

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA**  
**RECHERCHE SCIENTIFIQUE**



**UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI DE TIZI-OUZOU**  
**FACULTE DES SCIENCES BIOLOGIQUES ET DES SCIENCES AGRONOMIQUES**  
**DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES**

## **MEMOIRE**

**En Vue de l'Obtention du Diplôme du Master en Sciences Agronomiques**

**Option : Science du Sol**

### **Thème**

**Caractérisation par Infrarouge des acides humiques et des acides fulviques formés au cours du compostage**

**Travail réalisé par**

-HADDADJ Lenna

-HADDAD Amira

**Devant le jury:**

- Président :	M <sub>me</sub> OMOURI O.	M.A.A à l'UMMTO
-promotrice :	Mme MOUAS-BOURBIA S.	M.C.A à l'UMMTO
-Co-promotrice :	M <sub>me</sub> YAHIAOUI-TIBICHE G.	Doctorante
-Examineur :	M <sup>F</sup> MERROUKI K.	M.C.B à l'UMMTO

**Promotion : 2019/2020**

## ***Remerciements***

*Ce travail n'aurait pas pu être ce qu'il est, sans l'aide de **Dieu**, qui nous a donné la santé, le courage et la volonté afin de l'accomplir.*

*Nous remercions notre promotrice M<sup>me</sup> BOURBIA, qui a su, nous conseiller au long de la réalisation de ce travail.*

*Nos profonds remerciements vont également à notre Co-promotrice M<sup>me</sup> TIBICHE pour ses précieux conseils et orientations.*

*Nos sincère gratitude aux membres de jurys d'avoir accepté d'évaluer notre travail.*

## ***Dédicaces***

*Avec l'expression de ma reconnaissance, je dédie ce travail à ma famille, elle qui m'a doté d'une éducation digne, son amour a fait de moi à ce que je suis aujourd'hui,*

*A mon très cher père,*

*Tu as toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager à devenir la personne que je suis aujourd'hui, je te remercie papa merci, merci, merci grâce à toi j'ai vécu les plus beaux instants de ma vie et qui ne cesse d'être un modèle d'inspiration et de fierté, merci de m'avoir toujours guidé dans cette vie.*

*A la mémoire de ma mère qui nous a quittés voilà quatorze ans.*

*A ma tante Ghania.*

*A mes chers frères Abdou et Islam.*

*A mes adorables sœurs Sarah et Hanane.*

*A ma binôme, avec laquelle j'ai partagé ce travail et surmonté toutes les difficultés rencontrées à sa réalisation ainsi que sa charmante famille.*

*Aux étudiants de la promotion 2019 science du sol*

*Enfin à toutes les personnes que j'aime.*

**AMIRA**

# *Dédicaces*

*A la mémoire de mes chers Grands parents qui ont été un bon exemple pour moi, puisse Dieu les accueillir dans son vaste paradis*

*A la plus adorable et gentille femme, ma mère qui m'a toujours poussé et encouragé, sans elle je n'aurais certainement pas été ce que je suis maintenant*

*A mon père*

*A mes frères Anis et Ali*

*A ma précieuse sœur Anais*

*A mes amis et mes camarades de la promotion 2019 science du sol*

*A ma binôme et ma chère amie Amira pour son soutien moral, sa patience tout le long de ce travail, je lui souhaite le meilleur pour l'avenir ainsi qu'à sa très chère famille*

*A toutes les personnes que j'aime, qui m'aiment*

***Lenna***

## *Liste des Figures*

Figure 1: Principales phases du compostage et processus en jeu(HUBER ET SCHAUB.2011).....	06
Figure 2: Evolution des teneurs en lignines au cours du compostage (RAMDANI, 2015).....	14
Figure 3:Modele de structure d'acide fulvique (ANDREUX et MUNIER-LAMY,1994)..	15
Figure 4:Modele de structure d'acide humique (ANDREUX et MUNIER-LAMY,1994).	16
Figure 5:Quatre voies de l'humification.....	18
Figure 6:Couleur des substances humiques (KORIKO et al ;2013).....	20
Figure 7:Spectrophotomètre FTIR perkin Elmer 1600.....	29
Figure 8:Spectromètre FTIR Bruker Vertex 70 .....	29
Figure 9 : Spectres IRTF de Co-compostage de déchets verts et des boues a différents stades du compostage (RAMDANI, 2015).....	31
Figure 10 : Spectres IRTF a différents stades de Co-compostage des boues se station d'épuration et de déchets de palmiers (El FELS, 2014).....	33

### ***Liste des Tableaux***

<b>Tableau 1.</b> Exemple de valeurs des principaux indicateurs de maturité (ALBRECHT,2007).....	12
<b>Tableau 2.</b> Composition des acides humiques et fulviques (SCHNITZER, 1978 in JUNQUA, 2002).....	21
<b>Tableau 3.</b> Quelques données bibliographiques concernant la distribution du carbone organique dans les fractions humiques et fulviques pour différents composts (RAMDANI, 2015).....	22
<b>Tableau 4.</b> Application de l'IRTF dans les sols (JUNQUA, 2002).....	25
<b>Tableau 5.</b> Bandes IR des principaux groupements fonctionnels observées dans les SH (EYHERAGUIBEL, 2004).....	27

## Table des matières

Introduction Générale

Chapitre I : Partie bibliographique	1
A- Evolution de la matière organique des composts et formation des substances humiques au cours du compostage.	1
I. Le sol et la matière organique	1
II. Le compost et la matière organique	2
a. Pourquoi composter ?	2
b. Définition du compostage	2
c. Le principe du compostage	3
d. Quels déchets composter ?	3
e. Les avantages et les inconvénients du compost	4
• Les avantages du compost	4
• Les inconvénients	4
III. Les processus du compost	5
A. La phase mésophile	6
B. La phase thermophile	6
C. La phase de refroidissement	7
D. La phase de maturation	7
IV. Evolution des caractéristiques physico-chimiques du compost au cours du compostage	7
• Teneur en eau	8
• pH	8
• Température	8
• Le rapport carbone / azote (rapport C/N)	9
• La capacité d'échange cationique (CEC)	9
• Le taux d'oxygène	9

• La granulométrie	9
• Humification : rapport (AH/AF)	9
V. Détermination de la stabilité et la maturité d'un compost	10
A. Définition de la stabilité et de la maturité du compost	10
B. Quelques techniques pour évaluer la maturité d'un compost	10
VI. Evolution de la composition chimique de la matière organique des composts au cours du compostage	13
A. Origine des substances humiques	13
B. Processus de formation des substances humiques	14
C. Le procédé de compostage se fait en deux grandes étapes	16
D. Mécanismes et voies de formation des substances humiques dans le compost	16
E. Evolution des substances humiques	18
F. Composition des substances humiques	19
➤ Le carbone organique dans les acides humiques et les acides fulviques	20
B-Characterisation spectroscopique de la matière organique des composts	23
G. Principe de la spectroscopie infrarouge	23
H. Domaine d'absorption dans l'IR des substances humiques du compost	25
Chapitre II : méthodes et matériels	27
I. Origine des composts utilisés	27
II. Méthode d'échantillonnage	27
III. Caractérisation spectroscopique	27
➤ Analyse spectroscopique d'absorption infrarouge a transformée de Fourier (IRTF)	27
Conclusion Générale	
Bibliographie	

---

## ***Introduction Générale***

---

La matière organique (MO) est le constituant du sol qui reflète le mieux les interactions entre le sol, la biosphère et l'atmosphère car elle dépend à la fois de la nature du sol et de l'environnement bioclimatique. C'est donc un très bon indicateur du milieu qui paraît avoir une vitesse d'évolution donc une approche des équilibres plus rapide (KONONOVA, 1966 ; STEVENSON, 1985).

Les substances humiques (SH) sont les constituants majeurs de la matière organique. Elles sont présentes dans tous les écosystèmes, sous forme de macromolécules carbonées complexes provenant de la dégradation et de la transformation de la matière organique. Elles présentent de nombreux effets sur l'environnement au niveau du sol, des plantes ou des microorganismes. Elles sont décrites comme des molécules stimulantes. Elles ont une influence favorable sur la structure du sol, sur la croissance et sur le développement des plantes.

L'étude des substances humiques s'avère complexe en raison de leur variabilité de structure, induite par l'origine et la nature du matériel humique ou par les conditions environnementales. Au-delà de cette variabilité, la genèse des substances humiques se heurte à un temps de dégradation très long et aux modalités d'extraction engendrant des variations de composition des produits obtenus.

Les pratiques agricoles intensives contribuent à appauvrir les sols en matière organique (BONGIOVANNI ET LOBARTINI, 2006) .cette déperdition en matière organique provoque une diminution de la rétention des polluants (organique ou minéraux) et contribue également à l'augmentation du risque d'érosion éolienne (LE BISSONNAIS, 1996) et la sensibilité des sols à la battance.

En Algérie la majorité des sols agricoles sont caractérisés par leur faibles taux de matières organiques. Cet état est dû au type de climat qui favorise la minéralisation rapide de la matière organique dans les sols. Aux pratiques culturales non appropriés et aux faibles apports organiques suite a la raréfaction du fumier de ferme habituellement utilisé (DRIDI et TOUMI, 1998 ; KRIBAA *et al*, 2001).

Une réponse à ces divers problèmes est l'apport de la matière organique exogène sur les sols. Cette forme de valorisation du carbone déchet permet en compensant les exportations de

matières organiques liées aux récoltes d'améliorer ainsi la fertilité, la perméabilité et la stabilité structurale des sols. Des techniques d'apport de produits résiduaux organiques se développent donc.

*« Pécuchet fit creuser devant la cuisine un large trou et le disposa en trois compartiments, où il fabriquerait des composts qui feraient pousser des tas de choses »*

(FLAUBERT, BOUVARD ET PECUCHET, 1881).

La production de compost donne à la société dans son ensemble la possibilité de fermer le cycle des éléments nutritifs : le compost provenant d'une activité agricole doivent être retournés à la terre si une gestion durable et écologique de ces matériaux est souhaitable.

L'objet de ce travail consiste en une meilleure compréhension des phénomènes d'évolution de la matière organique au cours du compostage en particulier la formation des acides humiques et des acides fulviques, en se basant sur la méthode d'analyse spectroscopie infrarouge (IR) plus précisément l'infrarouge à transformée de Fourier (IRTF).

Notre mémoire est subdivisé en :

Le premier chapitre consiste en une étude bibliographique sur les points forts et essentiels du compostage, sur la dégradation de la matière organique et la formation des substances humiques. Dans ce chapitre, nous traitons de l'utilisation de l'IR à transformée de Fourier pour caractériser les acides fulviques et les acides humiques formés au cours du compostage.

Le deuxième chapitre est consacré à une étude de cas portant sur la caractérisation des acides humiques et des acides fulviques par IR à transformée de Fourier

Et enfin le travail s'achève par une conclusion générale.

## **Chapitre I : Partie bibliographique**

---

### **A- Evolution de la matière organique des composts et formation des substances humiques au cours du compostage.**

#### **I. Le sol et la matière organique**

Le sol est un réservoir potentiel majeur de carbone (SWIFT, 2001), et l'importance du sol dans notre société est d'ailleurs liée à sa fertilité et son rendement, ce qui incite à améliorer sa capacité en teneur en carbone organique qui est aussi appelé matière organique.

La Matière Organique dans le Sol (MOS), peut être définie comme une matière carbonée provenant d'organismes vivants et de la décomposition des résidus organiques : végétaux, animaux et microbiens (STEVENSON, 1994). Elle est composée d'éléments principaux (le carbone, l'hydrogène, l'oxygène et l'azote) et des éléments secondaires (le soufre, le phosphore, le potassium, le calcium et le magnésium).

