

Compost: a remedy for affected soils by climatic change when applying humic substances

Le compost : un remède aux sols agressés par les changements climatiques par apport de substances humiques



Conférence Scientifique
Internationale sur
l'Environnement et
l'Agriculture

S. MASMOUDI^{1*}, K. MEDHIOUB¹ ET E. AMMAR²

¹Research Unit Urban and Coastal Environments, University of Sfax, Preparatory Institute of Engineering Studies in Sfax, B.P. 805, 3018-Sfax, Tunisia

²National Engineering School in Sfax, B.P. 1173, 3038-Sfax, Tunisia

*Corresponding author: saoussanmasmoudi@yahoo.fr

Abstract - In Tunisia, organic wastes production accounts for 68% of municipal solid wastes. These wastes, dumped on the environment, cause serious problems of pollution, soil quality degradation and greenhouse gas emissions. The organic wastes composting contributed to improving the soil structural stability and the organic carbon sequestration and consequently the reduction of the carbon emissions to the atmosphere which affected the global warming. The objective of this work was to study the compost effects on the soil humic materials stability. The manure was applied at 10% rate and the compost was applied at 10%, 20% and 40% (v/v) rates. Humic (HA) and fulvic acids (AF) extraction was performed at the 0-15 and 15-30 cm soil layers. The amended soils HA were characterized by chemical and spectroscopic methods (U.V and FTIR). Compost amended soil exhibited an improvement in AH and AF contents and high humification parameters values. The E_4/E_6 ratios showed that the 10% compost amended soil HA displayed a high molecular weight fractions and a polycondensed structure resulting from humification. Infrared spectra showed an increase in AH aromaticity and a reduction in oxygen-containing groups, reflecting soil stability. Moreover, structural changes in HA were observed at the soil surface layer, indicating their high reactivity compared to those extracted from the deep soil layer. The application of compost is effective in enhancing soil humic matter and structural stability, which would contribute to the greenhouse gas emissions reduction that affect climate change.

Keywords: Compost, soil organic carbon sequestration, humic acids, spectroscopic analysis (U.V and FTIR).

Résumé - En Tunisie, la production de déchets organiques représente 68 % des déchets municipaux solides. Ces déchets, déposés sur le sol, causent de sérieux problèmes de pollution, de dégradation de la qualité du sol et de l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre. Le compostage de ces déchets contribue à améliorer la stabilité structurale du sol et à la séquestration du carbone organique, et par conséquent la réduction de l'émission du carbone vers l'atmosphère contribuant ainsi au réchauffement climatique. L'objectif de ce travail est d'étudier les effets du compost sur la stabilité des matières humiques du sol. Le fumier a été appliqué à 10 % et le compost a été appliqué à 10 %, 20 % et 40 % (v/v). L'extraction des acides humiques (AH) et des acides fulviques (AF) a été réalisée au niveau des horizons 0-15 et 15-30 cm. Les AH des sols amendés ont été caractérisés par des méthodes chimiques et spectroscopiques (U.V et IRTF). L'amendement des sols par le compost a amélioré les teneurs en AH, AF et les paramètres d'humification. Les rapports E_4/E_6 obtenues témoignent que les AH du sol traité par le compost à 10 % présentent une structure polycondensée à haut poids moléculaire résultant de l'humification. Les analyses par spectroscopie infrarouge ont montré l'augmentation de l'aromaticité des AH et la réduction des groupements contenant l'oxygène, reflétant la stabilité du sol. Par ailleurs, les changements structuraux des HA ont été observés au niveau de l'horizon de la surface du sol, ce qui traduit leur importante réactivité par rapport à ceux extraits de l'horizon profond du sol. L'application du compost est efficace pour l'amélioration de la stabilité de la matière humique et la structure du sol, ce qui contribuerait à la réduction des émissions de gaz à effet de serre affectant les changements climatiques.

Mots clés: Compost, séquestration du carbone organique du sol, acides humiques, méthodes spectroscopiques (U.V et IRFT).

1. Introduction

En Tunisie, le taux d'évolution du volume des déchets est de 2,5 % par an. La production des déchets d'origine industrielle est estimée de 8 millions de tonne par an, la production des déchets ménagers est de 2,5 millions de tonne par an et celle des déchets médicaux est de 0,2 millions de tonne par an. Ces déchets posent un problème crucial de pollution (Samadder et al. 2017). Les déchets biodégradables représentent 68 % de la composition des déchets municipaux solides. L'utilisation de la MO - le compost essentiellement - comme base de la fertilisation et de l'entretien des sols est une des solutions envisagées pour limiter la quantité des déchets expédiée aux zones de décharges, réduire les impacts environnementaux de ces déchets qui sont liés à la contamination des sols, l'émission des gaz à effet de serre et aux nuisances olfactives, etc., ainsi que de produire une nouvelle source de matière organique (MO). Par conséquent, le compostage se positionne comme une technique alternative et une des solutions pour un développement agricole durable, écologiquement viable et économiquement efficace. Tel que défini par Mustin (1987), le compostage est un procédé biologique contrôlé, qui permet la conversion des substrats organiques en un produit stabilisé, hygiénique semblable à un terreau et riche en composés humiques ; ce produit contribue à renforcer le stock de l'humus dans le sol.

L'objectif de ce travail est d'étudier les effets du compost sur l'évolution de la matière organique des sols isohumiques pour des essais d'expérimentation sous serre. Les caractéristiques des acides humiques des sols amendés ont été investiguées en fonction de trois facteurs : la dose du compost appliquée, la profondeur du sol et le temps de l'expérimentation.

La présente étude a pour but d'étudier les changements des propriétés structurales et fonctionnelles des acides humiques produits.

2. Matériels et méthodes

L'expérimentation a été réalisée dans un système de culture sous serre. Le site expérimental est localisé au Centre Educatif Agricole « El Matar » de l'Union Tunisienne d'Aide aux Insuffisants Mentaux (l'U.T.A.I.M), situé au Nord-Est de la Tunisie, à 34° 43' Nord et 10° 41' Est coordonnées GPS. Le sol est de type isohumique et de texture limono-argilo-sableuse.

Il s'agit d'un dispositif en split-plot, constitué de cinq parcelles de 1,5 m² de surface chacune. Le fumier témoin a été épandu à raison de 10 %, et le compost C a été appliqué à trois doses à raison de 10 %, 20 % et 40 % et un sol témoin sans amendement. Les parcelles ont été irriguées régulièrement deux fois par semaine à raison de 10 L d'eau/parcelle. Trois répétitions ont été effectuées pour chaque traitement. Les échantillons du sol ont été prélevés initialement (juste après amendement) et après culture, au niveau de l'horizon de surface (0-15 cm) et en profondeur (15-30 cm). L'étude des propriétés du sol a été réalisée sur des échantillons séchés à l'air et tamisés à 2 mm.

