



## Valorisation des déchets ménagers par extraction des substances humiques (Valorization of household waste by extraction humic substances)

EL hassania EL HERRADI <sup>1\*</sup>, Brahim SOUDI <sup>2</sup>, Fatima NAMAN <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Université Mohamed V – Agdal, Ecole Normale Supérieure, Laboratoire de Physico-Chimie des Matériaux Inorganiques et Organiques (LPCMIO) – Rabat, Maroc.

<sup>2</sup> Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Département des Ressources Naturelles et Environnement, Rabat, Maroc.

<sup>3</sup> Université Chouaïb Doukkali, Faculté des Sciences, Laboratoire de Biotechnologie végétale, écologie et valorisation des écosystèmes, El Jadida, Maroc

Received 25 Apr 2014, Revised 21 May 2014, Accepted 21 May 2014

\* Corresponding author. E-mail : haelherradi@yahoo.fr ; Tél: (212) 6 61 07 64 85

### Résumé

L'apport des substances humiques du compost des déchets ménagers se présente comme une solution potentielle contre la dégradation des sols. En effet, le fractionnement chimique de la matière organique d'un compost de déchets ménagers a donné des solutions humiques qui renferment 850 mgL<sup>-1</sup> d'acides humiques et 225 mgL<sup>-1</sup> d'acides fulviques. Ce qui montre que la biodégradation de la matière organique s'accompagne d'un enrichissement du compost en acides humiques. De même une polymérisation plus élevée de l'acide humique a été notée et qui a été prouvée par une valeur faible du rapport E<sub>4</sub>/E<sub>6</sub> et un rapport C<sub>AH</sub>/C<sub>AF</sub> égal à 2,25 désignant ainsi un degré de maturité élevé.

Les substances humiques ont favorisé l'augmentation du rendement en poids frais de la culture du Ray Gras d'Italie. Les effets bénéfiques sont prononcés pour les doses C5 et C25. Il ya une réponse plus marquée à l'apport de ces doses dans le sol Rmel de Rabat qu'en sol Dehs du Gharb. Par contre, l'application d'une quantité élevée de l'ordre de C125 a entraîné un effet inhibiteur dans le sol sablonneux et une diminution du rendement dans le sol limono-argileux.

*Mots clés:* Compost, acide humique, acide fulvique, Ray Gras d'Italie

### Abstract

A potential solution for the deterioration of the soils is the application of humic substances (SH) from household waste compost. In fact the chemical fractionation of organic matter of household waste compost gave humic solutions containing 850 mgL<sup>-1</sup> of humic acids and 225 mgL<sup>-1</sup> of fulvic acids. This result shows that the biodegradation of the organic matter is accompanied by an increase of humic acids in the compost. Similarly a higher humic acid polymerization was noted and proved by a low value of E<sub>4</sub>/E<sub>6</sub> ratio and C<sub>AH</sub>/C<sub>AF</sub> equal to 2,25 confirming a high degree of maturity. Humic substances allowed increasing the yield in fresh weight for Ray Gras Italy. The beneficial effects are pronounced for the C5 and C25 values. We noted a better contribution in the Rmel soil than in the Dehs one. Contrariwise, the application of a high amount of C125 caused an inhibition effect in the sandy soil as well as a decrease in yield in the clay loam soil.

*Keywords:* Compost, Humic acid, fulvique acid, Ray Gras d'Italie

### 1. Introduction

La diminution de la fertilité des sols suite à une agriculture trop intensive ou inappropriée s'observe actuellement sur les sols agricoles. Il en résulte une perte de matière organique stable dans les sols et par conséquent une diminution des réserves nutritives.

D'un autre côté, divers pays sont confrontés à une augmentation importante des déchets [10]. Or, une grande partie de ces déchets est de nature organique et un recyclage par le biais du compostage permettrait de combler le déficit humique des sols surexploités et d'en réactiver une vie microbologique équilibrée [11].

On a connu pendant longtemps que les substances humiques qui sont un mélange d'acide humique et d'acide fulvique augmentent la fertilité des sols [21]. La littérature cite de nombreuses expériences dans lesquelles des fractions humiques ont agi favorablement sur la croissance et le rendement des plantes. Les acides humiques semblent avoir un effet par l'intermédiaire de leurs produits de décomposition par oxydation. Flaig a identifié, parmi ces produits, les acides vanillique et syringique qui peuvent subir des réactions de décarboxylation et de

déméthoxylation [9]. Ces molécules peuvent être transformées en phénols et en quinones par oxydation. Toutes ces petites molécules peuvent facilement pénétrer dans les racines en y amenant des éléments minéraux qui pourraient être assimilés plus aisément par le végétal (moindre dépense d'énergie).