La matière organique joue un rôle important dans le fonctionnement global du sol au travers de ses composantes physique, chimique et biologique qui ont des conséquences essentielles pour la fertilité des sols :

- **Rôle physique** : l'association des argiles avec les matières organiques (complexe argilo-humique), contribuent à la formation d'agrégats et augmentent ainsi la stabilité structurale et la porosité des sols. Elles améliorent de ce fait le fonctionnement hydrique des sols (circulation de l'eau, aptitudes au ressuyage, rétention en eau des horizons superficiels) et limitent leurs sensibilités à la dégradation (lessivage, compaction, battance, érosion par ruissellement).
- **Rôle chimique** : Les matières organiques constituent d'une source d'éléments minéraux (par dégradation et minéralisation) et permettent d'autre part d'améliorer leur stockage (capacité d'échange cationique) et leur disponibilité (diffusion par la solution du sol). Elles contribuent ainsi à ralentir l'acidification des sols. Les matières organiques favorisent également la complexation des éléments traces métalliques (limitation des toxicités) et la rétention des micropolluants organiques et des pesticides (réduction de la pollution des eaux).
- **Rôle biologique** : en stimulant l'activité biologique des sols (vers de terre, biomasse microbienne), les matières organiques favorisent les phénomènes de dégradation, de

## *Partie bibliographique*

minéralisation et d'humification (turn-over des matières organiques) et améliorent la porosité biologique des sols. A la fin du compostage, les composts mûrs renferment une communauté importante et diversifiée de microorganismes mésophiles. Ainsi, l'apport de compost dans un sol ne signifie pas seulement un apport de matières humigènes contenant des composés minéraux, mais aussi un apport de microorganismes vivants (LARBI, 2006).

## **II. Le compost et la matière organique**

### **a. Pourquoi composter ?**

Le compostage permet de transformer un matériau en fin de vie, le déchet, en un produit utilisable, le compost. L'intérêt premier d'un compost est d'être un amendement organique permettant d'améliorer la fertilité des sols.

### **b. Définition du compostage**

Généralement, Le compostage est un procédé de dégradation biologique de la matière organique en présence d'air et d'eau (aérobie).il aboutit à la production d'un amendement organique, le compost.

Selon FRANCOU (2003) : « le compostage est un processus contrôlé de dégradation des constituants organiques d'origine végétale et animale, par une succession de communautés microbiennes évoluant en condition aérobies, entraînant une montée de température, et conduisant à l'élaboration d'une matière organique humifiée et stabilisée. Le produit ainsi obtenue est appelé compost ».

Le compostage se caractérise par :

Une production de chaleur au début du processus lors de la phase thermophile, entre 40 et 70°C, consiste à la forte activité des microorganismes aérobies décomposeurs.

Une perte de masse et de volume, due à la perte de matière, à l'évaporation de l'eau sous l'effet de la chaleur et au tassement.

Des matières organiques premières transformées par voies chimique, biochimique.

## *Partie bibliographique*

- **Définition du compost**

D'après la définition du MUSTIN (1987) «le compost est le résultat de la décomposition des constituants organiques des sous-produits et déchets organiques en un produit organique stable riche en composés humiques : le compost ».

- c. **Le principe du compostage**

Le principe du compostage reposant sur une transformation aérobie des matières organiques, les déchets traités doivent obligatoirement permettre une circulation suffisante de l'air pour que l'oxygène nécessaire à la respiration des microorganismes parvienne jusqu'au cœur des tas. La granulométrie des matières traitées ne doit donc pas être trop fine. Si les matières premières à traiter sont trop fines ou trop riches en eau il y a nécessité de les mélanger avec des structurants qui laissent correctement circuler l'air et se dégradent lentement (ADEME, 2006).

- d. **Quels déchets composter ?**

Le compostage s'adresse à toutes les matières organiques plus ou moins fermentescibles, ou bien tout déchet organique issu des activités industrielles, agricoles et urbaines peut être traité biologiquement par compostage :

- Les boues de station d'épuration (STEP) : il s'agit de boues produites dans les stations d'épuration des eaux urbaines. Les boues sont riches en matière organique, mais également en azote et en phosphore. Elles peuvent aussi contenir des éléments traces métalliques (ETM) ou des composés traces organiques (CTO).
- Les déchets verts : sont des déchets organiques formés de résidus de l'entretien des espaces verts, des zones récréatives, des jardins privés, des serres, etc.... il s'agit principalement des feuilles mortes, des tontes de gazon, des tailles de haies et d'arbustes etc.
- Les déchets ménagers : sont des déchets issus de l'activité domestique des ménages et pris en compte par les collectes usuelles ou séparatives :
  - Déchets ménagers obtenus après séparation des papiers, cartons, verres et emballages.
  - Déchets organiques biodégradables ou biodéchets (déchets de cuisine, fleurs, etc.).
- Les effluents d'élevage : déchets agricoles (fumiers, excréments d'animaux, ...).

## *Partie bibliographique*

### **e. Les avantages et les inconvénients du compost**

#### **• Les avantages du compost**

Le compost a bien plusieurs avantages à découvrir du point de vue agronomique :

- l'apport du compost a un rôle important dans le maintien, la structure et la qualité du sol en permettant une meilleure circulation de l'air et une bonne infiltration de l'eau dans le sol. Les agrégats permettent aux racines de mieux pénétrer dans les sols ce qui est bénéfique pour la plante ; la structure grumeleuse favorise la respiration racinaire et est propice aux bactéries aérobies.
- De plus, le compost apporte de la matière organique qui va servir de matière première pour nourrir les micro-organismes qui, à leur tour, fourniront des minéraux après dégradation de cette matière organique (minéralisation).
- Selon (CALVET et *al*, 2011), la valeur agronomique d'un compost est constituée de sa valeur amendante, le compost à la capacité d'entretenir et d'augmenter la teneur en matière organique des sols, et de sa valeur fertilisante ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ...).
- Les bénéfices de l'utilisation du compost sur les propriétés chimiques, physiques et biologiques des sols sont liés au type du sol lui-même, à la quantité de la matière organique, aux quantités incorporées mais aussi à la technique et à la fréquence d'incorporation (ADANI et *al*, 2007 ; KOUWALJOW et MAZZARINO, 2007 ; WEBER et *al*, 2007).
- Enfin, contrairement aux fumiers et aux lisiers, le compost, épandu sur prairies, ne risque pas de nuire à l'appétence de l'herbe puisqu'il n'est plus porteur d'odeurs indésirables.

#### **• Les inconvénients**

Plusieurs auteurs énumèrent les différents problèmes liés à l'utilisation d'un compost immature :

- Un compost immature peut aussi contenir des composés phytotoxiques (par exemple l'ammoniac ou l'acide acétique). En effet, la concentration en  $\text{NH}_4^+$  diminue au cours du compostage tandis que le  $\text{NO}_3^-$  apparaît (BERNAL et *al*, 1998). Une forte teneur en  $\text{NH}_4^+$  reflète un compost non stabilisé (ZUCCONI et BERTOLDI, 1987).

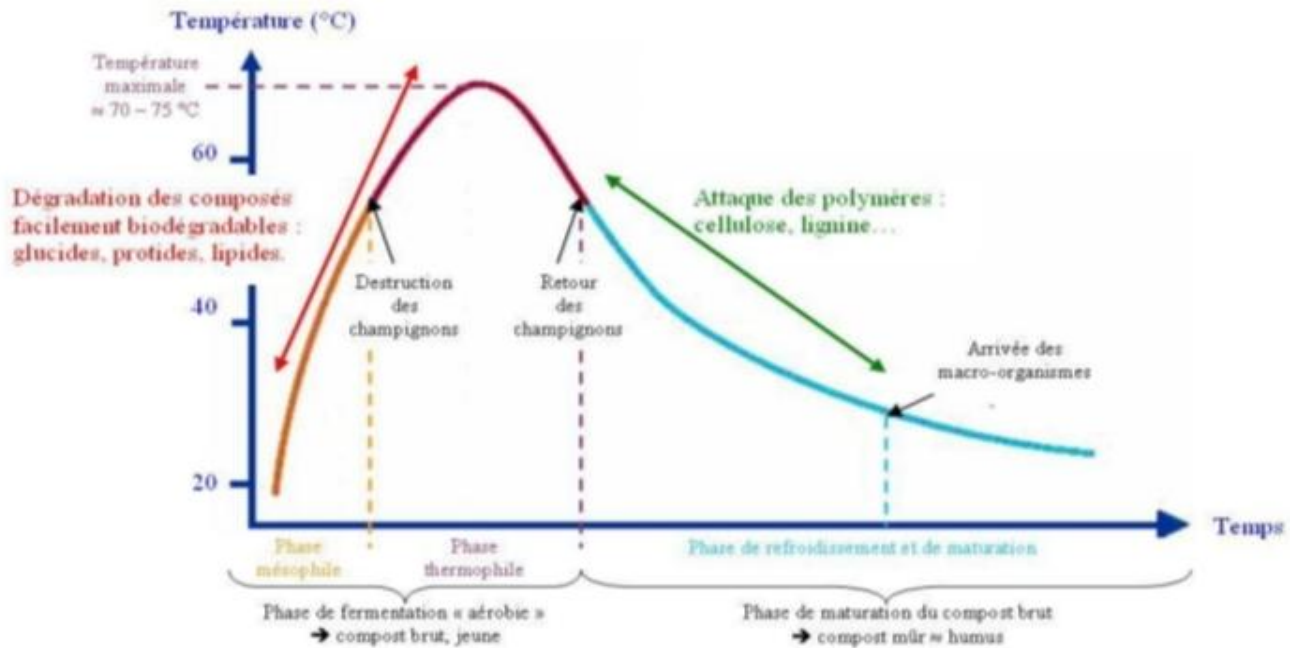
## *Partie bibliographique*

- Les pertes en azote se font par volatilisation de l'ammoniac au début du compostage, et il a été observé que les composts avec un faible C/N perdent plus d'azote que ceux avec un C/N élevé (SAUCHEZ-MAUEDEO et *al*, 2001).
- De plus, le compost immature peut limiter la biodisponibilité de l'azote dans le sol pour les plantes car il est aussi utilisé par les microorganismes (BERNAL et *al*, 1998).
- Enfin la décomposition rapide de ce compost entraîne une diminution de la teneur en oxygène du sol peu propice à la germination des plantes car les microorganismes aérobies, attirés par les composés facilement biodégradables du compost immature, utilisent l'O<sub>2</sub> disponible.

### **III. Les processus du compostage**

Le compostage comprend plusieurs phases (figure 1), mésophile, thermophile, refroidissement et maturation qui correspond au développement successif de différentes communautés microbiennes, essentiellement des bactéries dans les deux premières phases, puis majoritairement des champignons et des actinomycètes dans les deux dernières (MUSTIN, 1987).

La phase de décomposition ou de fermentation, avec la dégradation de la matière organique fraîche dominante correspond au passage des déchets organiques bruts à un compost jeune préhumifié puis, la phase de maturation avec la biosynthèse de composés humiques dominante correspond au passage du compost jeune à un compost mûr riche en humus.



**Figure 1.** principales phases du compostage et processus en jeu (HUBER et SCHAUB, 2011)

### A. La phase mésophile

Il s'agit de la vraie phase initiale du compostage. Ce sont surtout les bactéries et les champignons qui sont actifs. Ceux-ci décomposent les composés simples. Ces décompositions entraînent une augmentation de la température, jusqu'à 35°C.

Durant cette phase :

- L'O<sub>2</sub> est très important puisque les bactéries se multiplient fortement,
- Produit des dégagements de vapeur d'eau et de CO<sub>2</sub>,
- Entraine une diminution du rapport C/N.