Le compost est préparé par le co-compostage du mélange des fractions organiques des grignons épuisés (30 %), fientes (23 %), boues (14 %), posidonies (11 %), grignons frais (10 %), pâtes de margines (6 %) et d'écorces d'amandes (6 %). Le compost préparé est caractérisé par un pH de 7,86, une teneur élevée en azote de 1,92 % et en éléments minéraux (Ca²⁺ et P) et un rapport C/N de l'ordre de 15,9 (Tableau 1).

Tableau 1. Caractérisation physico-chimique du compost utilisé

Paramètres	Compost
pH	7,86±0,09
CE, mS/cm	9,07±0,27
MO, %	57,62±1,48
NTK, %	1,92±0,07
C/N	15,89±0,55
CEC, méq/100 g	22,53±0,77
P _T , g/kg	10,04±0,06
Ca, g/kg	34,65±0,46
K, g/kg	11,92±0,42
Mg, g/kg	5,76±0,03
IG, %	86,7±1,2

MO: Matière organique, NTK: Azote total Kjeldahl, CEC: Capacité d'échange cationique, PT: Phosphore total, IG: Indice de germination.

Le sol étudié renferme une teneur en CO plus élevée (0,91 %) au niveau de l'horizon de surface (0-15 cm) qu'en profondeur (0,62 %) (15-30 cm), une CE constante au niveau des deux horizons étudiés et une teneur en CaCO₃ (%) importante en profondeur (19,25 %) (Tableau 2).

2.1. Analyses physico-chimiques

Le pH a été mesuré sur un extrait sol-eau de 1/10 (m/v). Le carbone organique total a été dosé selon la méthode d'Anne (oxydation par le bichromate de potassium en milieu sulfurique). La teneur en azote total a été déterminée par la méthode Kjeldahl. La mesure de la capacité d'échange cationique (CEC) du sol est effectuée par percolation du sol qui consiste à saturer le complexe absorbant à l'acétate d'ammonium à pH 7. L'excès de l'ion ammonium (NH₄⁺) est éliminé par lavage à l'alcool. Les ions ammoniums fixés sont déplacés par le chlorure de sodium. Le percolat récupéré a servi à déterminer la CEC en dosant ces ions ammoniums par la méthode kjeldahl.

Tableau 2. Propriétés physico-chimiques du sol expérimenté

	Profondeur (cm)	
	0-15	15-30
Sable (%)	70,0±1,5	71,5±2,1
Limons (%)	10,5±0,2	7,5±0,1
Argile (%)	21,5±0,4	21,0±0,3
PH	8,14±0,07	8,10±0,12
CE (mS/cm)	1,11±0,02	1,05±0,02
CO (%)	0,91±0,03	0,62±0,01
NTK (%)	0,089±0,002	0,063±0,002
C/N	10,58±0,14	10,27±0,64
CaCO ₃ (%)	18,34±0,11	19,25±0,10
Ca (méq/100 g)	23,91±0,35	23,82±0,32
K (méq/100 g)	2,33±0,08	1,71±0,03
Mg (méq/100 g)	2,74±0,08	2,54±0,07
Na (méq/100 g)	2,23±0,05	2,50±0,07
CEC (méq/100 g)	7,91±0,09	7,16±0,06

2.2. Fractionnement de la matière organique

L'extraction des composés humiques des sols traités a été effectuée par addition des réactifs alcalins : le pyrophosphate de sodium (Na₄P₂O₇) 0,1 N et l'hydroxyde de sodium 0,1 N au sol à un rapport 5/1. La séparation des AH et AF a été réalisée suite à l'acidification des extraits alcalins par l'acide chlorhydrique concentré jusqu'à pH=1.

Le carbone organique, associé à la fraction des AH extraite du sol, est mesuré en utilisant un analyseur du carbone organique total (Analytik Jena, modèle N/C 2100 analyzer, Germany).

2.3. Analyses statistiques

Les analyses de variance (ANOVA, test de Fisher) ont été faites à l'aide du logiciel IBM SPSS Statistics 19. Le test Student a été utilisé avec un seuil de signification de 5 % pour comparer les valeurs moyennes des propriétés physico-chimiques et des caractéristiques des substances humiques du sol au début de l'essai avec celles obtenues après culture.

3. Résultats et Discussion

3.2. Etude des paramètres physico-chimiques du sol

L'addition du compost et du fumier a contribué à l'augmentation de la teneur en carbone organique (CO) et de la capacité d'échange cationique (CEC) des sols traités par rapport au sol témoin (Tableau 3).

L'augmentation de la CEC après l'application des amendements organiques pourrait s'expliquer par l'apport d'une quantité importante de MO du fumier et du compost et probablement la forme et la taille des fractions de leur MO (Hemmat et al. 2010).

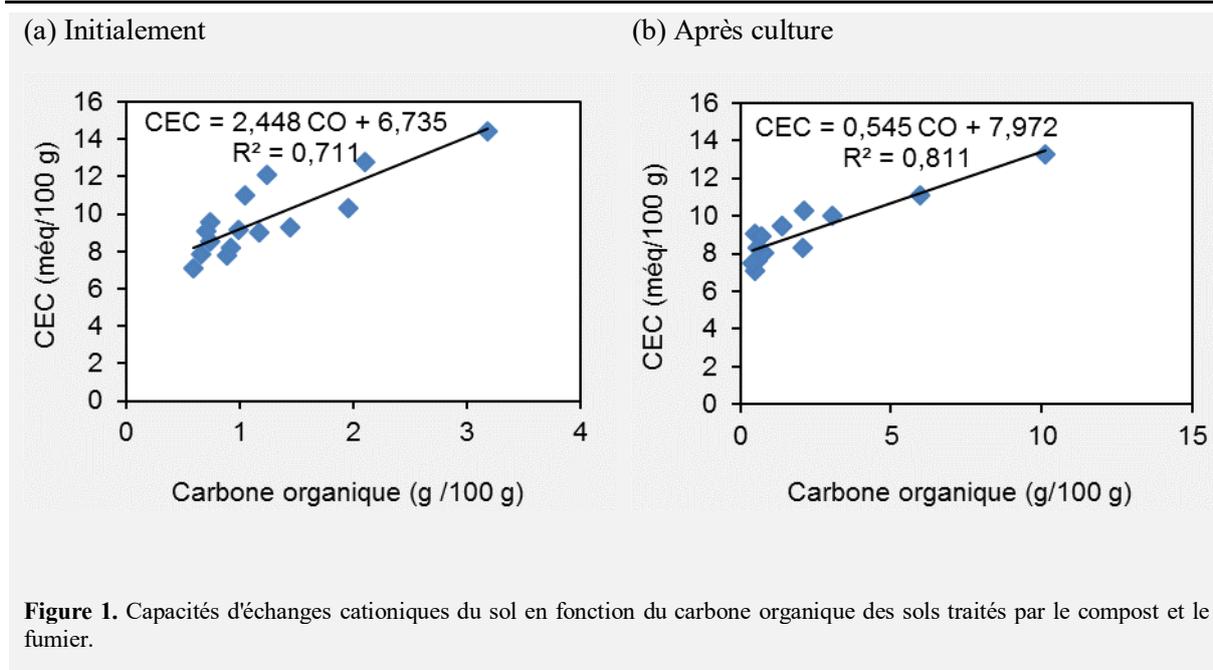
Tableau 3. Teneurs en carbone organique (CO) et capacité d'échange cationique (CEC) du sol témoin et ceux amendés.

