



## **Remerciements**

Avant tout propos, nous remercions « Dieu tout puissant » de nous avoir donné la santé, la volonté, le courage et la patience pour mener à bien ce modeste travail.

Nos remerciements les plus vifs sont destinés plus particulièrement à notre promotrice Mme Bourbia S. Maître de conférence et chargée de cours au département d'agronomie à l'UMMTO, pour son encadrement et ses orientations, pour ses précieux conseils qui nous ont guidés dans l'élaboration de ce mémoire, et de nous avoir accordé l'honneur de travailler avec elle.

Nous tenons également à exprimer nos sincères remerciements à notre Co-promotrice Mme Tibiche G. pour son aide et ses précieux conseils dans la réalisation de notre travail.

Nos vifs remerciements à Mr Rahmoune M.A, pour son soutien, ses conseils, et son orientation.

En fin, un grand merci à tous ceux et celles qui, de près ou de loin nous ont aidés pour la réalisation de ce travail.

## ***Dédicaces***

*Grace à DIEU ce modeste travail est achevé, que je dédie*

*Sincèrement*

*A mes très chers parents, à qui je dois ce que je suis  
aujourd'hui, que Dieu les protèges et les entoure de sa  
bénédiction ;*

*A mon cher frère : Ghani à qui je souhaite un avenir  
prometteur*

*A toute ma famille*

*A tous mes ami(e)s*

*A mon binôme et ma très chère copine Yasmine et à toute sa  
famille*

*A la promotion science du sol et toutes les promotions de  
l'agronomie 2019/2020.*

***SYHEM***

## ***Dédicaces***

*Grace à DIEU ce modeste travail est achevé, que je dédie*

*Sincèrement*

*A mes très chers parents, à qui je dois ce que je suis  
aujourd'hui, que Dieu les protège et les entoure de sa  
bénédiction ;*

*A mes chers frères : Hanin, Mayas et Maksène et ma chère  
sœur Wiam, aux quels qui je souhaite un avenir prometteur*

*A mon cher fiancé Hakim et à toute sa famille*

*A toute ma famille*

*A tous mes ami(e)s*

*A mon binôme et ma très chère copine Syhem et à toute sa  
famille*

*A la promotion science du sol et toutes les promotions de  
l'agronomie 2019/2020.*

***YASMINE***

## Table des matières

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

**Introduction** ..... 1

### Chapitre I : Synthèse bibliographique

**1. Le compostage** ..... 3

1.1. Définition du compostage ..... 3

1.2. Les matières compostables ..... 3

1.3. Objectif du compostage ..... 7

1.4. Les phases de compostage ..... 7

-La phase mésophile ..... 9

-La phase thermophile ..... 9

- La phase de refroidissement ..... 9

-La phase de maturation ..... 9

1.5. Paramètres du compostage ..... 9

-Paramètres physico chimiques de compostage ..... 9

-Les paramètres biologiques et microbiologiques de compostage ..... 11

1.6. Les avantages du compostage ..... 12

1.7. Inconvénients du compostage ..... 13

1.8. Maturité du compost ..... 14

**2. Analyses des substances humiques par les UV** ..... 16

2.1. Evolution de la matière organique aux cours de compostage ..... 16

2.2. Le métabolisme du carbone ..... 16

2.3. Formation des substances humique ..... 17

    Théorie de la lignine ..... 18

    Théorie des polyphénols ..... 18

    Théorie de condensation amine-sucre ..... 18

2.4. Méthodes d'extraction des acides humiques et fulviques ..... 19

2.5. Modèle des acides humiques et des acides fulviques ..... 20

2.6. Propriétés biologiques des substances humiques ..... 23

2.7. Méthodes d'analyse des substances humiques ..... 23

2.7.1. Méthodes destructives .....	24
2.7.2. Méthodes physiques non destructives .....	24
2.8. La spectroscopie U.V- visible.....	25
2.9. Le rapport de Welt (rationE4/E6) .....	27