### B. La phase thermophile

Il s'agit de la phase la plus chaude du compost. Cette chaleur est surtout présente dans le milieu du compost. L'élévation de la température entraîne le remplacement des microorganismes mésophiles par les microorganismes thermophiles. On les appelle les microorganismes thermo-tolérants. Il y a donc un arrêt du développement des champignons et le début de celui des actinomycètes. Ce sont surtout les longues chaînes carbonées qui sont décomposées. La température est plus forte donc la décomposition est plus rapide.

## ***Partie bibliographique***

A la fin de la phase, le compost aura perdu de l'azote ( $\text{NH}_4^+$  et  $\text{NH}_3^-$ ), il y aura en une perte de 50% du poids du compost en raison de rejet de  $\text{CO}_2$  ainsi le compost diminuera en volume.

Cette phase se termine lorsque la température n'augmente plus, même si l'on augmente l'apport d'oxygène. Cela signifie que les composés simples sont épuisés.

### **C. La phase de refroidissement**

Cette phase commence lorsque l'activité bactériologique diminue à cause d'un manque de quantité de matière organique facilement dégradable. Le compost perd lentement de la chaleur et descend vers  $40^\circ\text{C}$ - $50^\circ\text{C}$  ; cette baisse de température entraîne l'arrivée de nouveaux acteurs comme les champignons, la microfaune composée, des lombrics, des cloportes, les actinomycètes qui vont dégrader la cellulose, l'hémicellulose et la lignine.

L'humus commence à être formé grâce à l'incorporation de l'azote dans les molécules complexes du compost.

### **D. La phase de maturation**

C'est surtout la microfaune qui s'occupe de cette phase. Le compost est alors entièrement transformé en humus, car la matière organique qui composait le compost est simplifiée en substances minérales comme de l'eau, du dioxygène, et du méthane. Ces différents minéraux sont combinés avec les produits de la dégradation de la cellulose et de la lignine, forment de l'humus.

Cette phase du compostage est la plus lente mais sa durée varie en fonction des types de matériaux compostables. La température est d'environ  $30^\circ\text{C}$ , elle continue de diminuer pour atteindre celle de l'air ambiant.

## **IV. Evolution des caractéristiques physico-chimiques du compost au cours du compostage**

D'après JIMENZ et GARCIA (1992) ; BERNAL et *al* (1996), l'ensemble de ces paramètres principales interviennent en même temps au cours du compostage et non pas séparément.

## *Partie bibliographique*

- **Teneur en eau**

Le taux d'humidité de la matrice du compost conditionne les échanges en oxygène et donc l'activité microbienne (JERIS et REGAN, 1973).

L'humidité idéale est celle qui permet un bon compromis entre les deux paramètres importants pour l'activité microbienne, à savoir l'aération du milieu et sa teneur en eau. L'humidité idéale est liée à la densité du milieu, qui est fonction des déchets compostés et qui augmente au cours du compostage. L'humidité optimale pour le compostage généralement située entre 50 et 80% de la masse brute totale (RICHARD *et al*, 2002).

- **pH**

En général, les déchets initiaux ont une acidité légèrement plus forte que les composts finis. Mais beaucoup de travaux ont mis en évidence une phase d'acidification en début de compostage. Cette dernière est principalement due à la production anaérobie d'acides organiques et à l'immobilisation de l'ammonium dans la biomasse microbienne durant la phase mésophile RAMDANI, 2015).

Ensuite, durant la phase thermophile, les acides organiques sont dégradés entraînant une alcalinisation du compost, phénomène accentué par la minéralisation de l'azote.

- **Température**

La température est un paramètre important pour le suivi de la transformation et de l'hygiénisation de la matière organique lors du compostage. L'énergie est stockée sous forme de liaisons chimiques dans les molécules organiques de la biomasse puis elle peut être libérée selon plusieurs processus (ABAKER, 2016).

L'évolution de la température traduit une bonne évolution du processus de compostage, par succession de deux phases d'activités microbiologique :

- Durant la phase de stabilisation : une élévation de température jusqu'à une température maximale de 69°C et correspond à la dégradation des composés organiques simples.
- Durant la phase de maturation : une diminution de la température qui correspond à la dégradation des molécules lignocellulosique, et au processus d'humification.

## *Partie bibliographique*

- **Le rapport carbone / azote**

Le rapport C/N diminue pendant le compostage. Ce paramètre est le plus couramment mesuré pour évaluer la maturité d'un compost.

Les bactéries utilisent le carbone comme source d'énergie et l'azote comme source protéique. Le procédé de compostage entraîne une décomposition de la matière organique, donc une consommation de l'azote et du carbone, correspondant à la diminution du rapport C/N.

Un rapport élevé lié à une teneur faible en azote (source nutritionnelle) conduit à un ralentissement de l'activité ou de la croissance des populations microbiennes. A l'inverse, un rapport C/N très bas lié à un excès d'azote conduit à une production d'azote ammoniacal caractérisé par une odeur nauséabonde (AMIR, 2005).

- **La capacité d'échange cationique (CEC)**

La CEC représente la quantité maximale de cations (ions positifs) que la matrice peut adsorber. La CEC évolue dans le même sens que le pH du fait de la libération de charges négatives avec l'augmentation du pH (DUCHAUFOR, 1997). Pouvant être inférieure à 40 en début du compostage. La CEC augmente au cours du compostage et atteint des valeurs supérieures à 60 meq/100g (IGLESIAS-JIMENEZ et PEREZ-GARCIA, 1989 ; SAHARIENEN, 1998).

- **Le taux d'oxygène**

L'O<sub>2</sub> est utilisé par les micro-organismes comme un récepteur terminal d'électron lors de la respiration aérobie et de déroulement de compostage et afin de maintenir les conditions aérobies nécessaires à une décomposition rapide et inodore.

- **La granulométrie**

Si les déchets sont broyés trop finement le compostage sera très efficace et la teneur en oxygène chutera étouffant les microorganismes. Une granulométrie trop importante provoquera un dessèchement du tas de compost par des circulations d'air trop importantes limitant le développement microbien.

- **Humification : rapport (AH/AF)**

Les processus d'humification ont incité de nombreux auteurs à étudier les matières organiques humifiées ou substances humiques. Le fractionnement chimique de la matière organique en humine, acides humiques et fulviques a conduit certains auteurs à élaborer des

## *Partie bibliographique*

indicateurs de maturité. Des études montrent notamment une augmentation significative du rapport acides humiques sur acides fulviques (AH/AF) au cours du compostage. Les résultats trouvés dans la littérature sont assez concordants avec des valeurs inférieures à 1 pour des composts immatures, et supérieures à 1 ou 3 pour les composts mûrs.

### **V. Détermination de la stabilité et la maturité d'un compost**

#### **A. Définition de la stabilité et de la maturité du compost**

**La maturité** : est l'état d'un compost qui affiche une activité biologique limite et qui est décomposé au point de pouvoir être entreposé et utilisé sans risque de dégager des odeurs et sans conséquences préjudiciables, notamment pour les végétaux en raison d'éventuels composés phytotoxiques rémanents.

**La stabilité** : désigne l'état d'une matière ayant une activité biologique réduite. La phase thermophile de décomposition microbienne confère de la stabilité au compost.

Il arrive, en raison d'un déséquilibre des éléments nutritifs ou d'un manque d'humidité, qu'un compost paraisse stable sans qu'il soit totalement décomposé au moment de l'analyse.

Le compost peut redevenir instable au rétablissement des conditions propices à sa décomposition.

Par conséquent, un compost mature est nécessairement stable, mais un compost stable n'est pas nécessairement mature (ONTARIO, 2012).

#### **B. Quelques techniques pour évaluer la maturité d'un compost**

- Une technique empirique et originale pour évaluer la maturité d'un compost a été proposée par PFEIFFER, (1984). Il s'agit d'un test simple basé sur la chromatographie circulaire sur papier. Au centre d'une feuille de papier filtre imbibée de nitrate d'argent, on dépose un extrait basique de compost qui va migrer naturellement.

Un compost peu mature sera caractérisé par une tache centrale claire et des bords de cercles sombres, alors qu'un compost mature aura une tache centrale sombre et des traînées claires vers la périphérie.

## *Partie bibliographique*

Une autre technique, pour voir si un compost est mature est de faire des semis de graines de laitues dans des bocaux contenant du compost, hermétiquement fermés, et d'évaluer le taux de germination des graines.

- D'autres études scientifiques ont été consacrées à la caractérisation d'un compost mature par la technique de spectroscopie infrarouge (COELHO, 2009).

L'infrarouge mesure des intensités d'absorption électromagnétique dans les régions infrarouge (2500-25000nm). Le principe repose sur les variations d'énergie de vibration et de rotation. L'infrarouge a suscité beaucoup d'intérêt dans le cadre de l'étude des substances humiques (SANCHEZ-MONEDERO et *al*, 2002 ; REVEILLE et *al*, 2003) grâce à l'utilisation de spectromètres à transformés de Fourier. Une revue a notamment été conduite par (CHEN, 2003) sur l'application de l'infrarouge, complétée par des analyses de résonance magnétique nucléaire, dans la détermination de la maturité des composts.

## Partie bibliographique

**Tableau 1.** exemple de valeurs des principaux indicateurs de maturité (ALBRECHT, 2007)

Paramètre	Analyse	Valeurs compost immature	Valeurs compost mature	Références
<b>Chimique</b>	pH	6 - 9	7 - 9	(Francou, 2003)
		5,6 à 7,6	7,1 à 7,5	(Bernal <i>et al.</i> , 1998)
	C/N	> 15	< 15	(Francou, 2003)
		11 à 31	8,6 à 11,8	(Iglesias-Jimenez et Perez-Garcia, 1993)
	NO <sub>3</sub> /NH <sub>4</sub>	21,5	17,9	(Hirai <i>et al.</i> , 1986)
		< 1	1,4 et 6,8	(Forster <i>et al.</i> , 1993)
			> 1	(Senesi, 1989), cité par Serra-Wittling, (1996)
			> 1	(Francou, 2003)
	CEC		> 6,3	(Sanchez-Monedero <i>et al.</i> , 2001)
	AH - AF		> 60 meq / 100 g MS	(Iglesias-Jimenez et Perez-Garcia, 1993)
Rapport AH/AF	0 - 1	1,3 - 1,7	(Castaldi <i>et al.</i> , 2005; Huang <i>et al.</i> , 2006)	
	0,6 - 0,7	1,9	(Iglesias-Jimenez et Perez-Garcia, 1993)	
		3,33	(Hsu et Lo, 1999)	
<b>Spectral</b>	RMN <sup>13</sup> C			(Almendros <i>et al.</i> , 2000; Chen, 2003; Castaldi <i>et al.</i> , 2005)
	Infrarouge			(Chen, 2003; Castaldi <i>et al.</i> , 2005; Huang <i>et al.</i> , 2006)
	UV			(Domeizel <i>et al.</i> , 2003; Huang <i>et al.</i> , 2006)
<b>Activité microbienne</b>	Respirometrie	> 15 g O <sub>2</sub> kg <sup>-1</sup> MS en 7 j	< 7 g O <sub>2</sub> /kg MS en 7j	(Nicolardot <i>et al.</i> , 1986)
		27.5 mg O <sub>2</sub> g <sup>-1</sup> VS h <sup>-1</sup>	1.9 mg O <sub>2</sub> g <sup>-1</sup> VS h <sup>-1</sup>	(Said-Pullicino <i>et al.</i> , 2007)
	Successions des communautés			(Mondini <i>et al.</i> , 2003; Boulter-Bitzer <i>et al.</i> , 2006)
	Enzymologie			(Mondini <i>et al.</i> , 2003; Boulter-Bitzer <i>et al.</i> , 2006)
	Auto-échauffement			(Chikae <i>et al.</i> , 2007)
	Solvita®	< 3	5 - 6	(Francou, 2003)
				(Francou, 2003)
<b>Effet sur plantes</b>	Germination			(Wu <i>et al.</i> , 2001; Chikae <i>et al.</i> , 2006)
	Valeur agronomique			(Said-Pullicino <i>et al.</i> , 2007)
				(Rivero <i>et al.</i> , 2004)

VS: Total volatile solids

## ***Partie bibliographique***

Le tableau 1 présente des résultats obtenus avec les différents indicateurs de stabilité répertoriés dans la littérature sur des composts considérés murs ou immatures par les auteurs. La valeur agronomique des composts peut être définie comme l'aptitude des composts à améliorer la fertilité des sols. Les composts sont en effet des produits riches en matières organiques et également en composés minéraux (azote, potassium, calcium et oligo-éléments...) et à ce titre sont susceptibles d'améliorer la fertilité du sol (SOUMARE *et al*, 2003).