Type d'amendement	Dose (%)	Profondeur (cm)	CO (%)		CEC (méq/100 g)	
			Initialement	Après culture	Initialement	Après culture
Témoin	0	0 - 10	0,80±0,03	0,93±0,04	8,01±0,18	8,20±0,21
		10 - 20	0,58±0,02	0,66±0,02	7,66±0,24	7,87±0,13
		20 - 30	0,50±0,01	0,60±0,02	7,06±0,20	7,10±0,14
Sol amendé par le fumier	10	0 - 10	2,12±0,08	1,96±0,06	9,98±0,14	10,31±0,24
		10 - 20	0,74±0,02	0,99±0,03	8,07±0,22	9,16±0,31
		20 - 30	0,41±0,01	0,74±0,02	7,46±0,09	8,56±0,22
Sol amendé par le compost	10	0 - 10	3,07±0,05	1,24±0,04	10,29±0,16	12,11±0,29
		10 - 20	1,38±0,05	1,05±0,05	9,48±0,29	11,00±0,30
		20 - 30	0,50±0,02	0,74±0,02	9,08±0,22	9,56±0,17
Sol amendé par le compost	20	0 - 10	5,97±0,11	2,11±0,08	11,12±0,34	12,77±0,24
		10 - 20	1,38±0,03	1,17±0,05	9,46±0,28	9,60±0,35
		20 - 30	0,57±0,02	0,89±0,04	8,29±0,22	8,56±0,12
Sol amendé par le compost	40	0 - 10	10,12±0,12	3,18±0,09	13,27±0,51	14,42±0,38
		10 - 20	2,06±0,04	1,45±0,04	8,29±0,11	9,26±0,17
		20 - 30	0,69±0,02	0,71±0,02	8,91±0,26	9,06±0,23

Au niveau de l'horizon 0-10 cm, cette augmentation est plus importante dans le traitement du sol à 10 % de compost que celui à 10 % de fumier et ce par l'effet additif de la MO apportée associée à la MO du compost. Par ailleurs, l'augmentation de la dose de compost a contribué à l'augmentation de la capacité d'échange cationique du sol. En plus, les teneurs en CO et la CEC diminuent avec la profondeur. En fait, une relation linéaire et significative existe entre la CEC et le CO des sols amendés qui est expliquée par l'importante charge négative de la matière organique (Diacono et Montemurro 2010) (Figure 1).

Par ailleurs, la CEC est plus faible aux niveaux des horizons profonds qu'en surface du sol et ce à cause de la faible teneur en matière organique des horizons 10-20 et 20-30 cm.

Après culture, la CEC a augmenté par rapport à sa valeur initiale et par rapport à celle du sol témoin, au niveau de l'horizon 0-10 cm. Cet effet peut être expliqué non seulement par l'accumulation de matières organiques portant une charge négative, mais aussi par une augmentation des groupements carboxyles et/ou hydroxyles phénoliques présents dans le sol (Jiménez et Garcia 1991).



Au cours du temps, la variation de la CEC diminue en augmentant la dose de compost engendrant la réduction de la saturation en bases échangeables avec l'augmentation de la dose de compost (Tableau 3). Cet effet est le résultat de la formation des complexes organo-minéraux peu stables dans le sol.

3.2. Effets de l'application du compost à différentes doses sur les caractéristiques des substances humiques du sol

3.2.1. Teneurs en acides humiques

Au niveau du sol témoin, la teneur en acide humique du sol est de l'ordre de 0,23 % représentant 28,7 % de la teneur en COT de l'horizon de surface, et elle est égale à 0,27 % représentant 54,0 % du COT au niveau de l'horizon 15-30 cm (Figure 2). A la fin de la culture, au niveau de l'horizon 0-15 cm des sols amendés (le compost et le fumier), les teneurs en acides humiques ont augmenté par rapport à celle du sol témoin et rejoignent les résultats de García-Gil et al. (2004) et ceux de Pramanik et Kim (2014) (Figure 2). Pramanik et Kim (2014) reportent, lors de l'étude des AH d'un sol limono-argileux, des teneurs en AH moins importantes que celles des AH des sols étudiés. Au cours du temps, la diminution des teneurs en AH au niveau de l'horizon 0-15 cm des sols amendés est le résultat de leur dégradation et leur assimilation par les plantes. Au niveau de l'horizon 15-30 cm, l'augmentation des teneurs en AH pourrait être le résultat de l'humification de la matière organique qui est plus intense en profondeur qu'en surface, puisque les conditions du milieu diffèrent par le taux d'oxygène et l'humidité différente en profondeur qu'en surface. Ces conditions orientent l'activité microbienne plutôt vers l'humification que la minéralisation.

