

COMPOSITION CHIMIQUE ET BIOCHIMIQUE DE QUATRE RESIDUS DE CULTURES ET FUMIER DE FERME

BOUAJILA K.¹, BEN JEDDI F.¹, JEDIDI N.², REZGUI S.¹, SANAA M.¹

1. Département de Science de Production végétale de l'Institut National Agronomique de Tunisie (INAT) Université de Carthage, Tunis-Mahrajène TUNISIE.
2. Centre de Recherches et des Technologies des Eaux, Institut National de Recherche Scientifique et Hammam-lif, TUNISIE.

Résumé: L'intensification des techniques culturales au cours des dernières décennies a suscité beaucoup de questions quant à l'évolution de la fertilité des sols. La monoculture des céréales, et le travail intensif du sol ont entraîné une diminution de la matière organique (MO) du sol, suivie d'une compaction et une réduction de la capacité de minéralisation. En conséquence, une perte de productivité des systèmes de cultures a été observée. L'utilisation de produits organiques à base de bioressources tels les résidus de cultures comme amendements devient une technique bio-remédiate pour les sols dégradés. Quatre résidus (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 analysés en comparaison avec un fumier bovin comme témoin. L'ensemble des résidus de cultures a été prélevé en juin 2009, d'une parcelle située dans la station expérimentale de l'INAT (Institut National Agronomique de Tunisie) à Mornag (Gouvernorat de Ben Arous/Tunisie). Les quatre résidus végétaux sont caractérisés par un taux en carbone compris entre 40- 44% alors que celui du fumier est de 31,75%. Ce dernier est plus riche en azote total 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 13,62 alors que la moyenne des résidus a été de l'ordre de 59,62. Les résidus des fabacées (sulla, féverole) sont caractérisés par les taux en cellulose les plus élevés correspondant respectivement à 35,4 et 35,5% de la MO; comparés au fumier qui s'est distingué par un plus faible taux de 2,35%. Les teneurs en lignines ont varié de 7 à 19% dans les résidus et fumier. La fraction soluble au détergent neutre a été en moyenne de 26% pour les fabacées et 24% pour le blé et colza, contre 70% pour le fumier. Les résidus de colza se sont caractérisés par l'indice de stabilité biologique ISB le plus faible de 0,11% ; contre un taux de 0,34% pour les autres résidus.

Mots clé: résidus, fumier, bioressources, caractérisation biochimique.

CHEMICAL AND BIOCHEMICAL CHARACTERIZATION OF FOUR CROP RESIDUES AND FARMYARD MANURE

Abstract: Farming techniques intensification in recent decades has raised many questions about soil fertility louse. Monoculture of cereals and intensive tillage have led to soil a rapid degradation of organic matter (OM), followed by compaction and reduction of the capacity of mineralization. Therefore a lost of productivity of farming systems was observed. The use of bioressources such as crop residues in soil fertilization is a technique for bio-remediation of degraded land. Four residus (Root and foliage) of sulla (*Hedysarum cornarium* L.), rapeseed (*Brassica napus* L.), faba bean (*Vicia faba* L. var. *Minuta* (Desf.ex.Alef.) Mansf)) and durum wheat (*Triticum durum* Desf.) were analyzed in comparison with cattle manure as control. All crop residues were taken in June 2009, from an experimental plot located in the experimental station of the Institut Nationl Agronomic of Tunisia INAT, at Mornag (Ben Arous/Tunisia). All plant residues were characterized by a high level of organic carbon (40-44%) while that of manure was 31.75%. In the other hand, the concentration in total nitrogen was very significant for manure (2.33%) compared to the other residues which did not exceed 1%. Consequently, the C/N ratio of manure was 13.62 while the average for the other residues was about 59.62. Residues Fabaceae (sulla, faba bean) were characterized by the highest cellulose rates, respectively 35.4 and 35.5% of the OM, compared to manure which was distinguished by the lowest rate (2.35%). The lignin content varied from 7 to 19 % in the residues and manure. The neutral detergent soluble fraction has an average of 26 % for Fabaceae and 24 % for wheat and rape, whereas it was 70 % for manure. Rapeseed residues were characterized by the index of biological stability ISB lowest of 0.11 % against a rate of 0.34 % for other residues.

Keywords: residues, manure, bioressources, biochemical caracterazition.

Introduction

Les principales origines des produits organiques du sol sont les êtres vivants animaux, végétaux et microbiens [1]. Cependant les résidus végétaux demeurent la principale source de matière organique dans le sol (racines, chaume, paille); engrais verts; et litières forestières...