### **VI. Evolution de la composition chimique de la matière organique des composts au cours du compostage**

#### **A. Origine des substances humiques**

La matière organique du sol est constituée par des molécules de tailles très diverses plus ou moins associées entre elles et produites par la transformation biochimique de substances d'origine biologique (débris végétaux divers et déchets animaux) (NI NYOMAN et PANDIT, 2008 ; GARY, 2015).

Les substances humiques constituent une famille chimique complexe (BARAN *et al*, 1997) présentent dans tous les écosystèmes, elles constituent des mélanges très complexes de matières organiques hétérogènes de couleur jaune à noire, de composition chimique variable, de caractère acide, partiellement aromatiques, difficilement dégradables dans les conditions thermodynamiques où elles se trouvent.

Les substances humiques peuvent avoir des origines très diverses, elles peuvent provenir de toute matière organique d'origine animale, végétale ou bactérienne. Ceci inclut par exemple les fumiers et les composts, les boues d'épuration ou les lixiviats d'ordures ménagères (MOULOUBOU, 2015).

- **Les lignines**

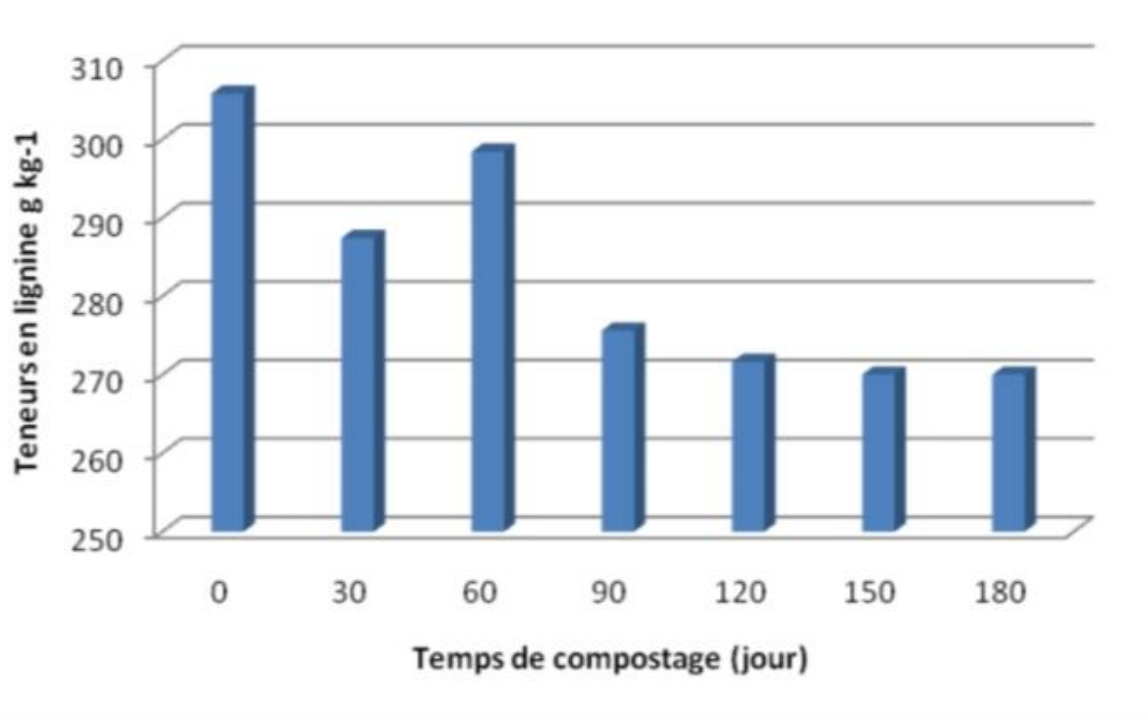
FRANCOU (2003) a défini Les lignines comme des polymères aromatiques de poids moléculaire élevé, obtenus à partir de trois monomères phénoliques. Ou bien se sont des polyphénols, macromolécules tridimensionnelles hydrophobes de haut poids moléculaires (CELERIER, 2008).

## Partie bibliographique

Les lignines sont considérées comme une source majeure dans la formation des substances humiques.

Les lignines sont difficilement dégradées, très résistantes à de nombreux agents chimiques et biochimiques. Seules certaines bactéries et champignons sont capables d'assurer la lignolyse.

Selon ALBRECHT (2007) le fractionnement chimique de la lignine a été adapté de la méthode de (QUOC LAM *et al*, 2001) permettant d'isoler la lignine des autres polymères organiques contenue dans les déchets verts (cellulose et hémicelluloses). La teneur en lignine présente une diminution significative pendant le temps de compostage (figure2) avec des valeurs de 11,5 à 7,8 % MS entre 4 et 146 jours. Cette diminution a été corrélée à l'augmentation des acides humiques grâce au calcul du rapport lignine / acide humique. Ces résultats semblent signifier que les processus d'humification, au cœur de la stabilisation des matières organiques lors du compostage, correspondent en partie à une transformation de la lignine en acides humiques.



**Figure 2.** Evolution des teneurs en lignines au cours du compostage (RAMDANI, 2015).

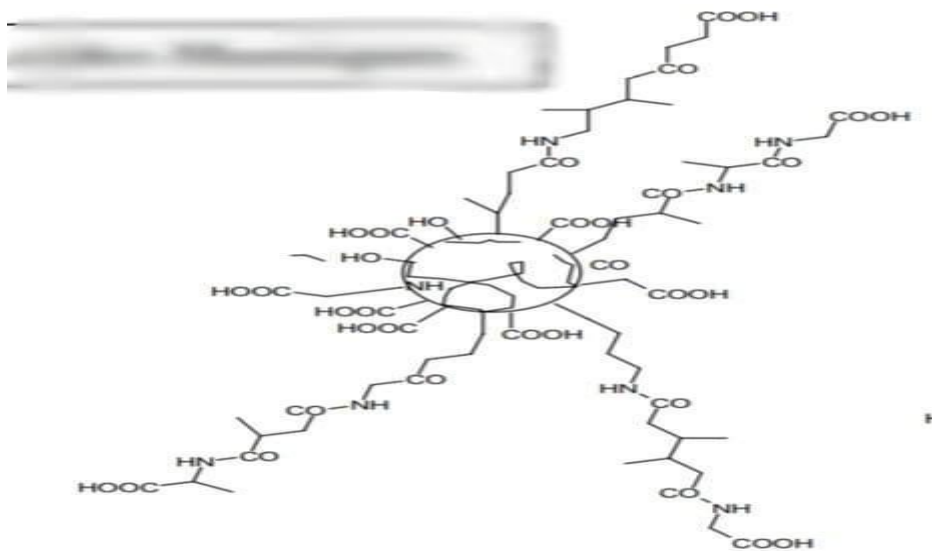
### B. Processus de formation des substances humiques

La matière organique des sols est composée de substances humiques et non humiques ; les substances non humiques sont des composés facilement dégradables tels que les hydrates de

## Partie bibliographique

carbone, protéines, lipides, cires, etc... Et les substances humiques constituent une famille de composés complexes. Elles sont subdivisées en trois fractions (acides fulviques, acides humiques et humines) suivant leur solubilité dans l'eau ajustée à différentes conditions acido-basiques (KORIKO, 2010) :

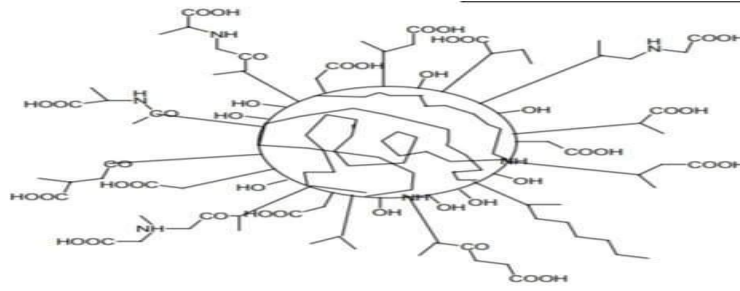
**Acides fulviques :** Ce sont des acides phénoliques et aliphatiques, des « polymères » phénoliques plus ou moins colorés, des chaînes de saccharides et des polypeptides. Ces composés se polymérisent rapidement dans le sol, suivant les conditions écologiques locales, et l'activité microbiologique globale. Les acides phénoliques et les polymères constituent le « noyau » de la macromolécule fulvique, les autres composés forment les chaînes latérales (figure3).



**Figure 3.** Modèle de structure d'acide fulvique(ANDREUX et MUNIER-LAMY, 1994).

**Acides humiques :** au début de leur formation sont plus proches des acides fulviques. Ils sont d'autant plus polymérisés, que la « charge minérale » est plus forte. Leurs chaînes sacchariques ou peptidiques latérales sont moins importantes par rapport au noyau phénolique (figure4). La distinction acide fulvique - acide humique dans la première phase d'évolution de ces substances, apparaît donc comme artificielle. Par contre, c'est au sein de l'ensemble des acides humiques qu'intervient une distinction fondamentale.

## Partie bibliographique



**Figure 4.** Modèle de structure d'acide humique (ANDREUX et MUNIER-LAMY, 1994).

La synthèse de substances humiques peut être réalisée de manière contrôlée. Le traitement des déchets par compostage est une technique naturelle, basée sur le processus biologique de décomposition des déchets organiques. Elle fait intervenir une abondante microflore aérobie naturellement présente dans les déchets. Quatre paramètres sont contrôlés pour optimiser la production de compost : l'oxygénation, la température, le pH, et l'humidité (EYHERAGUIBEL, 2004).

### **C. Le procédé de compostage se fait en deux grandes étapes**

- Une biodégradation en aérobie des déchets fermentescibles les plus dégradables (comme l'amidon et les sucres) par des bactéries mésophiles, puis par des bactéries thermophiles.

La matière organique végétale ou animale, composée de molécules complexes et diverses, est d'abord décomposée par une activité microbienne qui libère les composés simples le plus souvent solubles. Une partie de ces composés facilement assimilables, subit une minéralisation complète avec libération de différents composés minéraux ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ , etc.) solubles ou gazeux.

La vitesse de minéralisation est très fortement dépendante, d'une part, de la nature des composés organiques et des facteurs environnementaux tels que l'aération ou l'humidité, de la température, du pH et, d'autre part, de l'accessibilité aux microorganismes à la matière organique. La nature des composés organiques influe considérablement sur la vitesse de minéralisation. Par exemple, la lignine n'est totalement minéralisée que par les champignons de la pourriture blanche.