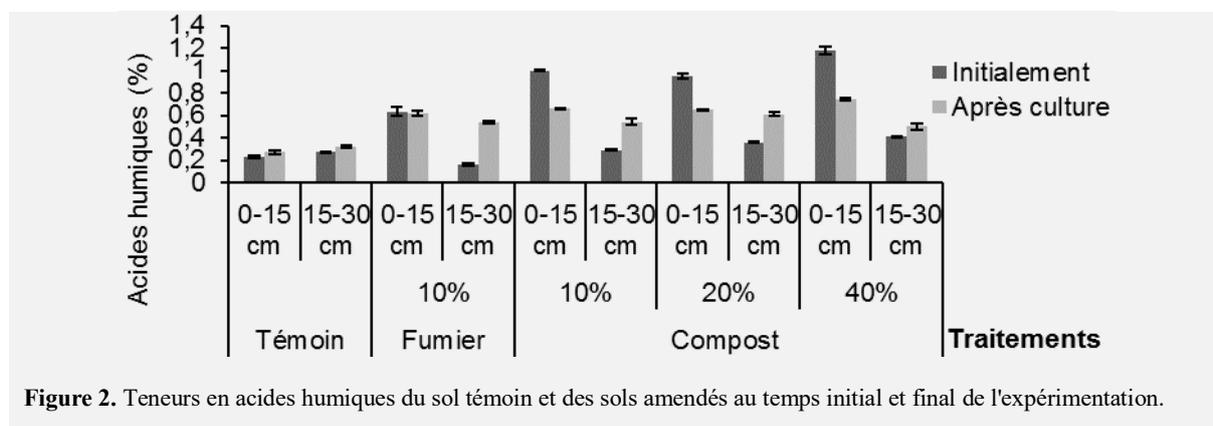


Figure 2. Teneurs en acides humiques du sol témoin et des sols amendés au temps initial et final de l'expérimentation.

En effet, d'après Fontaine et al. (2007), le CO est difficilement biodégradable en profondeur se trouvant protégé sous une forme liée aux minéraux du sol. Ce qui constitue la protection physique de la matière organique conduisant à la formation des composés récalcitrants importants pour la séquestration du C dans la fraction organique stable, qui est une composante importante dans la qualité et la fertilité du sol (Tan et al. 2017).

3.2.2. Teneurs en acides fulviques (AF)

A la fin de la culture, une diminution de la teneur des AF est observée au niveau des deux horizons étudiés (0-15 et 15-30 cm) (Figure 3). Cette diminution est attribuée à leur polymérisation et à leur transformation en molécules plus complexes tel que les AH, étant les précurseurs de l'humification (Plaza et al. 2003; Fernandez et al. 2007).

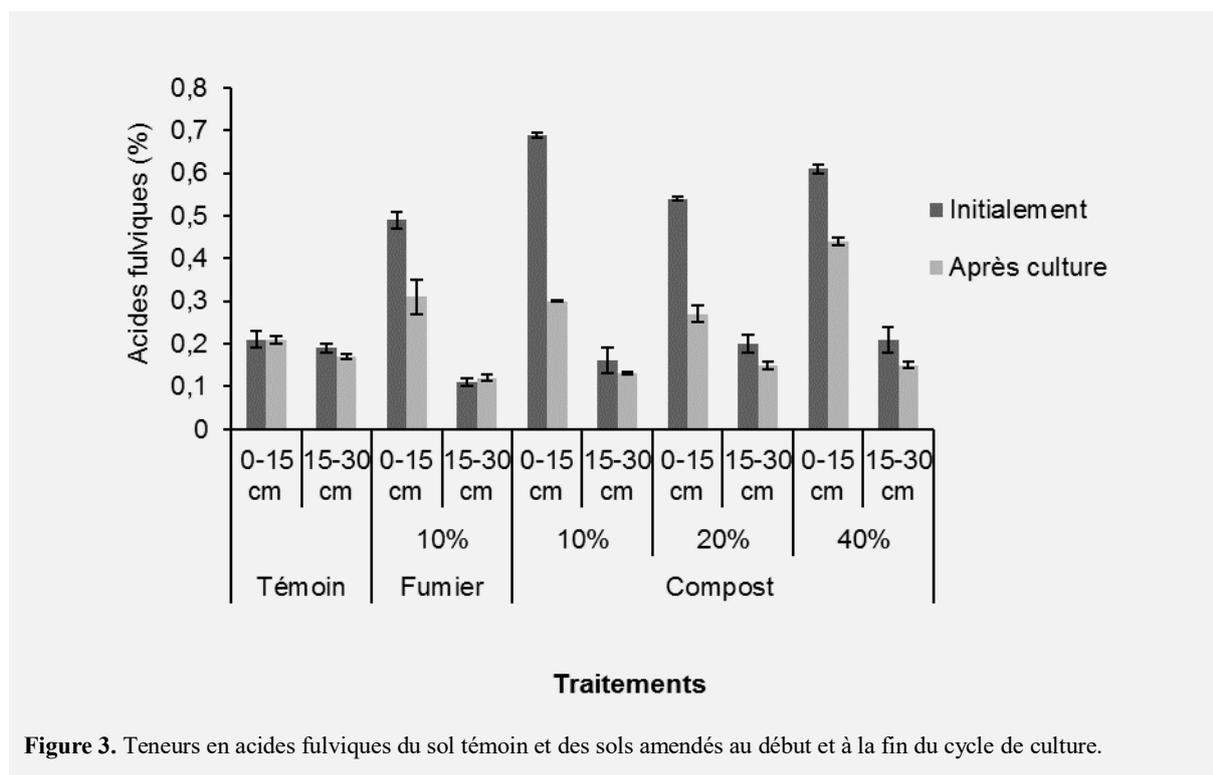


Figure 3. Teneurs en acides fulviques du sol témoin et des sols amendés au début et à la fin du cycle de culture.

3.2.3. Les paramètres d'humification

3.2.3.1. Le degré de polymérisation C_{AH}/C_{AF}

Après la culture, il s'avère que l'addition du compost au sol a engendré l'augmentation du rapport C_{AH}/C_{AF} comparé à sa valeur initiale et à celle du sol témoin (Tableau 4). Ceci indiquerait une augmentation de la fraction du carbone associée aux AH dans le sol (Angelova et al. 2013).

Les teneurs en acides fulviques, précurseurs de l'humification, diminuent de manière plus marquée que celles des acides humiques dans les sols traités, d'où l'augmentation enregistrée des rapports C_{AH}/C_{AF} (Tardy et al. 2005).

Au niveau de l'horizon 0-10 cm, le degré de polymérisation est plus important dans le sol traité par le compost à 10 % (2,20) que celui traité par le fumier à la même dose (2,03), témoignant d'une plus importante polymérisation des acides humiques du compost. En effet, ceci peut être le résultat de l'apport d'une MO de compost plus récalcitrante et plus stable que celle du fumier favorisant son adsorption à la matrice minérale du sol. En effet, Kaiser et Guggenberger (2000) ont montré que l'adsorption de la MO à la surface des minéraux du sol (les oxyhydroxydes de Fe et d'Al) implique de fortes liaisons de complexation entre la surface des métaux et des ligands organiques acides, en particulier avec ceux qui sont associés aux structures aromatiques. Par ailleurs, ceci montre l'effet bénéfique des acides humiques du sol sur l'environnement par leur contribution à la formation de complexes acides humiques-métaux stables empêchant ainsi la contamination des sols.