Au sens large, la matière organique du sol comprend la biomasse vivante, et l'ensemble des résidus [2]. Cette matière est constituée de différentes molécules, issues d'éléments majeurs tels que les glucides, lipides, protéines, lignine, avec des proportions respectives de 15; 2 ; 30; et 50% [3].

La fraction organique est répartie en plusieurs groupes de nature fraîche héritée, microbienne et argilo-humique [3]. 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. Les microorganismes 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 [4].

Le rapport C/N est parmi les indicateurs les plus utilisés servant à

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. Linères et Djakovitch (1993) [5] ont défini un indice de stabilité biologique (ISB) relatif aux produits organiques. Cet indice avec la lignine et le rapport lignine/N ont été introduits dans des modèles décrivant la dynamique du C et N dans le sol [6, 5]. L'ISB permet de caractériser la faculté avec laquelle un amendement organique est minéralisé ou encore sa contribution à l'humus stable. Cependant, le coefficient isohumique K1 [7] se trouve le plus couramment utilisé pour caractériser les matières organiques. Il indique la quantité d'humus stable formée par unité de matière sèche du produit organique frais. Ainsi un produit avec un coefficient K1 élevé ($K1 \geq 0.6$) est un produit stable à haut pouvoir amendant, alors qu'un coefficient K1 ($K1 \leq 0.1$) caractérise un produit organique à faible pouvoir amendant. L'objectif visé à travers cette recherche dans le cadre du développement durable, est la substitution d'une méthode améliorant la fertilité des sols. De ce fait une identification de la composition chimique et biochimique de quatre résidus de cultures et de fumier de ferme a été réalisée qui pourrait être responsable de leur décomposition ou de la

libération de l'azote minéral et une amélioration de la fertilité dans les sols dégradés.

1. Matériel et méthodes

1.1. Les résidus de cultures et fumier de ferme

Quatre résidus (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 choisis pour une analyse chimique et biochimique.

Il est à signaler que les cultures choisies sont les principales cultures introduites dans les systèmes de cultures Tunisiens et les plus abondantes dans la région Nord de la Tunisie.

L'échantillonnage des résidus de cultures a été effectué à l'été 2009 sur des parcelles de la ferme expérimentale de l'INAT à Mornag (Gouvernorat de Ben Arous). Les résidus (racine et paille ou fanes) sont représentés pour un mélange homogène de cinq échantillons ramassés chacun à partir de quatre parcelles correspondantes. Le fumier de ferme provient d'un élevage bovin destiné à l'engraissement et conduit en stabulation entravée avec litière de paille de la même région.

Les résidus utilisés ont été séchés à l'air libre pendant sept jours, ensuite finement broyés et tamisés ($\phi < 2$ mm) avant leur utilisation dans cette étude. Les caractéristiques chimiques des broyats de ces amendements utilisés ont été déterminées au Laboratoire de Production Animale de l'Institut des Régions Arides de Médenine/Tunisie et consignées dans le tableau I.

1.2. Méthodes d'analyses

Le fractionnement des produits organiques a été réalisé par la méthode Van Soest et Wine (1967) [8] (figure 1). Le carbone organique a été déterminé après calcination à 550°C. Les cendres ont été ensuite attaquées par HNO₃ (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 et un photomètre de flamme [9]. Le pH (H₂O) a été mesuré dans une suspension d'amendement organique et l'eau (avec un rapport 1/10) après agitation pendant 3 heures. Enfin l'azote total a été déterminé par la méthode micro kjeldahl [9].



Figure1. Fractionnement des produits organiques par la méthode de Van Soest and Wine (1967)

L'indice de Stabilité biologique (ISB), dont la valeur est comprise entre 0 et 1, correspond à un taux de matière organique stable exprimé par rapport à la matière organique totale (MOT) a été calculé à partir des résultats du fractionnement Van Soest [8] et du fractionnement de Weende [10].