Schnitzen et Khan ont confirmé la stimulation de la croissance végétale par les matières humiques et montré un effet sur l'allongement du système racinaire [23]. Schnitzer et Poapst avaient mis en évidence l'action des acides fulviques sur la prolifération des racines [22]. En plus les matières humiques protègent la plante contre certains pesticides et métaux lourds toxiques.

Le but de ce travail est d'extraire, de caractériser et de montrer l'impact de doses croissantes de substances humiques (SH) d'un compost d'ordures ménagères sur la croissance du Ray Gras d'Italie. C'est une possibilité d'éclaircissement de l'utilisation des SH dans l'agriculture.

## **2. Matériels et Méthodes**

### *2.1. Nature du substrat utilisé pour l'extraction des substances humiques*

Les substances humiques extraites d'un compost d'ordures ménagères ont été utilisées pour les expériences décrites dans ce travail.

Le compost mûr utilisé est âgé de 10 mois [7, 8]. Il provient d'une Unité de Tri et de Compostage (UTC) de la région de la ville de Rabat. La matière fermentescible représente entre 50 à 70 % du poids des ordures ménagères traitées. Préalablement triées pour limiter les risques de contamination par les éléments traces métalliques, ces ordures ménagères ont été compostées par la méthode d'andains périodiquement retournés [20, 25].

### *2.2. Extraction des substances humiques*

Toutes les méthodes d'extraction sont basées sur le principe de la solubilité des substances humiques en milieu basique. La méthode utilisée au laboratoire est adaptée de celle recommandée par la Société Internationale des Substances Humiques (IHSS) [3]. Pour l'extraction des substances humiques de notre substrat, nous avons évité les extractants qui font intervenir des ions sodium dont nous désirons éviter la présence. Nous avons utilisé le pyrophosphate de potassium  $K_4P_2O_7$  et l'hydroxyde de potassium KOH.

Le protocole expérimental d'extraction est illustré dans la figure 1.

### *2.3. Caractérisation des substances humiques extraites*

Les solutions humiques ont été caractérisées en déterminant leur teneur en matière sèche, en matière humique et leur composition chimique.

#### *2.3.1. Teneur en matière sèche des solutions humiques*

La teneur en matière sèche a été déterminée par évaporation à sec, à l'étuve à 110 °C, d'un volume de 10 mL de solution humique jusqu'à obtention d'un résidu sec de poids constant.

#### *2.3.2. Teneur en matières humiques*

La teneur en matière humique a été dosée, après oxydation par le permanganate de potassium en milieu alcalin: 5ml de solution humique sont oxydés en présence de 20 ml de  $KMnO_4$  0,1N en milieu alcalin à l'ébullition, sous réfrigérant ascendant, pendant 10 mn. Après refroidissement et addition de 20 ml d'acide oxalique 0,1N, le mélange est titré en retour par le permanganate de potassium 0,1N en milieu sulfurique. La quantité de matière humique de la solution est estimée en considérant que 1 ml de  $KMnO_4$  0,1N oxyde 1,02 mg de matière humique [12].

#### *2.3.3. Composition chimique des solutions humiques*

La teneur en carbone organique est effectuée par la méthode de Walkley & Black [24] qui est basée sur l'oxydation à froid du carbone en  $CO_2$  par une solution de bichromate de potassium ( $K_2Cr_2O_7$ , 0.1N) en milieu sulfurique et la titration en retour du bichromate en excès avec le sel de Mhor ( $FeSO_4 \cdot SO_4(NH_4)_2 \cdot 6H_2O$ , 0.5N) en présence de diphénylamine comme indicateur coloré.

Le rapport Welt (ratio E4/E6) a été déterminé en mesurant les absorbances à 465 et 665 nm de 2 mg d'acide humique (AH) dissous dans 25 ml de  $NaHCO_3$  0,05N. Ce rapport est le plus utilisé pour caractériser les acides humiques et il est considéré comme index d'humification [5,21].

### *2.4. Sols utilisés*

L'étude a porté sur deux types de sols contrastés par leurs propriétés physico-chimiques et texturales. Le premier sol sablonneux (SSR), dit Rmel, provient des jardins de l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II de Rabat au Maroc. Le deuxième sol (SDG) provient d'une ferme du Gharb. C'est un sol, peu évolué d'apport alluvial connu sous le nom Dehs léger, représentatif du périmètre irrigué du Gharb.

Les échantillons de sols ont été séchés à l'air libre et tamisés à 2 mm. Après homogénéisation, des sous-échantillons de 700g de sol ont été placés dans des pots en plastique de 10 cm de diamètre et 11 cm de hauteur.

### 2.5. Essai en pots de végétation

Des essais en pots de végétation ont été faits en utilisant le Ray Gras d'Italie (*Lolium multiflorum Lam*). C'est une graminée fourragère hivernale à comportement annuel en climat méditerranéen.