Le rapport C_{AH}/C_{AF} obtenu au niveau du sol amendé par le compost à 40 % est la plus faible probablement à cause de la teneur importante en AH apportée qui diminue dans le sol suite au processus intense de minéralisation (Hernando et al.1989).

Tableau 4. Rapport C_{HA}/C_{FA} et paramètres d'humification du sol témoin et des sols amendés.

Sol	Dose	Profondeur (cm)	C_{HA}/C_{FA}		TH (%)		IH (%)		
			Initiale-ment	Après culture	Initiale-ment	Après culture	Initiale-ment	Après culture	
Témoin		0-15	1,15	1,26	55,00	51,61	28,75	29,03	
			±0,02	±0,03	0,13	±0,72	±0,77	±0,87	
		15-30	1,42	1,88	92,00	81,67	54,00	53,33	
			±0,02	±0,03	±2,39	±1,37	±1,02	±1,31	
Sol amendé par le fumier	10%	0-15	1,29	2,03	52,83	47,45	29,72	31,63	
			±0,01	±0,02	±0,87	±0,80	±0,47	±0,58	
		15-30	1,52	4,50	65,85	91,89	39,02	72,97	
			±0,04	±9,13	±0,85	±1,44	±0,72	±1,29	
Sol amendé par le compost	10%	0-15	1,45	2,20	55,05	77,42	32,57	53,23	
			±	±0,05	±0,77	±1,02	±0,60	±1,22	
		15-30	0,03	1,81	4,15	90,00	90,54	58,00	72,97
			±0,04	±0,11	±1,15	±2,17	±1,16	±0,87	
Sol amendé par le compost	20%	0-15	1,76	2,40	24,96	43,60	15,91	30,81	
			±0,02	±0,04	±0,41	±0,79	±0,26	±0,70	
		15-30	1,80	4,07	98,25	85,39	63,16	68,54	
			±0,02	±0,06	±0,90	±1,25	±0,90	±0,89	
Sol amendé par le compost	40%	0-15	1,93	1,68	17,69	37,11	11,66	23,27	
			±0,06	±0,04	±0,37	±0,56	±0,18	±0,39	
		15-30	1,95	3,33	89,86	91,55	59,42	70,42	
			±0,03	±0,19	±1,41	±2,20	±0,72	±0,98	

3.2.3.2. Les indices d'humification IH et TH

Après culture, le TH des substances humiques du sol diminue en augmentant la dose de compost appliquée au niveau de l'horizon 0-15 cm (Tableau 4). L'IH du sol traité à une dose de compost égale à 10 % est plus élevé que ceux traités aux doses égales à 20 % et 40 %. Ce qui permet de suggérer que la matière organique résiduelle du sol amendé à forte dose, présente une matière organique difficilement biodégradable par les microorganismes et il faudra plus de temps pour être humifiée et pour synthétiser les AH. En effet, au niveau de l'horizon 0-15 cm, une augmentation de ces deux indices est observée par rapport au temps initial. Cette augmentation est proportionnelle avec la dose du compost appliquée. Ce qui témoigne que l'augmentation de la dose du compost améliore notablement le stock en matières humiques du sol.

En plus, on remarque que le TH et l'IH augmentent avec la profondeur. Ces résultats concordent avec ceux retrouvés par Dell'Abate et al. (2002) ; ce qui indique une polymérisation des acides humiques plus élevée aux niveaux des horizons profonds (15-30 cm) que ceux de surfaces. Cette polymérisation est liée à leur adsorption par la matrice minérale du sol. Suivant Feller et Chenu (2012), la persistance des acides humiques dans l'horizon profond est due à leur récalcitrance chimique.

A même dose d'amendement (10 %), les valeurs de l'IH et du TH enregistrées après un cycle de culture ont été plus élevées dans le sol amendé par le compost que celui amendé par le fumier. De plus, l'évolution de l'IH et du TH au cours du temps montre que l'augmentation de ces indices est importante dans le sol amendé par le compost à 10 %. Par conséquent, la variation du degré de stabilité des deux amendements utilisés (fumier et compost) a influencé la stabilité de la matière organique du sol. Ces résultats indiquent que le compost, par comparaison avec le fumier, est capable d'augmenter d'une manière plus marquée le taux de la fraction humique du sol, probablement dû aux teneurs élevées en composés humiques du compost résultant de l'action catalytique de MnO_2 (Brunetti et al. 2007).

3.2.3.3. Rapport E_4/E_6

Après culture, généralement, le rapport E_4/E_6 est moins élevé dans les sols amendés par le compost que celui amendé par le fumier, au niveau de l'horizon 0-15 cm (Figure 4). Ce qui témoigne la présence des molécules organiques à haut poids moléculaire et des structures aromatiques confirmant la stabilité du compost utilisé.