### **D. Mécanismes et voies de formation des substances humiques dans le compost**

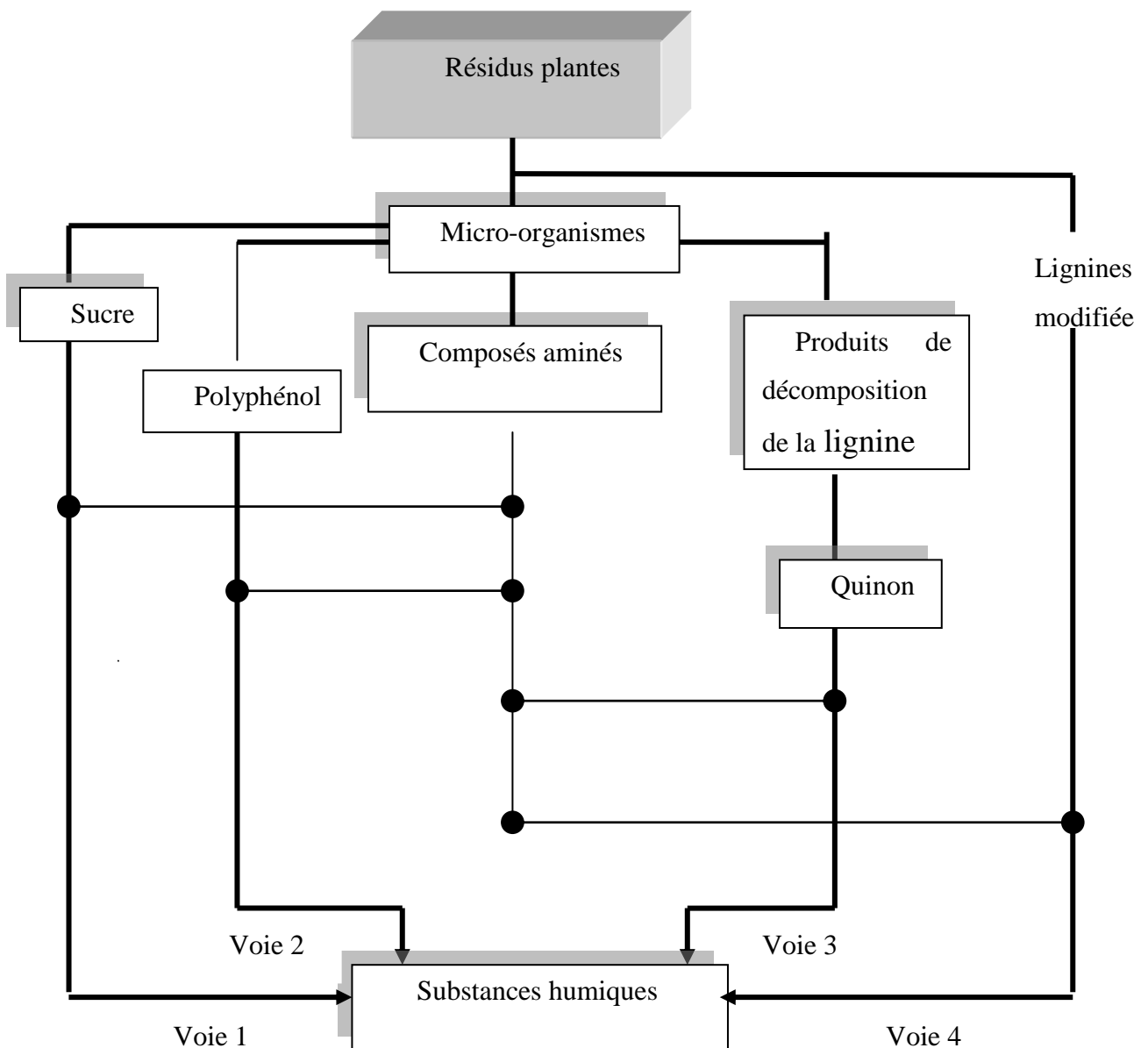
Le compostage est équivalent au procédé naturel d'humification des résidus organiques dans les sols (OUDART, 2014).

## Partie bibliographique

Le processus d'humification repose sur des mécanismes complexes de dégradation de la matière organique par les microorganismes. Il conduit à la formation de substances brunes par des réactions de polycondensation oxydative, avant la minéralisation totale (TISSAUX, 1996).

Après plus de deux cents ans d'étude, les mécanismes de leur synthèse ne sont toujours pas résolus. Les théories classiques de l'humification présentent les processus d'humification soit comme des processus purement biologiques, soit comme des processus biologiques suivis de processus chimiques (STEVENSON, 1994).

Il existe quatre voies proposées de formation des substances humiques (figure 5):



**Figure 5.** Quatre voies de l'humification (STEVENSON, 1994).

## *Partie bibliographique*

**La voie 1 :** Il s'agit de la condensation de sucres et de composés acides aminés, pouvant conduire au final à des mélanoides de couleur brune.

**La voie 2 :** privilégie la formation de poly phénols à partir de cellulose ou d'autres composés non ligniques, l'oxydation des poly phénols en quinones est suivie d'une polymérisation donnant les substances humiques.

**La voie 3 :** considère que les acides et aldéhydes phénoliques, produits de la dégradation microbienne de la lignine sont transformés en quinones sous l'action d'enzymes. Ces quinones sont ensuite polymérisées avec ou sans composés aminés pour donner les substances humiques.

**La voie 4 :** appelée théorie ligno-protéiques : c'est la théorie développée par WAKSMAN (1932). Les composés aminés des microorganismes réagissent avec les lignines modifiées. Les lignines sont dégradées de façon incomplète, provoquant une perte des groupes méthoxyl ( $\text{OCH}_3$ ), la génération de O-hydroxyphénols, et l'oxydation des aliphatiques conduisant à la formation du groupe  $\text{COOH}$ .

### **E. Evolution des substances humiques**

L'évolution des acides humiques et des acides fulviques au cours du compostage indique que la présence des substances humiques dans un milieu est classiquement mise en évidence à travers leur couleur en solution (KORIKO, 2010) :

- ***Les acides humiques (AH)***

- les acides humiques «*jeunes*» peu polymérisés et proches des acides fulviques sont des composés qui résistent moins à la biodégradation microbienne. Ils sont « bruns » et résultent de la polymérisation rapide de composés hydrosolubles par oxydation enzymatique. Les acides humiques « jeunes » offrent un « turnover » du carbone relativement rapide.

- les acides humiques «*évolués*» sont de grosses molécules, à noyau phénolique très important par rapport aux chaînes latérales et de couleur « grise ». Leur liaison avec les argiles est très intime. Ces macromolécules sont résistantes à la biodégradation microbienne. Ceci explique « l'âge moyen » mesuré au  $^{14}\text{C}$  très élevé de l'humus des sols qui est riche en ces acides humiques.

## *Partie bibliographique*

- *Les acides fulviques (AF)*

Ont une teinte très claire tendant vers le jaune similaire aux couleurs indiquées dans la littérature, signe d'une faible teneur en carbone. Par contre, les acides humiques ont une coloration noirâtre qui indique une forte concentration en carbone.

L'absorption de la lumière étant directement liée à la concentration en noyau aromatique, la couleur des substances humiques peut fournir des indications sur la taille des molécules. Les différentes fractions des substances humiques des sols et des composts présentent les caractéristiques ci-dessus décrites (Figure6). On peut ainsi constater sur les photos de cette figure que :

- les acides fulviques du sol ont une teinte très claire tendant vers le jaune, signe d'une faible teneur en carbone et les acides fulviques du compost ont une coloration jaune foncé qui indique que ces acides sont plus riches en carbone ;



**Figure 6.** Couleurs des différentes fractions de substances humiques : acides fulviques [jaune clair (sol) et foncé (compost)] ; acides humiques [brun clair (compost) et bruns foncés (sol)] (KORIKO et al ; 2013).

### **F. Composition des substances humiques**

Les deux éléments importants des acides humiques et des acides fulviques sont le carbone et l'oxygène. Les teneurs en carbone, en oxygène, en azote, en soufre, etc... sont consignées dans le tableau2 :

## *Partie bibliographique*

**Tableau 2.** Composition des acides humiques et fulviques (d'après SCHNITZER, 1978 in JUNQUA, 2002).

Composition élémentaire	acides humiques		Acides fulviques	
	Moyenne(%)	Gramme(%)	Moyenne (%)	Gramme(%)
C	56	53-56	45,7	40,7-50,6
H	4,6	3-6,5	5,4	3,8-7
N	3,2	0,8-5,5	2,1	0,9-3,3
O	35,5	32_38,5	44,8	39-50
S	0,8	0,1-1,5	1,9	0,1-3,6
Groupes fonctionnels	Moyenne (meq.g <sup>-1</sup> )	Gramme (meq.g <sup>-1</sup> )	Moyenne (meq.g <sup>-1</sup> )	Gramme (meq.g <sup>-1</sup> )
Groupement acides totaux		5,6-8,9		6,4-14,2
Carboxyliques	3,6	1,5-6	8,2	5,2-11,2
Phénoliques	3,1	2,1-5,7	3	0,3-5,7
Alcooliques	-	0,2-4,9	-	2,6-9,5
Quinoniques cétoniques	-	0,1-5,6	-	0,3-3,1
Méthoxiques	-	2,1-5,7	3	0,3-5,7

Les teneurs en carbone des acides humiques sont supérieures à celles des acides fulviques. Par contre, la concentration en oxygène dans les acides fulviques est supérieure à celle des acides humiques. Ceci est dû au fait que les acides fulviques contiennent plus de groupements carboxylique (COOH) et les hydrates de carbone.

### ➤ **Le carbone organique dans les acides humiques et les acides fulviques**

Le tableau 3 présente quelques valeurs mentionnées dans la littérature sur des composts d'origines et d'âges différents. La part du carbone extractible (acides humiques plus acides fulviques) représente généralement moins de 25% du carbone total. Cela signifie donc que la grande majorité du carbone des composts est sous forme non extractible. Généralement, la fraction fulvique prédomine sur la fraction humique en début de compostage et représente jusqu'à 10% de la matière sèche totale (ou 25% du carbone total).

## *Partie bibliographique*

**Tableau3.** Quelques données bibliographiques concernant la distribution du carbone organique dans les fractions humiques et fulviques pour différents composts (RAMDANI, 2015).

Référence	Déchets principaux compostés	Degré d'évolution	COT	C-AH %MS	C-AF
(Sugahara&Ionoko, 1981)	Ordures ménagères	Initial	41	0,1	9,7
(Rffaldi et al ; 1983)	Ordures ménagères	Avancé	18	1,4	2,3
	Effluents	Avancé	32	4,5	2,8
	Boues STEP	Avancé	27	2,5	3,8
(Saviozziet et al ; 1988)	Ordures ménagères	Initial	30	0,6	2,1
		stable	21	2,4	1,3
	Effluents	Déchets	39	2,1	2,7
		Stable	36	4,2	2,4
(Frster et al ; 1993)	Végétaux	6 mois	33	7,9	1,9
	Ordures ménagères	9 mois	25	6,8	2,4
	Ordures ménagères	18 mois	15	4,2	0,7
	Boues	4 mois	31	2,1	1,9
(Kostov et al ; 1994)	Sciure de bois	3 mois	43	1,3	1,6
		6 mois	42	1,5	1,4
(Adani et al ; 1995)	Effluents	Initial	44	6,2	1,5
		2 mois	36	8,4	1,4
		5 mois	34	9,4	2,1
	Ecorces	-	43	20,5	2,5
	Boues STEP	-	25	11,5	1,5
(Bernal et al ; 1998)	Boues industrie coton	Initial	44	7,2	3,7
		Moyen	36	7,8	3,1
		Avancé	36	7,8	2,6
(Outmane et al ; 2000)	Ordures ménagères	20 jours	45	1,0	10,2
		2 mois	35	1,4	7,6
		6mois	23	3,6	5,0
		1 an	15	3,1	1,7

Durant le compostage, la fraction humique devient progressivement prédominante par rapport à la fraction fulvique et représente par exemple jusqu'à 4% de la matière sèche (25% du carbone) d'un compost d'ordures ménagères âgé de 18 mois, contre 1% (5% du carbone)

## *Partie bibliographique*

pour la fraction fulvique. Cette diminution de la proportion de carbone sous forme fulvique conjointement à l'augmentation de la proportion de carbone sous forme humique correspond à l'humification de la matière organique du compost, ou plus exactement à l'augmentation de la concentration de composés stables dans le compost (FRANCOU, 2003).