Tenant compte de la faculté germinative, nous avons semé une dizaine de plantules par pot et après la levée nous avons procédé à l'éclaircissement pour ne laisser que 6 plantules par pot.

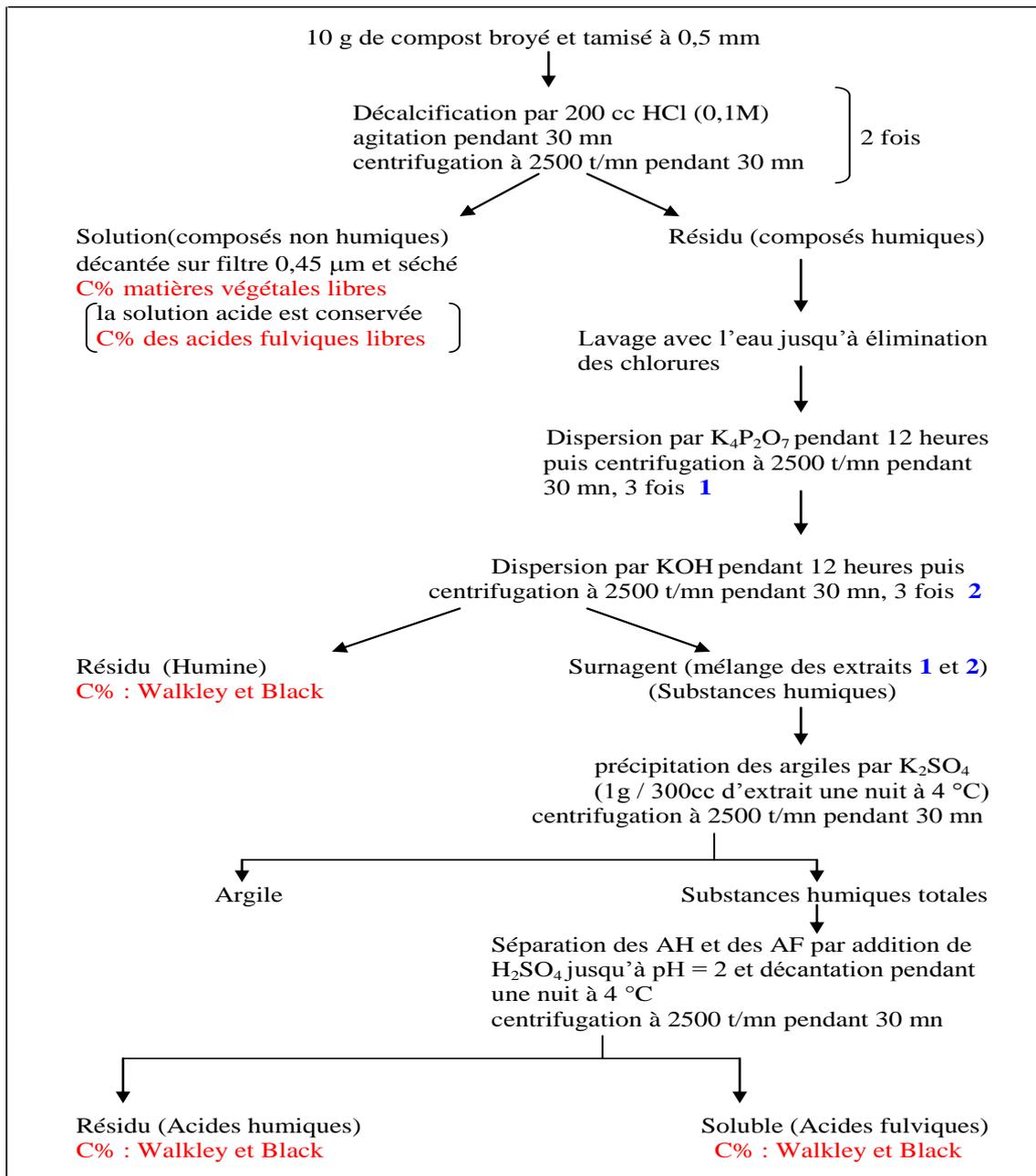


Figure 1 : Protocole d'extraction et de fractionnement des substances humiques du substrat étudié

Les traitements appliqués pour chaque sol étaient comme suit :

- témoin absolu où le sol n'a reçu aucun apport fertilisant
- témoin avec apport de la fumure minérale généralement préconisée et jugée optimale pour le Ray Gras d'Italie (250 kg/ha de N, 150 kg/ha de  $P_2O_5$  et 100 kg/ha de  $K_2O$ ).
- traitements à base de SH avec des doses croissantes équivalentes à 5, 25 et 125 ppm (mg /kg de sol), notés respectivement C5, C25 et C125.
- traitements aux mêmes doses de SH, mais additionnées de 100% des besoins en engrais minéraux du Ray Gras d'Italie. Chaque traitement comprenait 3 répétitions. L'expérimentation a été conduite pendant 90 jours.