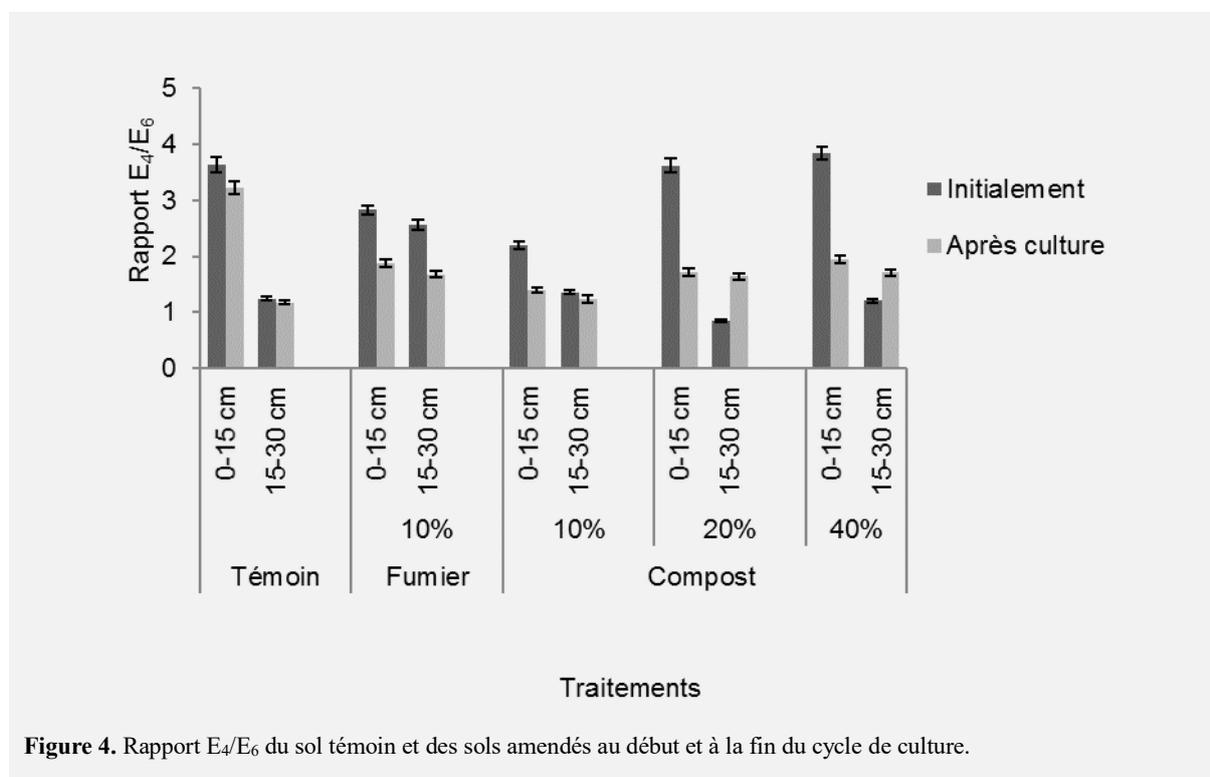


Figure 4. Rapport E_4/E_6 du sol témoin et des sols amendés au début et à la fin du cycle de culture.

Jugeant à partir des valeurs obtenues du rapport E_4/E_6 au niveau de l'horizon de surface 0-15 cm, les AH du sol amendé par le fumier sont caractérisées par une faible taille et un faible poids moléculaire, puisqu'il s'agit d'après Chen et al. (1977) d'un paramètre inversement relié aux dimensions des molécules des AH.

On peut aussi noter d'après ce graphique que les acides humiques du sol amendé par le compost à raison de 10 % sont caractérisés par un degré de condensation des carbones aromatiques plus important que les AH des sols amendés par le compost à raison de 20 % et 40 % et, permet de déduire la présence d'une proportion relativement importante des structures aliphatiques aux niveaux de ces derniers. Cette condensation est assurée par l'émission de liens chimiques avec les argiles, qui est d'autant plus rapide que la fraction humique est stable et les conditions du milieu (Duchaufour 1970).

Au niveau de l'horizon 15-30 cm, ce rapport varie différemment qu'en surface. Au niveau de l'horizon profond, deux tendances ont été observées ; une diminution du rapport E_4/E_6 par rapport à la valeur obtenue au temps initial dans le sol amendé par le fumier et le compost à raison de 10 %, ce qui témoigne que le processus d'humification se déroule par l'incorporation des composés à haute polycondensation aromatique dans les fractions des AH du sol (Pedra et al. 2008). Alors qu'aux niveaux des sols amendés par le compost à raison de 20 % et 40 %, l'augmentation observée, par rapport à la valeur obtenue au temps initial, peut être associée à la présence de molécules organiques de plus petite taille ou la présence de structures aliphatiques et souvent avec des teneurs élevées en groupements fonctionnels dans la structure des AH du sol (Stevenson 1994; Piccolo 1996; Rivero et al. 2004). Cet effet est dû à l'importante fraction non humifiée du compost appliqué à forte dose et qui est en perpétuelle évolution et susceptible de subir une oxydation sous l'effet de l'intense activité microbienne.

3.2.3. Caractérisation des acides humiques des sols traités par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (IRTF)

Après un cycle de culture, l'humification de la MO aboutit à la génération des groupements oxygénés (génération des fonctions alcools, des OH phénoliques et des groupements COO^- asymétriques et des O des aromatiques (à 1430 cm^{-1}) et des C-O des polysaccharides (à 1030 cm^{-1}) (Figures 5 et 6).

Le point important à souligner est leur importante aromaticité notée au niveau de la bande à 1630 cm^{-1} . La contribution des groupements C-H des lignines et des carbohydrates, OH phénoliques et des groupements COO^- asymétriques et des O des aromatiques est principalement liée à une oxydation de la matière organique par la forte intensité microbienne favorisée par les conditions du milieu au niveau de l'horizon de surface (plus aéré, humidité (par les eaux d'irrigation) et température).

L'effet du type et de la dose de l'amendement apparaît par l'augmentation du degré d'aromaticité des AH du sol amendé par le compost à raison de 10 % par rapport à ceux du sol amendé par le fumier à même dose (à 10 %). L'intensité importante des bandes à 1430 cm^{-1} et 1001 cm^{-1} témoigne la réactivité importante des AH issus du sol amendé par le compost à raison de 10 %. Les deux bandes précédemment citées s'atténuent en fonction des conditions du milieu au niveau de l'horizon profond induisant un degré d'aromaticité plus élevé qu'au niveau de l'horizon de surface.