## **B-Caractérisation spectroscopique de la matière organique des composts**

Vu la complexité de structures humiques, de nombreuses techniques chimiques complémentaires sont généralement utilisées afin d'accumuler davantage des données, suffisantes pour s'approcher de la structure moléculaire de substances humiques et déterminer les transformations produites au sein des structures organiques au cours du processus d'humification (AMIR, 2005).

Les mesures spectroscopiques dans les différentes régions du spectre électromagnétique ont connu de larges applications pour l'étude de la matière organique, spécialement pour les substances humiques. Ces méthodes sont intéressantes dans la mesure où elles sont non destructives et demande une faible quantité d'échantillon (GOSSART, 2001).

L'utilisation des méthodes spectrales d'analyses des substances humiques se sont développées ces dernières années. Ces méthodes permettent une meilleure compréhension des processus de dégradation de la matière organique au cours du compostage. Les principales techniques utilisées aujourd'hui pour étudier la stabilisation des composts au cours du compostage sont la spectrométrie infrarouge (IR), l'Ultra-Violet (UV), la résonance magnétique nucléaire (RMN), et la pyrolyse couplée à un spectromètre de masse (CHEN, 2003). Mais seule la méthode d'infrarouge est reportée dans notre travail.

**La spectrométrie infrarouge** est l'une des techniques qui permettent d'étudier les échantillons sans aucun traitement chimique susceptible de générer des réactions latérales. Elle est utilisée depuis une soixantaine d'années, mais son utilisation (tableau4) s'est considérablement développée depuis l'apparition vers 1970 de spectromètres à transformée de Fourier (ROUESSAC, 1997). La spectroscopie Moyen Infrarouge est utilisée couramment pour la caractérisation des substances humiques (ORLOV, 1986 ; STEVENSON, 1994). En outre, combinée avec des méthodes chimiques (JUNQUA, 2002). Son application à l'étude de stabilisation de la matière organique des composts est plus récente, et complète souvent des analyses en RMN (CHEN, 2003).

### **G. Principe de la spectroscopie infrarouge**

Cette méthode est largement utilisée pour caractériser l'évolution des composés organiques, notamment des substances humiques présentes dans les composts, les sols, les boues d'épuration (POLAK *et al*, 2009). Hormis l'identification des groupes fonctionnels par

## *Partie bibliographique*

leurs fréquences caractéristiques, cette technique permet de suivre la composition des substances humiques par comparaison des intensités relatives de certaines bandes d'absorption (AMIR *et al* ,2006 ; CHEFETZ *et al* ,2006 ; FAKHAREDINE *et al* ,2006).

L'infrarouge à transformée de Fourier (IRTF) donne des spectres dont l'interprétation n'est pas toujours facile. Un massif ou un pic ne correspond pas à un composé précis mais à une énergie de rotation ou de vibration d'une liaison. L'interprétation d'un spectre est basée sur l'existence d'une corrélation entre les positions de certains pics et la présence de certains composés organiques. Chaque type de fonction organique absorbe à des longueurs d'ondes particulières.

**Tableau 4.** Application de l'infrarouge à transformée de Fourier dans les sols (JUNQUA, 2002).

<b>Applications</b>	<b>Technique</b>	<b>Références</b>
Compréhension des voies de dégradation de la litière	IRTF	Gilardi <i>et al</i> ; 1995, Wershaw <i>et al</i> ; 1996
Compréhension des voies de dégradation lors du compostage	IRTF	Inbar <i>et al</i> ; 1989
Comparaison de la composition de Litières	IRTF	Haberhauer <i>et al</i> ; 1998
Caractérisation des acides humiques et fulviques	IRTF/Réflectance Diffuse	Baes et Bloom, 1989
Estimation de classes de Composés (graisses, Polysaccharides, bactéries)	IRTF/Réflectance Diffuse/méthodes Chimiométriques	Gordon <i>et al</i> ; 1993, Luinge <i>et al</i> ; 1993
Relations entre les bandes CH aliphatiques et les propriétés chimiques, microbiologiques et de texture des sols	IRTF/Réflectance Diffuse/méthodes Chimiométriques	Capriel <i>et al</i> ; 1995
Estimation du carbone dérivé de la lignite dans les sols	IRTF/Réflectance Diffuse/PLS	Rumpel <i>et al</i> ; 2001

- ✓ IRTF : spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier
- ✓ PLS : Partial Least Squares
- ✓ Lignite : roche sédimentaire composée de restes fossiles de plantes (vient de lignine).  
C'est une roche intermédiaire entre la tourbe et la houille.

## **H. Domaine d'absorption dans l'IR des substances humiques du compost**

Les analyses infrarouges réalisées directement sur la matière totale des composts sont rares (INBAR *et al*, 1989; NIEMEYER *et al*, 1992 ; OUATMANE *et al*, 2000 ; ZACCHEO *et al*, 2002). La dégradation de la matière organique au cours du compostage s'accompagne d'une augmentation de la proportion de composés aromatiques, réfractaires à la biodégradation, par rapport aux courtes chaînes aliphatiques, aux polysaccharides et aux alcools, facilement dégradables (INBAR *et al*, 1989 ; CHEN, 2003).

- OUATMANE *et al*. (2000) constatent que cette augmentation est forte dans le cas d'un compostage d'ordures ménagères alors qu'elle est pratiquement insignifiante dans le cas d'un compostage à base de sciure de bois.
- INBAR *et al*. (1989) montrent, dans leur étude sur le compostage de fumier, que les changements des rapports d'absorbance en infrarouge à transformée de Fourier à plusieurs fréquences distinctes (1385/2930, 1650/2930, 1425/1050) sont significativement corrélés à l'âge du compost, au rapport C/N ou encore à la proportion de substances humiques.
- L'indexation des spectres infrarouges à transformée de Fourier à différents stades d'évolution d'un co-compost, de boue-déchets vert, reste compliquée vu le chevauchement des bandes relatives à la phase minérale avec celles des substances humiques (ELLERBROCK *et al* ; 2005). Il est difficile dans ce cas d'attribuer avec précision toutes les bandes d'absorption du spectre infrarouge à transformée de Fourier dans les régions 3500-3280  $\text{cm}^{-1}$  et 1200-1000  $\text{cm}^{-1}$  (HABERHAUER *et al* ; 1998 ; ELLERBROCK *et al* ; 2005 ; KAISER et ELLERBROCK, 2005).
- Les spectres infrarouge à transformée de Fourier des composts d'ordures ménagères se distinguent notamment de ceux des déchets verts par un pic prédominant à 1450  $\text{cm}^{-1}$  (C-H acides) au lieu de 1650  $\text{cm}^{-1}$  (C=O aromatiques et amides) ou 1050  $\text{cm}^{-1}$  (C-O polysaccharides) dans le cas d'autres composts (CHEN, 2003).
- Il apparaît également que lorsque le compost atteint un niveau élevé de stabilité, il devient un mélange assez homogène dont les caractéristiques sont indépendantes de la nature des déchets compostés (OUATMANE *et al*, 2000).

Il existe de nombreux travaux portant sur la caractérisation des composés présents dans les acides humiques extraits de composts (SUGAHARA et IONOKO, 1981 ; INBAR *et al*,

## *Partie bibliographique*

1989 ; DEIANA *et al*, 1990 ; CHEN *et al*, 1996 ; TOMATI *et al*, 2001 ; OUATMANE *et al*, 2002 ; ZACCHEO *et al*, 2002). Ces travaux mettent principalement en évidence une diminution des composés aliphatiques et une augmentation de composés aromatiques dans la constitution des acides humiques. (SUGAHARA et IONOKO, 1981) constatent également que les spectres des acides humiques extraits de trois composts d'ordures ménagères sont différents en début de compostage et très ressemblants en fin de compostage.

L'attribution de bandes à des fonctions organiques a été définie par corrélation entre les positions de certains pics et la présence de certains composés organiques (STEVENSON, 1994).

**Tableau 5.** Bandes infrarouges des principaux groupements fonctionnels observés dans les substances humiques (EYHERAGUIBEL, 2004).

Bandes et pics (cm <sup>-1</sup> )	Groupement fonctionnels
3300-3400	Liaison H de OH des alcools, phénol, des acides carboxyliques aussi bien que des liaisons H de N-H
2920-2930	C-H des signatures alkyles ou des méthoxyles
1630-1650	C=C aromatiques, C=O amides 1, cétones et quinones
1600	C=C aromatiques, C=O, COO-
1540-1550	Amides II
1400	OH de phénols, COO-, -CH <sub>3</sub>
1260-1200	Amides III ou C-O-C des esters aromatiques
1200-1100	Amides III, acides ou alcools aliphatiques, déformations C-O et O-H des aryles esters, des ester, particulièrement des composés organo-sulfurés
1170-1030	-C-O-C des carbohydrates, ester aromatiques, groupement Si-O-C

## **Chapitre II : Matériels et méthodes**

---

### **I. Origine des composts utilisés**

Dans cette partie nous avons étudié la caractérisation de deux composts par infrarouge

- La première étude c'est un compost à base de boues de station d'épuration et de déchets verts qui a été élaboré par Madame Nadia RAMDANI à l'université d'Oran 2014/2015.
- Et la deuxième étude c'est un compost à base de boues de station d'épuration et de déchets de palmier dattier de Marrakech qui a été élaboré par Mme EL FELLS LOUBNA à l'université de Toulouse 2014.

### **II. Méthode d'échantillonnage**

L'échantillonnage est réalisé par quartage d'après la norme U44-101 durant tous les mois de compostage. Différents prélèvements sont effectués lors du retournement de l'andain, en plusieurs endroits en suivant les quatre points cardinaux et le centre des andains. Ces prélèvements sont réunis en un échantillon global d'une masse d'environ 1Kg, homogénéisée par mélange constituant l'échantillon pour laboratoire. Une partie de l'échantillon est stockée en chambre froide avec analyses sur produits frais. Le reste est séché à l'air pour les différentes analyses sur produit sec.

### **III. Caractérisation spectroscopique**

Les techniques spectrophotométriques ont pour objectif d'obtenir des informations qualitatives ou /et quantitatives sur l'échantillon à analyser en se basant sur les interactions entre la matière et un rayonnement lumineux. L'interaction matière-rayonnement peut donner lieu aux phénomènes d'absorption :

#### **➤ Analyse spectroscopique d'absorption infrarouge à transformée de Fourier (IRTF)**

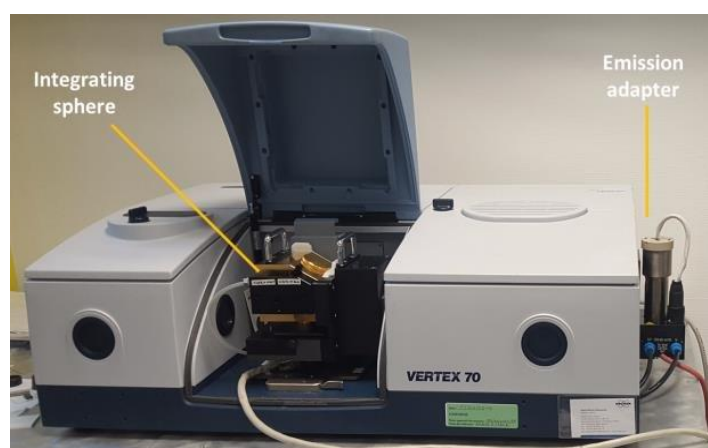
**Etude 1 :** L'analyse par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier a été réalisée sur des pastilles de 2mg de l'échantillon sec à chaque stade de compostage avec 400mg de bromure de potassium (KBr), en utilisant un spectrophotomètre infrarouge à transformée de Fourier Perkin Elmer 1600 à une fréquence allant de  $400\text{cm}^{-1}$  à  $4000\text{cm}^{-1}$  et avec une vitesse de  $16\text{ms}^{-1}$ .