### 3. Résultats et discussions

#### 3.1. Caractéristiques du compost utilisé pour l'extraction des substances humiques

Les principales caractéristiques chimiques du compost sont rapportées dans le tableau 1 [7, 8]. Le C/N diminue au cours du compostage ce qui se traduit par la dégradation du carbone qui est libéré sous forme de CO<sub>2</sub>. La valeur de 10 du rapport C/N reflète la stabilisation de la matière organique. Comme l'indiquent plusieurs études [1, 12, 13], la diminution du rapport C/N au cours du compostage est liée au degré de maturité et correspond à une évolution des matières organiques vers des formes plus stables et plus humifiées. Différents auteurs estiment qu'un compost mature présente un rapport C/N se stabilisant entre 10 et 25 [2, 13, 16, 26]. Un rapport C/N trop faible (inférieur à 10) peut conduire à des pertes d'azote par minéralisation et ammonification tandis qu'un rapport C/N trop élevé (supérieur à 25) ralentit la décomposition du matériel organique contenu dans le sol et risque de conduire à une carence en azote des plantes cultivées.

**Tableau 1 :** Caractéristiques chimiques du substrat étudié [7,8]

<b>pH</b>	8,75
<b>CO (%)</b>	12,62
<b>MO (%)</b>	21,76
<b>C /N</b>	10,02
<b>Azote total (%)</b>	1,26
<b>N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (mg/kg)</b>	410
<b>N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/kg)</b>	730
<b>K<sub>2</sub>O (%)</b>	3,88
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (%)</b>	3,04
<b>Conductivité (mS/cm)</b>	4,43

Le pH du compost est de 8,75. Selon Morel et al. [19], le pH des déchets urbains est compris entre 5 et 9. De leur côté, de Bertoldie et al. [6], ont attribué l'acidification du compost à la production anaérobie d'acides organiques. Ces derniers sont ensuite dégradés entraînant une alcalinisation du compost.

La teneur en azote minéral du compost étudié est relativement faible et représente moins de 10% de l'azote total ce qui est conforme avec les résultats de Bernal et al. [2]. Le rapport N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> / N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> peut être un indicateur de maturité du compost parce que au cours du temps on observe une diminution d'azote ammoniacal s'accompagnant d'une libération d'azote nitrique.

#### 3.2. Caractérisation des substances humiques extraites

Les matières humiques extraites du compost correspondent respectivement à 19 g de matière sèche par litre de solution. La matière sèche en contient 9,2 %.

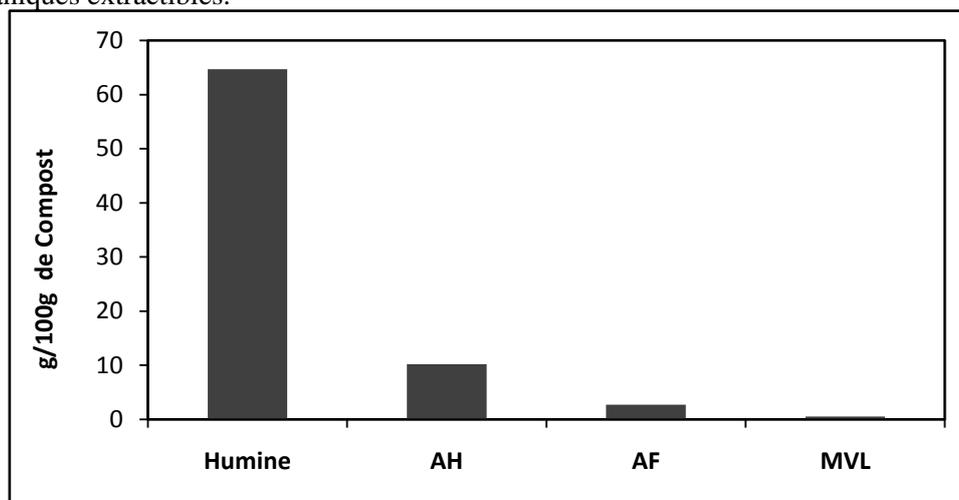
Le fractionnement chimique de la matière organique du compost permet d'analyser les différents compartiments humiques. La décalcification permet l'élimination de la matière végétale libre par densimétrie. En effet la matière organique libre surnage contrairement à la matière organique humifiée et minérale qui sédimentent au fond du récipient. Le surnageant est décanté sur un filtre 0,45µm et séché.