La valeur ISB est donnée par l'équation définie par Linères et Djakovitch (1993) [5]:

$$\text{ISB} = 2,112 - (0,02009 \times \text{SOLU}) - (0,02378 \times \text{HEMI}) - (0,02216 \times \text{CEL}) + (0,00840 \times \text{LIGN})$$

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

Le taux résiduel du carbone (Tr) qui est la quantité du produit organique résistante

à la minéralisation est défini par Robin (1997) [11]:

$$\text{Tr} = (0,3221 \times \text{SOLU} - 0,7155 \times \text{HEMI} + 0,6717 \times \text{CELL} + 1,8919 \times \text{LIGN}) + 0,0271 \times \text{MM}.$$

Avec : SOLU représente la fraction soluble (%MOT); HEMI: fraction hémicellulose (%MOT); CELL: fraction cellulose (%MS); LIGN: fraction lignine (%MS); MOT: teneur en MO (%MS); MM: teneur en matière minérale (%MS)

La valeur amendante qui est la capacité à augmenter la matière organique dans le sol est calculée selon la valeur amendante (VA) des produits organiques (en termes d'aptitude à entretenir le stock de matière organique du sol), et la teneur en matière organique stable exprimée par rapport à la matière sèche du produit:

$$\text{Valeur amendante (ISB) = MO stable (\%MS) = ISB (\%MO \times MO (\%MS) \times 10^{-2}}$$

$$\text{Valeur amendante (Tr) = MO stable (\%MS) = Tr (\%MO) \times MO (\%MS) \times 10^{-2}}$$

Une estimation du coefficient d'humification K_1 des apports peut-être faite indirectement en déterminant l'ISB[5] (Linères et Djakovitch, 1993) et qui représente une manière de caractériser le Carbone stable (C) de tout apport organique par analyse biochimique selon la méthode Van Soest [8] couramment utilisée pour les fourrages:

$$K_1 = \% \text{ C total} \times \text{ISB} [7]$$

Le coefficient isohumique (K_1), traduit la capacité d'un amendement à fournir de l'humus. C'est le rapport entre la quantité totale de carbone apportée, et la quantité de carbone transformée en humus. Le K_1 varie de 0 à 100.

1.3. Traitement statistique des données

Les traitements statistiques des résultats ont été réalisés par le logiciel STATSTICA (version-5) [12]. L'ensemble des mesures a fait l'objet d'une analyse de la variance à un facteur par le test F de Fisher pour vérifier l'hypothèse d'égalité des moyennes au seuil de risque de 5%. Des comparaisons multiples des moyennes par le test de Newman et Keuls quand l'hypothèse

d'égalité des moyennes est rejetée ont été réalisées selon Steel Robert et James (1980) [13], et Dagnélie (1986) [14].

2. Résultats

2.1. 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 %).

2.2. 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 %.

2.3. 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 %)

(tableau1) 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	46,38 c	47,71 c	76,14 a	68,24 b	13,62 d	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	0,11 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.

2.4. 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).

2.5. 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).

2.6. Indicateur de prévision de la décomposition de la matière organique

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.

Les taux résiduels de carbone

Les taux résiduels de carbone (Tr) des résidus de culture varient de 19 à 63 % respectivement pour le colza et le sulla. Le fumier garde un taux résiduel équivalent à celui de la féverole (59 %) (Tableau 2). Selon ces indices, les fabacées (sulla et féverole) sont les produits organiques qui contribueraient le plus au stock humique du sol. En moyenne, 61% de la matière organique totale des résidus de fabacées sont considérés résistants à la biodégradation. Contrairement aux résidus de blé et colza qui interviendraient d'une manière moins importante dans le stock humique du sol. Cependant, le fumier de ferme se classe dans la même catégorie que les fabacées.

Tableau 2. Les indicateurs de prévision de décomposition de la matière organique: ISB: indice de stabilité biologique; Tr: taux résiduels de carbone; VA: valeur amendante des produits organiques; K₁: coefficients d'humification des produits organique.

Résidus organiques	ISB	Tr %	VA (ISB)	VA(Tr)	K ₁
Sulla	0,45ab	63,46a	31,17a	47,79a	0,18a
Colza	0,10b	19,45 d	19,23d	12,97e	0,11b
Blé	0,15b	42,74c	29,83b	30,29d	0,17 ^a
Féverole	0,42ab	59,62 b	29,86b	44,90b	0,17 ^c
Fumier	0,63a	59,75b	26,95c	31,93c	0,18a

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

La valeur amendante des produits organiques

Il s'agit d'une teneur en matière organique stable exprimée par rapport à la matière sèche des produits organiques testés (tableau 2).

Les résidus des fabacées ont des valeurs amendantes VA (ISB) et VA (Tr) de 30,0 et 46,3 %. En ce qui concerne le groupe colza et blé, les valeurs amendantes observées sont moyennes de 24,5 % (VA (ISB)) et 21,55 % (VA (Tr)). Contrairement au fumier de ferme qui a des valeurs moins importantes de l'ordre de 26 et 32 % respectivement pour VA (ISB) et VA (Tr) (tableau 2).