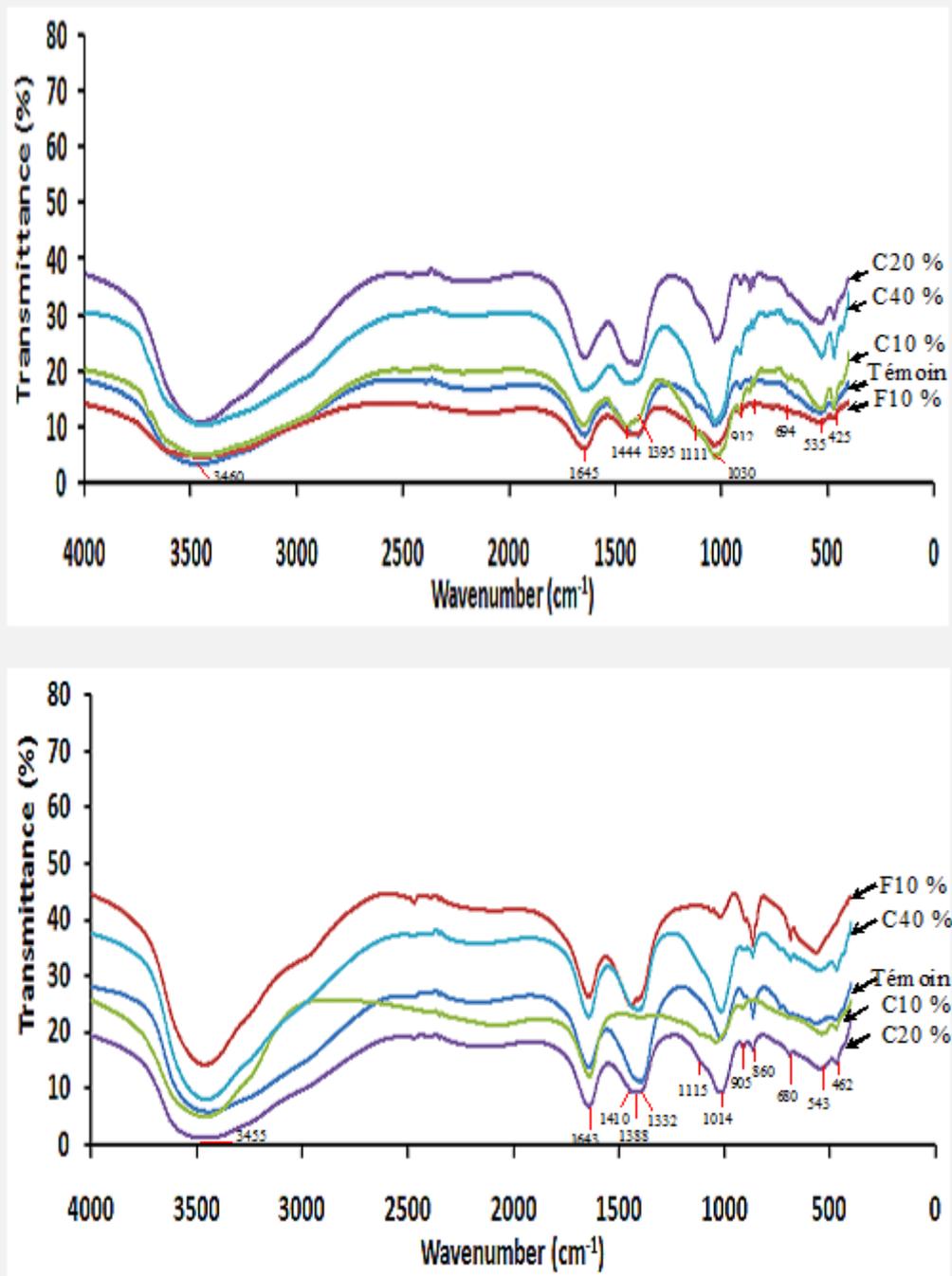


Figure 5. Spectres infrarouges des acides humiques extraits et purifiés à partir du sol témoin et des sols amendés (a) au niveau de l'horizon 0-15 cm et (b) 15-30 cm au début de l'expérimentation.

Les matières organiques des différents sols traités ont été fortement modifiées suite à l'application des amendements organiques au cours de l'incubation. A la fin de l'expérience, les principaux phénomènes observés correspondent à une formation des acides humiques.

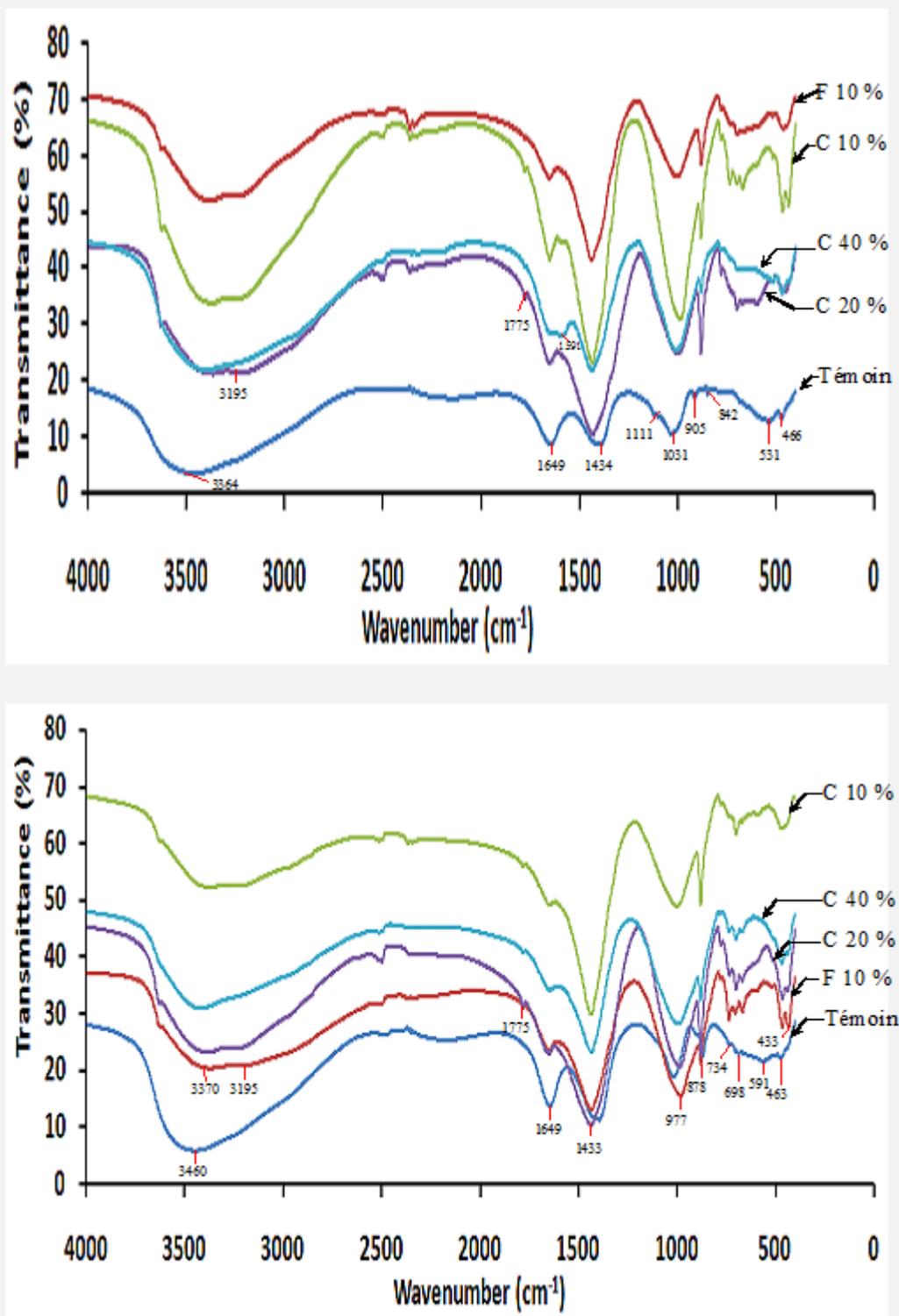


Figure 6. Spectres infrarouges des acides humiques extraits et purifiés à partir du sol témoin et des sols amendés (a) au niveau de l'horizon 0-15 cm et (b) 15-30 cm après culture.