## **Chapitre II : Etude de cas**

Spectroscopic characterization of organic matter transformation during composting of textile solid waste using UV-Visible spectroscopy, Infrared spectroscopy and X-ray diffraction (XRD), (Biyada et al., 2020) .....	29
Evaluation of the maturity of the compost produced at the compost production site of the NGO ENPRO in Lomé (Togo) using the UV-Visible spectroscopy, (Tamakloe et al., 2020) .....	29
Traitement de déchets ménagers par Co-compostage avec la légumineuse <i>Cassia occidentalis</i> L. et quelques adjuvants de proximité pour améliorer la qualité agronomique de composts, (Atalaèssou et al., 2017) .....	29
1. Matières organiques utilisées .....	29
2. Les méthodes utilisées .....	30
3. Résultats et discussion .....	31
4. Conclusion .....	35
<b>Conclusion générale</b> .....	38
<b>Références bibliographiques</b> .....	39

## Liste des figures

**Figure 01 :** La composition des déchets ménagers en suisse d'après une enquête de l'office fédéral de la protection de l'environnement berne (cahier de l'environnement n°27,1984).

**Figure 02 :** Schéma simplifié de l'évolution continue des déchets organiques lors du compostage (Hiéronymus, 2001).

**Figure 03 :** Principales phases du compostage et processus en jeu (Houot, 2005).

**Figure 04 :** Evolution de la température au centre d'un andain de compost (Gobat et al., 2010).

**Figure 05 :** Emissions des gaz lors du compostage (Hiéronymus, 2001).

**Figure 06 :** Dispersion des spores d'*Aspergillus fumigatus* dans l'air à partir d'un andain. (Gobat, 2001).

**Figure 07 :** Test de phyto toxicité du compost obtenu avec les graines de maïs et de haricot (Hermeline et al., 2020).

**Figure 08 :** Voies de formation des substances humiques (Stevenson, 1994).

**Figure 09 :** Extraction des acides humiques et fulviques par différence de solubilité en milieux basique et acide (Albrecht, 2007).

**Figure 10 :** Représentation schématique des matières humiques (Bachman et al., 1999).

**Figure 11 :** Modèle d'un acide humique (Stevenson, 1982).

**Figure12 :** Modèle de structure des composés humiques (Andreux & Munier-Lamy, 1994).

**Figure13 :** Indices E4/E6 (Abaker, 2016).

## Liste des tableaux

**Tableau 01** : Composition moyenne des boues urbaines fraîches en Europe (Williams, 1998).

**Tableau 02** : Caractéristiques de différents types de fumiers (Craak, 2003 et 2007, Mapak, 1997) in (Weill et Duval).

**Tableau 03** : Exemples de teneurs en matière organique de différents composts (Grosbellet, 2008).

**Tableau 04** : La composition en carbone et en azote de différents déchets organique (Gourdon, 2002).

**Tableau 05** : Quantité d'êtres vivants intervenant à un moment ou à un autre pendant le compostage (Zeglels et al., 1999).

**Tableau 06** : Paramètres de stabilité et de maturité (en % d'apparition dans la littérature) extrait d'A.D.A.S Consulting Limited (2005).

**Tableau 07** : Composition des acides humiques et fulviques des sols, des milieux aquatiques et des lixiviats (Filella et al., 1995 ; Kang et al., 2002 ; Xiali et al., 2008).

**Tableau 08** : Composition élémentaire des substances humiques en pourcentage (Stevenson, 1982).

**Tableau 09** : Application de spectrophotométrie UV-Vis sur l'évolution de la matière organique dans les sols. (Guillaume, 2002).

**Tableau 10** : Principales longueurs d'onde et leurs comportements en absorption UV-Vis (Abaker, 2016).

**Tableau 11** : La composition des composts (Atalaèso et al., 2017).

**Tableau 12** : Evolution de l'absorption des échantillons de compost C et D à différentes longueurs d'onde (UV- visibles) entre 7 et 330 jours de compostage.

**Tableau 13** : Evolution des ratios d'absorption pour les échantillons de compost C et D entre 7 et 330 jours de compostage.