En conséquence, pour une même dose d'apport (en %MS), les résidus de culture de fabacées augmenteront davantage le stock organique du sol que l'amendement fumier en raison de la plus grande richesse des résidus en MOT.

Estimation des coefficients d'humification des produits organiques

Les coefficients trouvés sont significativement semblables pour le blé, la féverole, le sulla, et le fumier (0,17 et

0,18); sauf que le colza qui présente un coefficient isohumique moins important (0,11) (tableau 2).

2.7. Relations entre les paramètres organiques mesurés

Dans cette étude nous avons calculé des corrélations entre les caractéristiques chimiques et biochimiques des résidus organiques (tableau 2) notamment les teneurs en carbone organique Totale COT, azote totale NT, (cellulose (CELL), hémicellulose (HEMI), lignine (LIGN), fraction soluble (SOLU)), NDF, ADF, ADL et le rapport C/N. La lignine est corrélée négativement avec le cellulose ($r = -0,690$) et aussi avec l'hémicellulose ($r = -0,670$). La fraction soluble est aussi corrélée négativement avec le cellulose ($r = -0,846$) et avec hémicellulose ($r = -0,704$). Des corrélations positives ont été enregistrés entre le carbone organique COT et NDF ($r = +0,754$); entre COT et ADF ($r = +0,555$) et entre COT et le Cellulose ($r = +0,934$).

Une autre corrélation négative et hautement significative a été enregistrée entre le carbone et la fraction soluble ($r = -0,754$) (tableau 2).

Tableau2. Coefficient de corrélation (r) entre les différents paramètres organiques mesurées.
Valeur significative au seuil de 5% et 1% si $r > 0,511$ ou $r > 0,641$ respectivement.

	pH	NT	COT	C/N	NDF	ADF	ADL	CELL	HEMI	LIGN	SOLU
pH	1										
COT	,766**	1									
NT	-,668**	-,604*	1								
C/N	-,785**	-,834**	ns	1							
ADL	-,579*	-,876**	,754**	,668**	1						
ADF	-,532*	-,700**	,555*	,582*	,689**	1					
NDF	ns	,678**	ns	-,579*	-,516*	,689**	1				
CELL	-,772**	-,774**	,934**	,650**	,846**	-,516*	ns	1			
HEMI	ns	-,522*	ns	ns	,704**	,846**	-,670**	ns	1		
LIGN	ns	,678**	-,690**	-,579*	-,516*	,704**	1,00**	-,690**	-,670**	1	
SOLU	,579*	,876**	-,754**	-,668**	-1,00**	-,516*	,516*	-,846**	-,704**	,516*	1

*, **, Valeur significative au seuil de 5% et 1% respectivement ; « ns » non significative.

3. Discussions

Les teneurs en carbone organique trouvées dans les produits testés (sulla, féverole, colza, blé, et fumier bovin) sont en relation étroite avec l'origine, la nature et le degré de stabilité de ces produits. Les résidus de cultures sont significativement ($P < 0,05$) plus riches en carbone organique que le fumier de ferme. Ces résultats sont en accord avec les travaux de Recous et al. (1993) [15]; Raynal and Nicolardot (2006) [16]; Bayer et al. (2006) [17]; et Jedidi et al. (1998) [18]. Cependant, le fumier de ferme testé est plus riche en azote que les résidus de cultures [15,18, 19, 20, 21, 22, 23].

Les résidus de cultures se caractérisent par un rapport C/N très élevé variant entre

60,5 et 83,03 comparés au fumier (13,34), qui se trouve conforme aux résultats de Jedidi (1998) [18] qui a montré que ce rapport est de l'ordre de 11,2. En conséquent, ces résidus seront sujets au processus de minéralisation lent [1] et fournissent de l'humus stable. Il est à signaler que les résidus issus de fabacées comme le sulla et la féverole ont la capacité de subir une minéralisation plus rapide que ceux du colza ou du blé. La dégradation des résidus à C/N élevé tend à provoquer une immobilisation de l'azote du sol par les microorganismes [24].

Comme indiqué par He et al. (1995) [25] et Jedidi (1998) [18], le fumier utilisé présente un pH alcalin, alors que les résidus de cultures sont légèrement acides.