## Matériel et Méthodes



**Figure 7.** Spectrophotomètre infrarouge à transformée de Fourier Perkin Elmer 1600.

**Etude 2 :** la technique de spectroscopie infrarouge est utilisée sur des échantillons de chaque stade de co-compostage préalablement séchés à 105°C en mélange avec le bromure de potassium (KBr) avec un ratio de (2: 200, échantillon/KBr). Le mélange est ensuite pressé sous forme de pastilles. Les analyses ont été réalisées à l'aide d'un spectromètre infrarouge à transformée de Fourier Bruker Vertex 70. Les données spectrales sont obtenues en tant que valeurs d'absorbance sur une gamme de fréquence de 4000-400  $\text{cm}^{-1}$ . Cette technique permet de caractériser les groupements fonctionnels des molécules par détermination des énergies absorbées par les différentes vibrations inter-atomiques. Des informations importantes peuvent être obtenues sur la nature, la réactivité et les changements structuraux des groupements fonctionnels des substances organiques.



**Figure 8.** Spectromètre infrarouge à transformée de Fourier Bruker Vertex 70.

## ***Résultats et discussion***

L'interprétation de spectres infrarouges d'échantillons constitués d'une grande variété de composés doit être faite avec une grande prudence. En effet, le nombre de composés et donc de liaisons atomiques susceptibles de vibrer dans la gamme de longueur d'onde du moyen infrarouge est très important. La disparition d'un pic peut être due à une disparition effective d'un composé, au recouvrement du pic attendu par une bande voisine, ou encore à la présence d'autres composés gênant la vibration de la liaison à la fréquence attendue.

L'attribution des bandes d'absorption dans la région ( $4000\text{-}2000\text{ cm}^{-1}$ ) du spectre infrarouge à transformée de Fourier reste assez précise dans le cas de l'étude des substances humiques extraites des sols, des boues, des composts, des sédiments de réservoirs d'épurations et des eaux usées (Polak et *al*, 2009). En revanche, l'indexation des autres régions du spectre infrarouge à transformée de Fourier reste délicate.

Etude 1 :

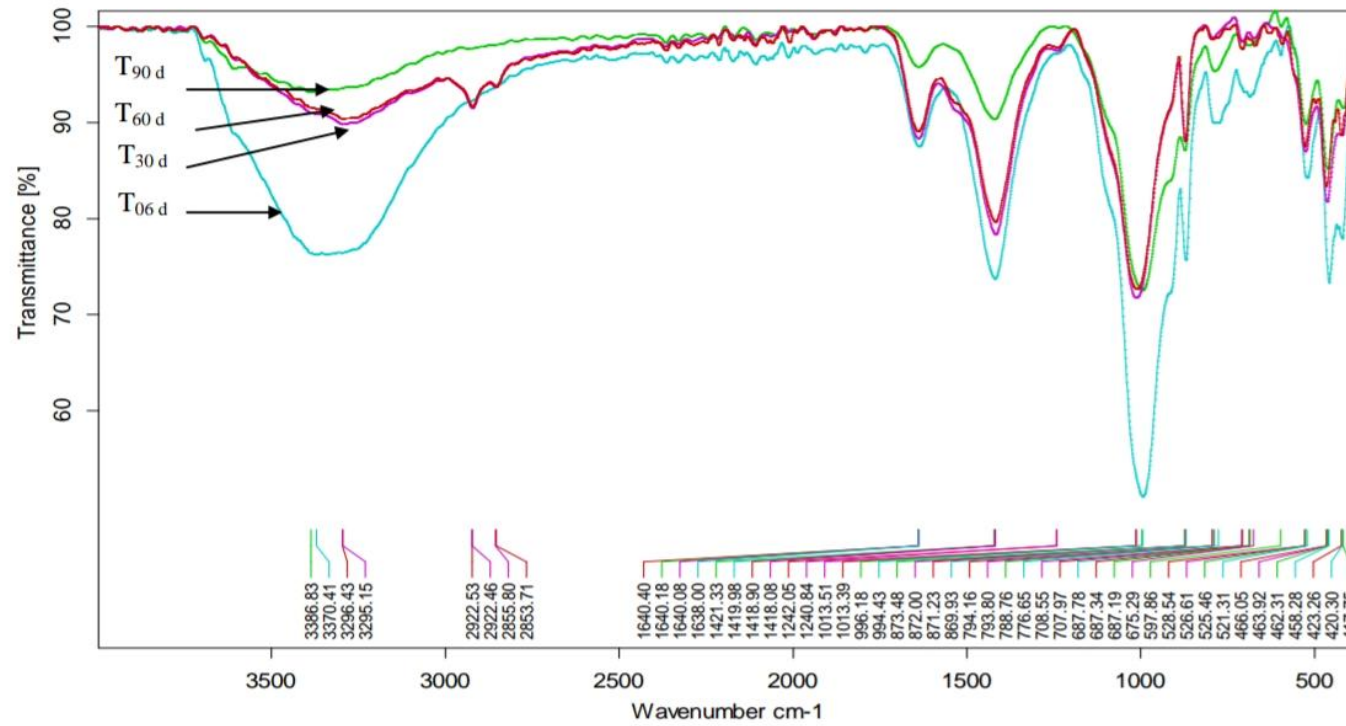


Figure 9. Spectre infrarouge à transformée de Fourier de co-compost de déchets verts et des boues à différents stades de compostage (RAMDANI, 2015).

## *Résultats et Discussion*

L'évolution de l'absorbance infrarouge à transformée de Fourier de structures humiques a été suivie par l'établissement des rapports entre les principaux pics d'absorption à différents stades de compostage (04, 30, 60, 90 jours).

Au cours du co-compostage des boues de station d'épuration et de déchets verts de RAMDANI, (2015), les spectres ont montré (figure 9) :

- une diminution de l'absorbance  $3423\text{cm}^{-1}$  et  $2922\text{cm}^{-1}$  (OH phénols) est vraisemblablement dû à l'absorption importante de composés aliphatiques (O-H, N-H) à  $3400\text{cm}^{-1}$ .
- L'intensité de la bande à  $1640\text{cm}^{-1}$  (C=C aromatiques) peut être attribuée à la présence importante de composés aromatique (lignines, tanins) ainsi qu'à la présence de composés azotés (amines primaire et amides), étant donnée les résultats du fractionnement biochimique.

L'analyse des différents composts met en évidence la part d'absorption imputable à la fraction minérale. Les carbonates sont responsables de l'absorption. Ceci met en évidence la présence non négligeable de silice dans les déchets verts collectés.

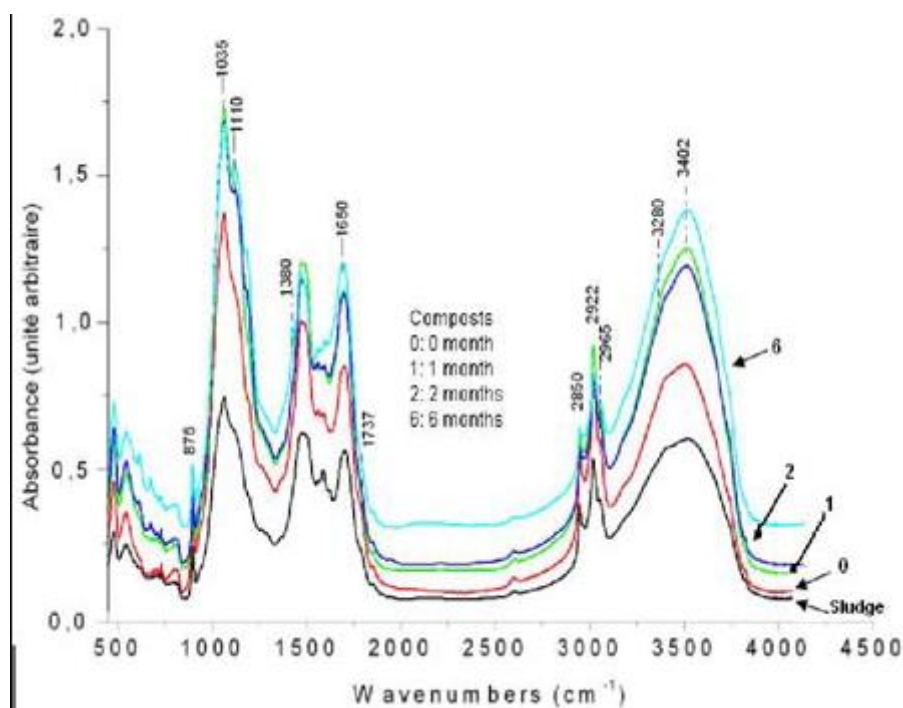
Entre le premier et troisième mois du compostage nous remarquons :

- ✓ Les bandes d'absorption situées entre  $1418\text{cm}^{-1}$  et  $1013\text{cm}^{-1}$  qui étaient bien visibles. Cela traduit la dégradation des nombreux composés aliphatiques, mais aussi phénoliques susceptibles de vibrer dans cette région.
- ✓ L'importante diminution de la bande située à  $1050\text{cm}^{-1}$  (C-C, C-O) reste assez importante à 12 semaines correspond à la dégradation des polysaccharides. Cela correspond à la dégradation de la cellulose.

Ceci montre l'évolution d'une matière organique riche en composés aliphatiques vers une matière organique plus riche en composés aromatiques et est cohérent avec les différences de stabilisation de la matière organique observées sur ces composts

Les matériaux aliphatiques et les glucides ont diminué alors que les groupes aromatiques et azotés reflétant une biosynthèse des substances humiques (acides humiques et fulviques), ces changements, indiquant que les micro-organismes ont utilisé les structures peptidiques et les hydrates de carbone tels que les polysaccharides, cellulose et l'hémicellulose dans leurs besoins énergétiques, à la suite de la disparition des éléments les plus facilement dégradés.

Etude 2 :



**Figure 10.** Spectres infrarouge à transformée de Fourier à différents stades de Co-compostage des boues de station d'épuration et de palmiers (EL FELS, 2014).

Les spectres infrarouge à transformée de Fourier présentés sur la figure 10 montrent l'évolution des bandes d'absorption de l'échantillon de compost de boues de station d'épuration et de déchets de palmier dattier de EL fels, (2014) nous remarquons :

- A hautes fréquences, la bande située à  $3402\text{ cm}^{-1}$  peut être attribuée à des vibrations d'élongation des groupements hydroxyles O-H.
- Dans la région  $3000\text{--}2800\text{ cm}^{-1}$ , la diminution des absorbances relatives des bandes situées à  $2964$ ,  $2922$  et  $2850\text{ cm}^{-1}$  (C-H aliphatiques des groupes méthyle et méthylène) et l'augmentation des intensités relatives des bandes situées à  $1514$  et  $1426\text{ cm}^{-1}$  (C=C insaturés et C=C aromatiques) reflètent l'état d'avancement de l'humification.
- La diminution des intensités des bandes des chaînes aliphatiques (C-H à  $1450\text{ cm}^{-1}$ ) et l'augmentation des intensités des fonctions C=C sont en faveur d'une dynamique du processus de compostage conduisant à la formation d'édifices insaturés et aromatiques.

## ***Résultats et Discussion***

L'évolution en intensité des bandes observées respectivement vers 1740 et 1155  $\text{cm}^{-1}$  témoignent d'une part de la présence d'une fonction carboxyle et d'autre part, que celle-ci est probablement caractéristique d'une forme d'ester.

Dans la région 1386-1375  $\text{cm}^{-1}$ , ils ont relevé l'apparition d'une bande qui évolue sensiblement en intensité et en structure (passage d'une bande large à une bande fine en fin du co-compostage). L'évolution du profil de cette bande peut être expliquée par la formation continue d'une forme bien structurée, nous l'attribuons à une vibration de déformation OH comme dans les alcools aromatiques (SENESI et *al* ; 2003).

