Lavado, R., *Soil Science and Plant Analysis*. 34 (2003) 13 – 14.
20. Kirchmann, H., Bernal, M.P., *Soil. Biol. Biochem*, 29 (1997) 1747-1753.
21. Garcia-Gomez, A., Bernal, M. P., Roig, A., *Waste Management & Research*, 21 (2003) 161-171.
22. Jedidi, N., Van Cleemput, O. and M'Hiri A., *Soil organic Matter Dynamics and sustainability of Tropical Agriculture*, (1993)169.
23. Shi, W., Norton, J.M., Miller, B.E., Pace, M.G., *Applied Soil Ecology*, 11(1999) 17-28.
24. Landgraf, D. and Klose, S., *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 165 (2002) 9-16.
25. Han K.H., Choi W., Han J., Yun G.H., Yoo S.I., RO, S.H., *Biology and Fertility of soils*. 39 (2004) 193.
26. Singh, B. & Malhi, S.S., *Soil & Tillage Research*, 85 (2006) 143-153.
27. Swift, M.J., Heal, O.W., Anderson, J.M., *Scientific Publications*, (1979).
28. Bahri H., Marie F.D., Cornelia R., Daniel P.R., Chenu C., André M., *Soil Biol. Biochem.*, 38 (2006)1988
29. Kachaka, S., Vanlauwe, B., Merckx, R., Decomposition and nutrient mineralization of prunings of different quality. In: K. Mulongoy et R. Merckx (eds.). *Soil Organic Matter Dynamics and Sustainability of Tropical Agriculture*, IITA/K.U. Leuven, 1993199-208.
30. Chenu C., Stotzky G., Interactions between microorganisms and soil particles: an overview, in: Huang, P.M., Bollag, J.M., Senesi, N. (Eds.), *Interactions between soil particles and microorganisms*. John Wiley and Sons, Chichester, UK, (2002) 3-40.
31. Serra-Wittling C., - Valorisation de compost d'ordures ménagères en protection des cultures: Influence de l'apport de composts sur le développement de maladies d'origine tellurique et le comportement de pesticides dans un sol. Thèse de doctorat de l'INAPG. (1995) 221.
32. Tejada, M., Gonzalez, j.L., *Eur. J. Agronomy*, 1(2002) 1-12.
33. Annabi, M., Stabilisation de la structure d'un sol limoneux par des apports de composts d'origine urbaine : relation avec les caractéristiques de leur matière organique. Thèse de doctorat : Institut National Agronomique Paris-Grignon, France. (2005) 280.
34. Mathieu, C., Pielain, F., Analyse chimique des sols : Méthodes choisies. Lavoisier Ed. Paris. (2003) 386.
35. Barry, Y., La transformation des apports organiques dans le sol (modèle TAO) : cas des apports riches en azote. Master Recherche CGSE : Université Henri Poincaré UHP, INLP, Nancy, France. 2006
36. Jenkinson, D.S., *J. Soil Sci.*, 28 (1977) 417-423.
37. Oades, J.M., *Biogeochemistry.*, 5 (1988) 35 - 70.
38. Van Veen, J.A., Kuikman, P.J., *Biogeochemistry.*, 11 (1990) 213 - 233.
39. Christensen B.T., *Biol. Fertil. Soils.*, 5 (1988) 304 - 307.
40. Sorensen, L.H., *Plant and Soil*, 75 (1983) 107-119.
41. Feller, C., Fritschi, E., Poss, R. & Valentin, C., *Cah. Orstom. Sér. Pédol.*, 26 N°1 (1991) 25-36.
42. Ladd, J.N., Amato, M., Grace, P.R., Vanveen, J.A., *Soil Biology and Biochemistry.*, 27 (1995) 777-783.
- 43 James, P.M. & Korand, H., *Soil Sci. Soc. Am.*, 17 (1996) 283-302.
44. Sagar, S., Parshotam, A., Hedley, C. & Salt, G., *Soil Biol. Biochem.*, 31 (1999) 2025-2037.
45. Parnaudeau V., Nicolardot B., Robert P., Alavoine G., Pages J., Duchiron F., *Bioresource Technology*, 97 (2006) 1284.
46. Heal O.W., Anderson J.M., Swift M.J., Plant litter quality and decomposition: an historical overview. In: Cadisch G., Giller K.E. (Eds.) *Driven by Nature: Plant Litter Quality and Decomposition*. CAB International, Wallingford, UK, (1997) 3-30.
47. Trinsoutrot, I., Recous, S., Bentz, B., Linères, M., Chèneby, D. et Nicolardot, B., *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 64 (2000) 926.
48. LE Guillou, C., Thèse de Doctorat, Agrocampus ouest, L'institut Supérieur des Sciences Agronomiques, Agro-Alimentaires, Horticoles et du Paysage, Université Européenne de Bretagne, (2011)137.
49. Bertrand, I., Chabbert, B., Kurek, B., Recous, S., *Plant and Soil*, 281(2006)307.
50. Adair, E.C., Parton, W.J., Del Grosso, S.J., Silver, W.L., Harmon, M.E., Hall, S.A., Burke, I.C., Hart, S.C., *Global Change Biology*, 14 (2008) 3660.

(2014) ; <http://www.jmaterenvirosci.com>