Les pourcentages en masse des différentes fractions de la matière organique du compost : humine, acides humiques (AH) qui flocculent à pH 2, acides fulviques (AF) et matière végétale libre (MVL), sont présentés dans la figure 2. Les résultats indiquent que le résidu insoluble (humine) est la fraction la plus abondante dans le compost. La matière végétale libre est presque inexistante. La fraction moins condensée d'acide soluble correspondant aux acides fulviques libres (AFL) est très faible. Le contenu d'acides fulviques (AF) soluble dans l'extrait alcalin étant plus élevé que la fraction d'acides fulviques libres (AFL).

Le compost a une teneur moyenne en acides humiques et faible en acides fulviques. Les solutions humiques renferment respectivement 1075 mg de matière humique par litre dont 850 mg d'acides humiques et 225 mg d'acides fulviques. Il y a une forte dominance des AH sur les AF. Orlov a suggéré que l'activité biologique élevée favorise probablement la formation des substances humiques condensées solubles dans l'extrait alcalin avec une plus grande stabilité [21].

La teneur en carbone organique extraite présente un grand intérêt pour l'évaluation de l'aptitude de ces extraits à devenir des engrais organiques. Elle est considérée comme la partie active dans l'humus propre. Cette fraction représente le critère du processus de décomposition dans le compostage et l'état de maturité du produit obtenu.

Le fractionnement de la solution d'extraction (SH) permet de rendre compte de l'état de polymérisation des composés organiques extractibles.



**Figure 2 :** Pourcentage en masse des différentes fractions de la matière organique du compost

Le rapport  $C_{AH+AF}/C_{total}$  rend compte de la proportion du carbone humifié et représente le taux d'extraction des composés humiques obtenu par extraction alcaline par rapport au C total du compost. Les résultats, présentés dans le tableau 2, montrent que presque 31,4 % du carbone organique du compost est extractible par les solutions alcalines. La part du carbone non extractible ( $C_{humine}$ ) du compost représente 68,6 %. Le taux de carbone acido-soluble, correspondant aux AF, est faible par rapport au taux de carbone des AH avec un rapport  $C_{AH}/C_{AF}$  égale à 2,25, indiquant la polycondensation des substances organiques du compost. Ce résultat est conforme à ceux de plusieurs auteurs qui rapportent une augmentation des composés humiques par rapport aux acides fulviques dans le compost d'ordures ménagères à la maturation [12, 26, 27]. Selon Inbar et al. [14], un compost est considéré mature pour un rapport  $C_{AH}/C_{AF} > 1,6$ .

D'après le même auteur, à la fin du compostage, le compost est caractérisé par une réduction des structures peptidiques et aliphatiques qui s'accompagne d'une augmentation des structures aromatiques. Le rapport  $C_{AH}/C_{AF}$  a été employé par Kononova comme indicateur de la qualité d'humus [17]. Par ailleurs, lors de la dégradation de la matière organique, la teneur en acides humiques augmente par polymérisation. La teneur en acides fulviques, plus facilement assimilables par la microflore, diminue au cours du temps. Le ratio  $C_{AH}/C_{AF}$  augmente avec la quantité de matière organique polymérisée, et témoigne ainsi d'une stabilité de la matière organique.

La valeur basse du rapport E4/E6 de 4,4 caractérise le degré de condensation du noyau aromatique des substances humiques. Il caractérise aussi des molécules de haut poids moléculaire. L'analyse du ratio E4/E6 confirme les teneurs en acides humiques et fulviques déterminées auparavant.

**Tableau 2 :** Composition chimiques des substances humiques

CO%	Cextractible avec 0,1N $K_4P_2O_7$ + 0,1N KOH			$C_{AH}/C_{AF}$	$(C_{AH}/C_{SH}) * 100$	$(C_{AF}/C_{SH}) * 100$	E4/E6
12,62	Cextractible total ( $C_{SH}$ )	C% dans AH	C% dans AF	2,25	69	31	4,4
	3,96*	2,74*	1,22*				
	31,38**	21,71**	9,67**				

\* en pourcentage de compost

\*\* en pourcentage du carbone du compost

La signification des propriétés optiques des substances humiques n'est pas toujours entièrement comprise, cependant, l'évidence considérable indique que des valeurs plus basses des rapports  $E_4/E_6$  sont associées à des fractions acides humiques et fulviques plus mûres caractérisées par des composants aromatiques plus abondants et un degré plus élevé de condensation. Un rapport  $E_4/E_6$  inférieur à 5 indique la présence d'acide humique, donc une décomposition avancée alors qu'un rapport supérieur à 5 indique la présence d'acide fulvique, donc une décomposition moins avancée [5]. Plus le rapport est faible, plus le compost est mûr, plus les particules d'humus sont grosses et plus complexes. A l'inverse, plus le rapport est élevé, moins le compost est mûr.