En effet, le fumier se distingue des résidus par une richesse en phosphore. Cependant, le fumier de ferme est le plus pauvre en potassium. Ces résultats confirment ceux trouvés par Tessier (2000) [26] ; EHLG (2007) [27] ; Arab H. et al. (2009) [28] ; Bouajila (2006) [22].

La décomposition des produits organiques dépend de leur nature et de leurs compositions chimique et biochimique [29, 4]. Plus les résidus organiques sont riches en lignine, plus leur biodégradation est difficile suite à la récalcitrance de ces polymères végétaux [30]. 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. Ces résultats sont conformes à ceux trouvés par Jedidi (1998) et Boughzala (2009) [18,23]. La caractérisation des résidus organiques selon leur indice de stabilité biologique (ISB) permet leur classification selon leur origine et une mesure rapide du rendement global à déduire après un amendement [5]. 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.

Conclusion

L'étude analytique des amendements organiques (blé, colza, féverole, sulla, et fumier bovin) utilisés révèle que la composition chimique et biochimique varie selon la nature du produit organique. Selon le rapport C/N, deux groupes de produits ont été distingués: le fumier avec un C/N de 13,62 et les résidus de culture à C/N très élevé (46,38 et 76,14).

Les résultats obtenus ont montré que 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 %). Ainsi, pour une même dose d'apport organique, les résidus de culture issus de fabacées permettent d'augmenter davantage le stock organique du sol par rapport à d'autres formes comme le colza et le blé mais aussi le fumier.

Dans une perspective de séquestration du carbone dans les sols, en tant que moyen de lutte contre les gaz à effet de serre dans l'atmosphère, le fumier de ferme constitue une solution intéressante mais très coûteuse et peu disponible. De ce fait, La valorisation agronomique des résidus

de cultures de fabacées comme le sulla ou la féverole constitue une solution d'amélioration durable de la fertilité du sol et une technique de remédiation des sols biologiquement dégradés par des bioressources.

Références bibliographies

- [1] **Morel R.**, Les sols cultivés, Technique et documentation-Lavoisier Edition, 1996.
- [2] **Ekschmitt K., Liu M., Vetter S., Fox O., Wolters V.**, 2005 - Strategies used by soil biota to overcome soil organic matter stability. Why is dead organic matter left over in the soil? *Geoderma*.128: 167-176.
- [3] **Duchaufour Ph.**1997- Abrégé de Pédologie. Sol, végétation, environnement. Masson, Paris.
- [4] **Singh B., & Malhi S.S.** 2006- Response of soil physical properties to tillage and residue management on two soils in a cool temperate environment. *Soil & Tillage Research*; 85: 143-153.
- [5] **Linères M., Djakovitch J.L.** 1993- Caractérisation de la stabilité biologique des apports organiques par l'analyse biochimique. In : J. Decroux, J.C. Ignazi (Eds.), Quatrièmes journées de l'analyse de terre. Cinquième forum de la fertilisation raisonnée. Blois.
- [6] **Parton W.J., Persson J., Anderson D.W.** 1983- Simulation of organic matter changes in Swedish soils. In: W.K. Lauenroth, G.V. Skogerboe, M. Flug (Eds), *Analysis of Ecological Systems: State-of-the-Art in Ecological Modelling. Elsevier, Amsterdam* : 511-516.
- [7] **Hénin S., Dupuis M.** 1945- Essai de bilan de la matière organique, *Annales Agronomiques* ; 15:161-172.
- [8] **Van Soest P.J., Wine R.H.** 1967- Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. IV. Determination of plant cell-wall constituents, *Journal of Association of Official Agricultural Chemists*; 50: 50-55.
- [9] **Pauwels J.M., Van Ranst E., Verloo M. and Mvondoze A.**, 1992- Manuel de laboratoire de pédologie (Eds.), méthodes d'analyses des sols et des plantes ; équipements, gestion des stocks de verrerie et de produits chimiques. Centre Universitaire de Dschang. AGCD, *Publications agricoles* ; 28: 265.
- [10] **Afnor**, 1997- Norme Française homologuée, Aliments des animaux. Détermination séquentielle des constituants pariétaux. Méthode par traitement aux détergents neutre et acide et à l'acide sulfurique, Afnor publ., Paris, NF V 18-122, , p. 11.