## *Conclusion*

Grâce aux spectres infrarouges on a observé et suivi l'évolution de la formation des acides humiques et fulviques. En comparant les deux études précédentes on a pu déduire :

- une réduction relativement importante des structures aliphatiques, caractérisées par les bandes 2992, 2922, et 2850  $\text{cm}^{-1}$  par rapport à des structures aromatiques 1514, 1426, et 1386  $\text{cm}^{-1}$  qui ont enrichi le compost. La diminution des composés aliphatiques est en fonction de l'augmentation du degré de polymérisation (CAH/CAF) qui explique l'aromatisation des acides humiques, et reflètent l'évolution du processus d'humification.
- la région 3500-3280  $\text{cm}^{-1}$  est essentiellement caractéristique des molécules d'eau. La contribution de la matrice minérale au spectre infrarouge du co-compost, par les bandes, intenses, larges et mal résolues, apparaissant dans cette région masque l'empreinte de la matière organique. Cette région peut renseigner sur les interactions entre la matière organique et les molécules d'eau mais ne peut fournir que des informations très limitées sur la composition de la matière organique contenue dans le compost.
- Quant à la région 1200-1000  $\text{cm}^{-1}$ , elle caractérise en particulier la silice apportée par les déchetsverts. La bande fine et intense située aux environs de 1000  $\text{cm}^{-1}$  attribuée au mode Si-O. Cette bande fine relativement intense est souvent relevée sur les spectres infrarouge à transformée de Fourier. Son profil et sa position insensible au traitement thermique sont en faveur de son utilisation comme référence interne pour des études semi quantitatives lors de l'évolution de la matière organique lors du co-compostage.

L'infrarouge à transformée de Fourier confirme la stabilité, la maturité et l'hygiénisation des composts finaux.

La durée du compostage est différente dans les deux études (étude 1 : 3mois, étude 2 : 6mois) cela est dû a la présence importante de lignines dans le palmier qui se dégrade lentement comme on a observé dans les spectres précédents.

Par cela on conclut que l'infrarouge à transformée de Fourier joue un rôle important dans la caractérisation des substances humiques.

## **Conclusion Générale**

---

Au cours du compostage, la matière organique des composts évolue d'une matière riche en composés facilement biodégradable vers une matière offrant une plus grande résistance face à la dégradation microbienne. C'est la stabilité du compost.

Différentes méthodes d'investigation permettent de rendre compte et d'expliquer cette stabilisation de la matière organique au cours du compostage.

L'étude de la formation de l'évolution des acides humiques et des acides fulviques au cours du compostage permet d'évaluer le degré d'humification de la matière organique.

Le fractionnement biochimique de la matière organique et les analyses spectrales mettent en évidence la dégradation importante de la cellulose et l'hémicellulose tout au long du compostage. En revanche la lente dégradation de la lignine qui est plus résistante à la biodégradation entraîne sa concentration dans la matière organique.

En effet, au cours du compostage, les caractéristiques de la matière organique deviennent de plus en plus indépendantes de l'origine des déchets ; on s'est focalisé sur la spectroscopie Infrarouge plus précisément la spectroscopie à transformée de Fourier qui est une méthode précise qui nous a beaucoup aidés à caractériser l'évolution des substances humiques durant les différentes phases du compost.

## **Bibliographie**

---

Abaker, m. G. (2016). suivi de maturation de composts mixtes spectrométrie d'absorption et de fluorescence UV-visible. Toulon.

Ademe. (novembre 2015). Fiche technique: le compostage.

Albrecht, R. (2007). co-compostage de boues de station d'épuration et de déchets verts: nouvelle méthodologie du suivi des transformations de la matière organique: science de la terre. Thèse doctorat, marseille.

Amir, S. (2005). contribution a la valorisation de boues de stations d'épuration par compostage: devenir des micropolluants metalliques et organiques et bilan humique du compost. thèse de doctorat, Toulouse.

Baran, G., Sensi, N., & Brunetti, G. (1997). chemical and spectroscopic chaeacterization of humic acids isolated from different slovak soil types. *Geodrema*,78, 251-266.

Bernal, M., C, P., Sanchez-Monedero, M., & Cegarra, J. (1998b). maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic waste . *Bioressance Tecgnology*,63;91-99.

Bernal, M., Sanchez-Monedero, M., Paredes, C., & Roig, A. (1998). carbon mineralization from organic waster at different composting stages during their incubation with soil. *Agriculture, ecosistemnes and environment* , 69/3; 175-18.

Blazy, V. (2014). incidences conditions opératoires sur la qualité des compost, les émissions gazeux et les odeurs en compostage sous aération forcée. corrélation entre odeu et composition des emissions. *Renner*-284.

Celier, J. (2008). caractérisation moléculaire et dynamique de la matière organique de compost (déchets verts/ biodéchets) dans un sol. université de Poitiers.

Chefetz, B., Ilani, T., Schulz, E., & Chorover, J. (2006). waste water dissolved organic matter: characteristics and sorptive capabilities. *water sciences and technology* , 53 (7), 51-57.

Christen, M. (2008). valorisation des sous produits de la vigne: retitution au sol des sarments, par broyage après compostage. Française.

## *Références bibliographiques*

Coelho, C. (2009). fluorescence et propriétés photochimiques des matières organiques naturelles. université Blaise Pascal- Clermont- Ferrand II.

Elfels, L. (2014). suivie physico-chimique, microbiologique du compostage de boues de STEP mélangées à des déchets: validation de nouveaux indices de maturité. Toulouse.

Eyheraguibel, B. (2004). Caractérisation des substances humiques biomimétriques-ellets sur les végétaux. Toulouse.

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. Française.

Gary, Z. (march 1, 2015). Humic substances in biological agricultural systemes.

Gossart, P. (2001). contribution à l'étude des interactions de la matière organique des sols avec les métaux lourds. etude structurale et analytique de molécules modèles. these de doctorat, université des sciences et technologie, Lille.

Huber, G., & schanb, C. (2011). la fertilité des sols: l'importance de la matière organique. service environnement- innovation .

Iglesias-Jimenez, E., & V, P.-G. (1989). evaluation of city refuse compost maturity. A review Biological Wasters, 27:115-142.

Jeris, J., & Regan, R. (1973a). controlling environmental parametres for optimum composting.II Moisture, Free air and recycle. compostscience . March-Avril: 8-15.

Junqua, G. (2002). caractérisation rapide de la matière organique de sols et de sédiments par spectrophotométrie UV-Visible: essai de typologie et estimation des paramètres C, N, P. université de Pau et des pays de L'Adour.

konoova, M. M. (1966). Soil Organic Matter. Elmsford, NY: 2nd ed; Pergamon Press.

Koriko, M. (2010). extraction, caractérisation, réactivité chimique des substances humiques naturelles avec les phosphates de Hahotoe-Kpogame et leurs propriétés photodégradantes . Lomé: université Blaise Pascal-Clermont-Ferrand II.

Larbi, M. (2006). influence de la qualité des composts et de leurs extraits sur la protection des plantes contre les maladies fongiques. université de Neuchatel.

## *Références bibliographiques*

Mouloubou, O. R. (2015). développement spectroscopiques pour l'étude de la matière organique du sol dans des extraits liquides, avec étude de son impact sur le comportement des métaux: application à un sol agricole amendé par du compost. thèse doctorat, Aix Marseille Université , marseille.

Mustin, M. (1987). le compost: gestion de matière organique. Paris, pp 117-242: Dubux F.(Ed).

Ndira, V. (2006). substances humiques du sol et du compost. Analyse élémentaire et groupements atomiques fictifs: vers une approche thermodynamique. Toulouse.

Ni Nyoman, R., & Pandit, B. (2008). humic substances: structure, fonction, effets and applications. Asian journal of water, environment and pollution , volume 5,39-47.

Outmane, A., Provenzano, M. R., Hafidi, M., & Senesi, N. (2000). Compost maturity assessment using calorimetry, spectroscopy and chemical analysis. compost science and utilization 8, 135-146.

Paillat, J.-M. (2007). compostage des matières organiques animales: bilan environnemental.

Polak, J., Bartoszek, M., & Sulkowski, W. (2009). comparaison of some spectroscopie and physico-chemical properties of humic acids extracted from sewage sludge and bottom sediments. journal of Molecular structure , 924-926, 309-312.

Ramdani, N. (2015). Transformation de la matière organique du co-compostage de boues de station d'épuration et de déchets verts: Approche expérimentale pour une production durable de compost. Thèse doctorat, Oran.

Richard, T., H.V.M, H., A, V., & T, S. (2002). Moisture relation ships in composting processus. compost science 8 ulitization, 10, 4: 286-302.

Saharienen, M. (1998). evolution of changes in CEC during composting. compost science 8 utilization . autuma:29-37.

Soumare, M. F., Tack, M. G., & Verloo, M. G. (2003). Characterization of malian and belgian solid waste composts with respect to fertility and suitability for land application . Waste Manage. 23, 517-522.

## *Références bibliographiques*

Stevenson, F. G. (1985). Geochemistry of soil humic substances. In humic substance in soil, sediment and water (Vol. pp. 13-52). Editor Aiken G.R.

Stevenson, J. (1994). humus chemistry: Genesis, composition, réaction. New York: John Wiley & sons, ed.

Swift, R. S. (1996). Organic matter characterization in methods of soil analysis. Chemical methods, D.L; Sparks, J.M; Bartels and J.M. Bigham eds, pp.1011-1069.

Tichadou, L. (2014). plate forme de compostage en milieu clos Approche pluridisciplinaire pour l'évolution du risque chimique. Thèse doctorat, Tours.

Tomati, U., Madejon, E., & Galli, E. (2000). Evolution of humic acid molecular weight as an index of compost stability. . compost science and utilization 8, 108-115.

Wershaw, R. L. (1986). A new model for humic materials and their interactions with hydrophobic organic chemicals in soil-water systems. Journal of contaminant Hydrology , 1/ 29-45.

## **Résumé**

Le compostage est l'une des techniques les plus utilisées pour l'amélioration de la fertilité des sols, l'apport de la matière organique exogène qui est « le compost » passe par plusieurs phases et processus pour qu'il devienne un amendement organique mûr et homogène. L'objectif de ce travail était le suivi chimique de l'évolution de la matière organique par formation des acides humiques et des acides fulviques, et leur caractérisation par méthode spectroscopique infrarouge qui est une méthode très précise qui donne des informations sur la maturité du compost. Beaucoup d'auteurs ont travaillé sur cette partie, de ce fait on a fait une comparaison qualitative de deux études sur des composts à base de boues de station d'épuration l'une avec des déchets verts et l'autre avec des déchets de palmiers dattiers. Malgré la différence de temps qu'ils ont pris à cause de la présence importante de la lignine dans les déchets de palmiers dattiers mais on a trouvé les mêmes résultats : Les composés aliphatiques diminuent ; Et les composés aromatiques augmentent.

**Mots clés** : compostage, acides humiques, acides fulviques, spectroscopie Infrarouge.

## **Abstract**

Composting is one of the most widely used techniques for improving soil fertility, the contribution of the exogenous organic matter which is "the compost" goes through several phases and processes so that it becomes a mature and homogeneous organic amendment. The objective of this work was the chemical monitoring of the evolution of organic matter by formation humic acid and fulvic acid and their characterization by infrared spectroscopy method, which is a very precise method, gives information on the state of the compost maturity. Many authors work on this part of this fact we made a qualitative comparison of two studies on compost based on sewage plant sludge, one with date palm waste despite the difference in time they took because of the large presence of the lignin in the palm waste but we found the same results: Aliphatic compounds decrease; Aromatic compounds increase.