L'intense bande à 1430 cm⁻¹ est indicative d'une forte réactivité des acides humiques du sol qui ont pris naissance et à mesure du déroulement de ces biodégradations bactériennes.

A la fin, il faut souligner que la vue d'ensemble des quatre figures (Figures 5a, 5b, 6a et 6b) montre que la variation de l'intensité des bandes est plus marquée au niveau de l'horizon de surface qu'au niveau de l'horizon profond du sol traduisant une évolution importante de la structure des molécules des acides

humiques au cours du temps. Cet effet est dû à une activité microbienne intense au niveau de l'horizon de surface du sol après addition des amendements organiques.

4. Conclusion

Les résultats retrouvés permettent de constater que l'apport du compost contribue à une augmentation notable des réserves organiques du sol comparé à l'apport du fumier à même dose (10 %). Les substances humiques (SH) provenant des composts stables et incorporés dans le sol engendrent une augmentation des teneurs en AH, AF et des paramètres d'humification du sol. Le rapport E₄/E₆ montre que les AH du sol amendé par le fumier sont caractérisés par une plus faible taille et un faible poids moléculaire que ceux du sol traité par le compost, reflétant la faible stabilité de la matière organique du fumier.

Les résultats de la spectroscopie IRTF montrent que les AH extraits des sols amendés subissent des modifications dans leur structure moléculaire pour atteindre des formes condensées riches en carbones aromatiques, en composés carboxyliques et en groupements polysaccharidiques contribuant à la stabilisation de la structure du sol et témoignant d'une humification avancée. Cette humification est plus importante au niveau de l'horizon profond qu'en surface du sol, où les conditions du milieu sont favorables à ce processus (humidité, oxygène, température, ...).

Le compost joue un rôle majeur dans l'amélioration de la structure du sol, par le biais des complexes argilo-humiques. Ceux-ci améliorent la séquestration du CO₂, ce qui réduirait l'émission des gaz à effet de serre néfastes pour l'environnement et la santé humaine.

5. Références

- Angelova VR, Akova VI, Artinova NS, Ivanov KI (2013)** The effect of organic amendments on soil chemical characteristics. *Bulg J Agric Sci* 19:958-971.
- Brunetti G, Plaza C, Clapp CE, Senesi N (2007)** Compositional and functional features of humic acids from organic amendments and amended soils in Minnesota, USA. *Soil Biol. Biochem* 39:1355-1365.
- Chen Y, Senesi N, Shnitzer M (1977)** Information provided on humic substances by E₄/E₆ ratio. *Soil Sci Soc Am J* 41:352-358.
- Dell'Abate MT, Benedetti A, Trinchera A, Dazzi C (2002)** Humic substances along the profile of two typic Haploxerert. *Geoderma* 107:281-296.
- Diacono M, Montemurro F (2010)** Long-term effects of organic amendments on soil fertility. A review. *Agron Sustain Dev* 30:401-422.
- Duchaufour Ph (1970)** Humification et écologie. *Cah ORSTOM* 8:379-390.
- Feller C, Chenu C (2012)** Les interactions bio-organo-argileuses et la stabilisation du carbone dans les sols : Aperçu historique. *Etude et Gestion des sols* 19:235-248.
- Fernández JM, Hernández D, Plaza C, Polo A (2007)** Organic matter in degraded agricultural soils amended with composted and thermally-dried sewage sludges. *Sci Tot Environ* 378:75-80.
- Fontaine S, Barot S, Barré P, Bdioui N, Mary B, Rumpel C (2007)** Stability of organic carbon in deep soil layers controlled by fresh carbon supply. *Nature* 450:277-281.
- García-Gil JC, Ceppi SB, Velasco MI, Polo A, Senesi N (2004)** Long-term effects of amendment with municipal solid waste compost on the elemental and acidic functional group composition and pH-buffer capacity of soil humic acids. *Geoderma* 121:35-142.
- Hemmat A, Aghilinategh N, Rezainejad Y, Sadeghi M (2010)** Long-term impacts of municipal solid waste compost, sewage sludge and farmyard manure application on organic carbon, bulk density and consistency limits of a calcareous soil in central Iran. *Soil and Tillage Res* 108:43-50.
- Hernando S, Lobo MC, Polo A (1989)** Effect of the application of a municipal refuse compost on the physical and chemical properties of a soil. *Sci Tot Environ* 81-82:589-596.
- Jiménez EI, García VP (1991)** Composting of domestic refuse and sewage sludge. I. Evolution of temperature, pH, C/N ratio and cation-exchange capacity. *Res Conserv Recyc* 6:45-60.
- Kaiser K, Guggenberger G (2000)** The role of DOM sorption to mineral surfaces in the preservation of organic matter in soils. *Organic Geochem* 31:711-725.
- Mustin M (1987)** Le compost : gestion de la matière organique. Edition Dubusc, Paris.
- Pedra F, Plaza C, Fernández JM, García-Gil JC, Polo A (2008)** Effects of municipal solid waste compost and sewage sludge on chemical and spectroscopic properties of humic acids from a sandy haplic podzol and a clay loam calcic vertisol in Portugal. *Waste Manage* 28:2183-2191.

- Piccolo A (1996)** Humic substances in terrestrial ecosystems. Elsevier Science, Amsterdam, the Netherlands.
- Plaza C, Senesi N, Polo A, Brunetti G, García-Gil JC, D'Orazio V (2003)** Soil fulvic acid properties as a means to assess the use of pig slurry amendment. *Soil and Tillage Res* 74:179-190.
- Pramanik P, Kim PJ (2014)** Fractionation and characterization of humic acids from organic amended rice paddy soils. *Sci Tot Environ* 466-467:952-956.
- Rivero C, Chirenje T, Ma LQ, Martinez G (2004)** Influence of compost on soil organic matter quality under tropical conditions. *Geoderma* 123:355-361.
- Samadder SR, Prabhakar R, Khan D, Kishan D, Chauhan MS (2017)** Analysis of the contaminants released from municipal solid waste landfill site: A case study. *Sci Tot Environ* 580:593-601
- Stevenson FJ (1994)** Humus chemistry: Genesis, composition, reactions. John Wiley and Sons, Canada.
- Tardy Y, Toledo MCM, Bailly J-R, Guiresse M, Revel J-C (2005)** Towards the thermodynamic treatment of humic substances in soils. *Revista do Instituto Geológico* 26:45-51.
- Tan W, Wang G, Huang C, Gao R, Xi B, Zhu B (2017)** Physico-chemical protection, rather than biochemical composition, governs the responses of soil organic carbon decomposition to nitrogen addition in a temperate agroecosystem. *Sci Tot Environ* 598:282-288.