### 3.3. Caractéristiques physico-chimiques des sols étudiés

Les principales caractéristiques physico-chimiques de ces deux sols sur la couche 0-20 cm sont présentées dans le tableau 3 [7,8]. Le sol sablonneux (SSR) est un sol fersiallitique rouge représentatif de la région côtière marocaine. Il est pauvre en matière organique (0,85%). Les sables fins dominent ce qui lui confère une capacité de rétention en eau très faible ( $H_{cc} = 9\%$ ) et une faible capacité de rétention des cations.

Le sol Dehs léger du Gharb (SDG) se caractérise par une texture fine limono-argileuse avec une capacité de rétention en eau assez élevée ( $H_{cc} = 25\%$ ) et un  $pH_{eau}$  basique à cause d'une teneur élevée en calcaire total (13%). Il contient 1,93% de matière organique.

**Tableau 3 :** Principales caractéristiques physico-chimiques de la couche 0-20 cm des deux sols étudiés [7, 8]

	<b>Sol sablonneux Rmel de Rabat (SRR)</b>	<b>Sol limono-argileux Dehs léger du Gharb (SDG)</b>
<b>Granulométrie (%)</b>		
Argile	7,1	33,4
Limon fin	9,4	40,2
Limon grossier	1,3	23,8
Sable fin	60,7	2,3
Sable grossier	21,5	0,3
<b>Caractéristiques hydriques</b>		
$H_{cc}$ (%)	9	25
$H_{pFp}$ (%)	3,3	10
Densité apparente ( $g/cm^3$ )	1,2	1,3
<b>Caractéristiques chimiques</b>		
CO (g/kg)	4,90	11,20
MO (g/kg)	8,50	19,30
N total (g/kg)	0,40	1,60
N- $NH_4^+$ (mg/kg)	0,47	2,88
N- $NO_3^-$ (mg/kg)	2,35	36,32
C/N	12,25	7,00
$pH_{eau}$ (1:10)	7,20	8,33
C.E (1:10) (mS/cm)	0,11	1,26
Calcaire actif (%)	0,00	6,00
Calcaire total (%)	1,34	12,70
$P_2O_5$ assimilable (mg/kg)	13,60	32,87
$K_2O$ assimilable (mg/kg)	75,07	149,17

### 3.4. Effet des substances humiques sur la croissance du Ray Gras d'Italie

Les résultats rapportés dans le tableau 4 et sur la figure 3 montrent que les rendements du Ray Gras d'Italie en matières fraîches varient non seulement d'un sol à l'autre mais aussi d'un traitement à l'autre.

Dans le sol argileux l'effet des substances humiques sur la production du Ray Gras d'Italie a été significatif. Les plantes traitées présentent une croissance supérieure à la plante témoin absolu (0) qui représente l'échantillon dépourvue de tout traitement. Les poids frais du Ray Gras d'Italie ont connu une augmentation de façon croissante avec l'apport de doses de SH de 5 à 25 ppm suivi d'une diminution à la dose 125 ppm. Les rendements en matière fraîche décroissent selon l'ordre des traitements comme suit : C25+FM, C125+FM, C25, C125, C5+FM, C5, FM, 0.

Le meilleur rendement est enregistré dans le traitement C25+FM qui ne diffère pas beaucoup de celui de C125+FM ; le plus faible est, par contre dans le traitement FM après le témoin absolu. L'augmentation de la croissance induite par rapport au témoin est de 78% pour C5, 154% pour C25 et de 125% pour C125. Néanmoins, cette augmentation ne dépasse pas 16% quand on passe de C25 à C25+FM. On constate que l'ajout d'une combinaison de fertilisants chimiques et de SH n'affecte que peu la production de la biomasse.

Dans le sol sablonneux, les doses de 5 à 25 ppm ont eu un effet positif sur la production de la matière fraîche du Ray Gras d'Italie. Cependant, pour la dose 125 ppm un effet inhibiteur a été détecté. Les données du tableau IV montrent que les apports de SH seuls ont entraîné des augmentations de rendement qui varient, par rapport au témoin, de 214% pour la plus faible dose de C5 à 368% pour la dose de C25. Néanmoins, cette augmentation ne dépasse pas 49% quand on passe de la dose C5 à la dose C25.