- [11] **Robin D.** 1997- Intérêt de la caractérisation biochimique pour l'évaluation de la proportion de matière organique stable après décomposition dans le sol et la classification des produits organo-minéraux, *Agronomie* ; 17: 157-171.
- [12] **StatSoft, STATISTICA**, Logiciel de statistique, France, 1998.
- [13] **Steel Robert G. D. and Torrie J. H.** 1980- Principles and procedures of statistics. A biometrical approach. McGraw-Hill Book. Company. New York, USA.
- [14] **Dagnelie P.**, 1986- Théorie et méthodes statistiques. Applications agronomiques, Presse Universitaire de Gembloux. Belgique. 2 : 463.
- [15] **Recous S., Darwis D., Robin D., Machet J.M.**, 1993- Décomposition des résidus de récolte interaction avec la dynamique de l'azote. In : actes de quatrième journée de l'analyse de terre (GEMAS) et cinquième forum de la fertilisation raisonnée (COMIFER), Blois, France, pp 3-16.
- [16] **Raynal C., Nicolardot B.** 2006- Une meilleure connaissance des engrais et amendements organiques utilisés en biologie. *Alter.agri.* 79 : 14-17.
- [17] **Bayer, Lovato, Dieckow, Zanatta, Mielniczuk**, 2006- A method for estimating coefficients of soil organic matter dynamics based on long-term experiments. *Soil and Tillage Research* ; 91: 217-226.
- [18] **Jedidi N.**, 1998- Minéralisation et humification des amendements organiques dans un sol limono-argileux tunisien, Thèse Ph. D., Université Gent Belgique, 180p.
- [19].- **Trinsoutrot I., Recous S., Bentz B., Linères M., Chèneby D., Nicolardot B.** 2000- Biochemical quality of crop residues and carbon and nitrogen mineralization kinetics under nonlimiting nitrogen conditions, *Soil Science Society of America Journal*; 64: 918-926.
- [20] **Francou C.**, 2003- Stabilisation de la matière organique au cours du compostage de déchets urbains : Influence de la nature des déchets et du procédé de compostage – Recherche d'indicateurs pertinents, Thèse Ph. D., Institut National Agronomique de Paris-Grignon, Paris, France, 288p.
- [21] **Ben Jeddi F.**, 2005- *Hedysarum coronarium* L. variation génétique, création variétale et utilisation dans des rotations tunisiennes, Thèse de doctorat en sciences biologiques appliquées de la Faculté des Sciences en Bio ingénierie, Université de Gent Belgique, 216p.
- [22] **Bouajila K.** 2006- Introduction du sulla Bikra 21 comme base d'un agro

système multifonctionnel à la ferme de SEDAN à Bousalem (Tunisie). Mémoire de Master de l'Institut National Agronomique de Tunisie, Université de CarthageTunisie, 110p.

[23] **Boughzala M.**, 2009- Minéralisation du carbone et de l'azote organiques dans un sol : relation avec les caractéristiques des matières organiques apportées au sol et la salinité de l'eau. Mémoire de Master de l'Institut National Agronomique de Tunisie, Université de Carthage Tunisie,99p.

[24] **Kumar K., Goh K.M.**, 2000- Crop residues and management practices: effects on soil quality, soil nitrogen dynamics, crop yield, and nitrogen recovery. *Advances in Agronomy*; 68: 197-783.

[25] **He X. T., Logan T. J., Traina S. J.** 1995- Physical and Chemical Characteristics of selected U.S. Municipal Solid Waste Compost. *J. Environ. Qual.*; 24:543-552.

[26] **Tessier M.**, 2000- L'Analyse des fumiers et lisiers: un outil essential : Rapport d'activités du projet Échantillonnage des engrais de ferme, Canada.

[27] **Euskal Herriko Laborantza Ganbara**, 2007- Valoriser les engrais de ferme, Ainhice Mongelos, France.

[28] **Arab H., Haddi M.L., Mehennaoui S.**, 2009- Evaluation de la valeur nutritive par la composition chimique des principaux fourrages des zones arides et semi- arides en Algérie, *Sciences & Technologie*; 30: 50-58.

[29] **Swift M.J., Heal O.W., Anderson J.M.** 1979- Decomposition processes in New Zealand soils with particular respect to rates and pathways of plant degradation, In: J.M. Anderson et A. Macfayden (Eds), *The role of terrestrial and aquatic organisms in decomposition processes*, Blackwell Scientific Publications, Oxford, pp 97-144.

[30] **Bahri H., Dignac M.F., Rumpel C., Rasse D. P., Chenu C., Mariotti A.** : Lignin turnover kinetics in an agricultural soil is monomer specific. *Soil Biol. Biochem.*; (2006) ; 38: 1977-1988. 17-23.