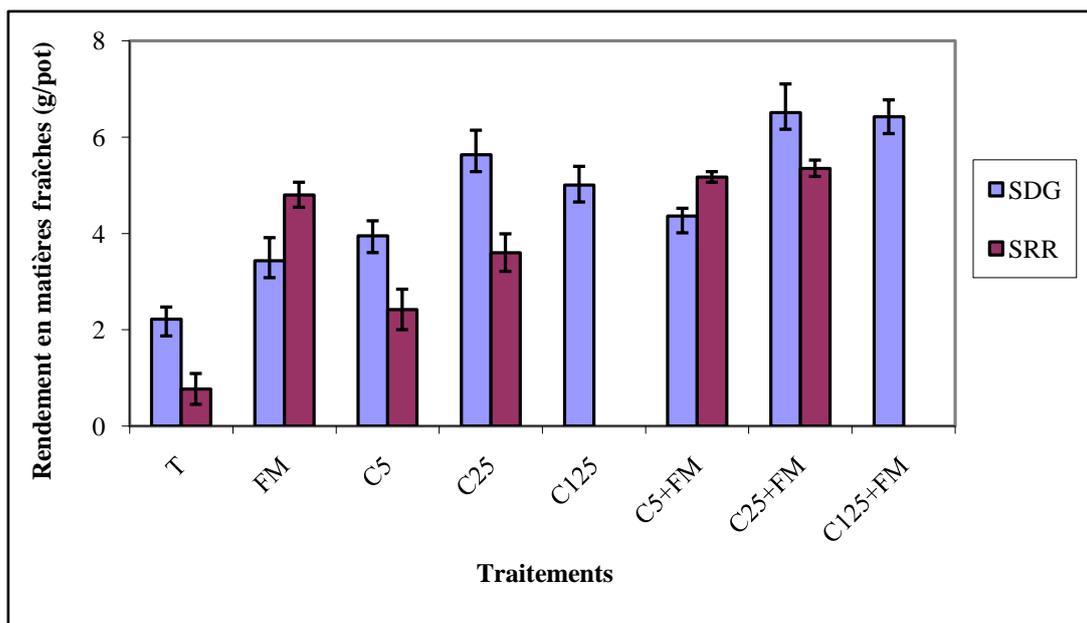
Les compléments en fumure minérale donnent des rendements croissants et proportionnels à la dose appliquée. Ainsi, par ordre croissant on a :

$$\text{témoin absolu} \leq C5 \leq C25 \leq FM \leq C5+FM \leq C25+FM$$

De même une forte ramification des racines du Ray Gars d'Italie a été observée pour les deux sols. Ainsi, selon Chen et Aviad [4], quelque soit leur mode d'application, les substances humiques améliorent la croissance des végétaux, en induisant une augmentation quantitative de la longueur, de la surface du volume ou de la masse des organes des plantes. Ces modifications s'observent sur la croissance racinaire par l'apparition et l'élongation de nouvelles racines. Une augmentation de la longueur et du poids sec des racines chez le blé a été observée par Malik et al. [18]. De même Liu et al. [15] ont démontré qu'une application foliaire de SH peut influencer significativement la masse racinaire.

**Tableau 4 : Rendements du Ray Gras d'Italie**

Sol	Traitements	Rendement en matière fraîche g/pot	Rendement en matière sèche g/pot
<b>Sol Rmel de Rabat</b>	0	0,77	0,4
	FM	4,8	2
	C5	2,42	1,2
	C25	3,6	1,5
	C125	#	#
	C5+FM	5,17	1,8
	C25+FM	5,35	1,97
	C125+FM	#	#
<b>Sol Dehs du Rharb</b>	0	2,22	0,7
	FM	3,43	1,47
	C5	3,95	1,37
	C25	5,63	2,7
	C125	5	2,1
	C5+FM	4,36	1,5
	C25+FM	6,51	2,83
	C125+FM	6,42	2,63



**Figure 3:** Rendement en matière fraîche chez le Ray gras d'Italie en fonction des différents traitements

## Conclusion

Le compost étudié est riche en matière organique qui est légèrement soluble dans les solutions alcalines. La valeur de 10 du rapport C/N reflète la stabilisation de cette matière organique.

Le fractionnement chimique de la matière organique du compost a permis d'analyser les différents compartiments humiques. Ainsi, les résultats trouvés montrent que le résidu insoluble est la fraction la plus abondante. La matière végétale libre est presque inexistante. La fraction moins condensée d'acide soluble correspondant aux acides fulviques libres est très faible. Le contenu d'acides fulviques soluble dans l'extrait alcalin étant plus élevé que la fraction d'acides fulviques libres. Le compost a une teneur moyenne en acides humiques et faible en acides fulviques.

La part du carbone non extractible du compost représente 68,6 % alors que 31,4 % du carbone organique du compost est extractible par les solutions alcalines. Le taux de carbone acido-soluble, correspondant aux AF, est faible par rapport au taux de carbone des AH avec un rapport  $C_{AH}/C_{AF}$  égale à 2,25, indiquant la polycondensation des substances organiques du compost.

La valeur basse du rapport E4/E6 de 4,4 caractérise le degré de condensation du noyau aromatique des substances humiques.

Les substances humiques ont une influence marquée sur la ramification des racines. Elles favorisent l'augmentation du rendement en poids frais pour la culture du Ray Gras d'Italie. Les effets bénéfiques sont prononcés pour les doses C5 et C25.

Il ya une réponse plus marquée du Ray Gras d'Italie à l'apport des substances humiques pour les doses C5 et C25 dans le sol Rmel de Rabat qu'en sol Dehs du Gharb.

Par contre, l'application d'une quantité élevée de l'ordre de 125 ppm a entraînée un effet inhibiteur dans le sol sablonneux et une diminution du rendement dans le sol limono-argileux. Ceci peut être expliqué par la présence des impuretés dans les substances humiques qui atteignent des seuils inhibitrices une fois la dose de substances humiques appliquée devient élevé. Cette inhibition est relativement atténuée avec la présence d'argile. Cela peut être attribué au phénomène d'adsorption de ces substances par les colloïdes argileux.

## Références bibliographiques

1. Ait Baddi, G., Alburquerque, J. A., Gonzalez, J., Cegarra, J., Hafidi, M., *Int. Biodeter. Biodegr.*, 54 (1) (2004) 39-44.
2. Bernal M. P., Paredes C., Sánchez-Monedero M. A., Cegarra J., *Bioresour. Technol.*, 63 (1) (1998) 91-99.
3. Calderoni, G., Schnitzer, M., *Geochim. Cosmochim. Acta*, 48 (10) (1984) 2045-2051.
4. Chen Y., Aviad T., *Humic substances in Soil and Crop Sciences: Selected Readings*. MacCarthy, P. et al. Eds., American Society of Agronomy, (1990) 161-186.
5. Chen Y., Senesi N., Schnitzer M., *Soil Sci. Soc. Am. J.* 4 (1977) 352-358.
6. de Bertoldi, M., Vallini, G., Pera, A., *Waste Manage. Res.* (1) (1983) 157-176.
7. EL Herradi E., Soudi B., EL Kacemi K., *EGS*, 10 (3) (2003) 139-154.
8. EL Herradi E., Soudi B., Chiang C., EL Kacemi K., *Agron. Sustain. Dev.*, 25 (2005) 169-175.
9. Flaig W., *Isotopes and Radiation in Soil Plant Nutrition Studies*, (1965) 3-19.
10. Fuchs J., Galli U., Schleiss K., Wellinger A., *Directive de l'ASIC* (2001) 11p.
11. Gobat J.M., Aragno M., Matthey W., *Le sol vivant*, Presse polytechnique et Universitaires Romandes, Lausanne, 2<sup>nd</sup> Ed (2003) 568p.
12. Hafidi M., Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique, Toulouse, France (1990) 310p.
13. Hsu J.H., Lo, S.L., *Environ. Pollut.* 104 (1999) 189-196.
14. Inbar Y., Chen Y., Hadar Y., Hoitink H.A.J., *Biocycle*, 12 (1990) 64-69.
15. Liu, C.H., Cooper, R.J., Bowman, D.C., *HortScience* 33(6) (1998) 1023-1025.
16. Koivula, N., Hänninen, K., Tolvanen, O., *Waste Manage. Res.*, 18 (2000) 160-173.
17. Kononova M. M., *Soil Organic Matter*, Pergamon Press, Oxford, 2<sup>nd</sup> Ed (1966) 554p.
18. Malik, K.A., Azam, F., *Environ. Exp. Bot.* 25 (1985) 245-252.
19. Morel, J. L., Guckert, A., Nicolardot, B., Benistant, D., Catroux, G. and Germon, J.C., *Agronomie*, 6 (1986) 693-701.
20. Mustin M., *Le compost*, Ed. François Dubusc Paris (1987) 954p.
21. Orlov D.S., Publishing House of the Moscow State University, Moscow (in Russian) (1990).
22. Schnitzer M., Poapst P.A., *Nature*, 213 (1967) 598-599.
23. Schnitzer M., Khan S. U., Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, The Netherlands (1978).
24. Schnitzer M., *Methods of Soil Analysis, Part 2, Agronomy Monograph, n° 9* (2<sup>nd</sup> Edition) (1982).
25. Soudi B., *Compostage des déchets ménagers et valorisation du compost*, Actes Editions, Maroc (2001) 104 p.
26. Sugahara K., Inoko A., *Soil Sci. Plant Nutrit.*, 27 (1981) 213-224.
27. Veeken A., Nierop K., Vinnie de W., Hamelers B., *Bioresource Technology*, 72 (2000) 33-41.