**Tableau 14** : Les ratios E4/E6 .

**Tableau 15** : Evolution de l'absorption et des ratios d'absorption Q2/Q4, Q2/Q6 et Q4/Q6.

**Tableau 16** : Absorbances spécifiques UV-Visible d'extraits alcalins des composts.

**Tableau 17** : La comparaison des résultats de cas étudiés.

## Liste des abréviations

**AF** : Acides fulviques.

**AH** : Acides humiques.

**C** : Carbone.

**C/N** : Rapport teneur en carbone sur teneur en Azote.

**Ca** : Calcium.

**CO<sub>2</sub>** : Dioxyde de carbone.

**E.S.R.** : Electron Spin Résonance.

**FAO** : Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'Agriculture.

**I.R** : Infra Rouge.

**IHSS** : Société internationale des substances humiques.

**K** : Potassium.

**Mg** : Magnésium.

**MO** : Matière organique.

**MOS** : Matière organique du sol.

**N** : Azote.

**P** : Phosphore.

**pH** : Potentiel Hydrogène.

**SH** : Substance humique.

**T°** : Température.

**U.V** : Ultra-violet.

**$\Lambda$**  : Longueur d'onde.

# **Introduction générale**

Le sol est un réservoir majeur de carbone, 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 C organique, qui est aussi appelé matière organique (El Fles, 2014). Donc la matière organique du sol assure directement ou soutient indirectement de nombreux services écosystémiques indispensables à nos sociétés, au sens large, la MOS comprend les composés organiques résultant de la décomposition des résidus végétaux et animaux, les composés néo-synthétisés par les organismes vivants, ainsi que l'ensemble des organismes vivants du sol (Saenger, 2013). La biomasse vivante du sol représente entre 2 et 12% de la MOS (Schwenke, 2004 ; Gobat et al., 2010). Ces organismes vivants comprennent la macrofaune, la méso-faune, et enfin les microorganismes (bactéries, champignons et algues).

Au sein de la MO « non-vivante » (c.à.d. la nécromasse), on distingue généralement plusieurs catégories de composés : les MO dissoutes, les « substances non-humiques », les « substances humiques » et les MO réfractaires (Saenger, 2013).

Globalement, les matières organiques améliorent les caractéristiques chimiques, biologiques du sol (Chenu, 2002) et les propriétés physiques qui permet d'augmenter sa porosité et de diminuer sa densité apparente ce qui favorise le développement racinaire (Franco, 2003).

La matière organique présente dans les matrices solides peut avoir une origine naturelle, principalement végétale ou bactérienne, ou une origine anthropique issue des activités humaines.

La MOS désigne une large gamme de composés allant des organismes vivants à la matière organique morte de dégradation, de compositions et de complexités variables. La taille de ce compartiment résulte d'un équilibre entre les entrées (chute de litière, racines, animaux morts) et les sorties (minéralisation par les microorganismes, perte par lixiviation ou lessivage...) de matière organique. La MOS présente le plus important réservoir de (C) continentale. (Lefèvre, 2015).

La réutilisation en agriculture de la matière organique apparaît comme une voie intéressante de gestion des déchets d'origine organique et biodégradable qui peuvent être décomposés plus au moins rapidement par les bactéries ou les champignons. Cependant, l'augmentation des problèmes de pollution azotée des ressources en eau et l'apparition de crises sanitaires et épizooties ont amené le monde agricole et les législateurs à restreindre les possibilités d'épandage direct des déchets organiques sur sols agricoles. L'épandage de ces déchets de même que leur stockage peut par ailleurs induire des nuisances pour les riverains, comme des émissions d'odeurs dues à une matière organique non stabilisée. Le contexte socio-politique favorise donc le traitement biologique aérobie des déchets organiques par compostage (Tremier et al.,2007).

# **Chapitre I**

## **Synthèse bibliographique**

## 1. Le compostage et ses caractéristiques

### 1.1. Le compostage

L'organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture définit le compostage comme un processus naturel de « dégradation » ou de décomposition de la MO par les micro-organismes dans des conditions bien définies (FAO, 2005), il est l'équivalent du processus de formation de l'humus en milieu naturel (Albrecht, 2007). Les constituants organiques d'origine végétale et animale, sont dégradés par une succession de communautés microbiennes évoluant en conditions aérobies (Franco,2003), le maintien de conditions aérobies dans toute la masse est obtenu par un retournement régulier du tas pour l'aérer. Par définition, le compostage est un processus aérobie, cependant de nombreux microsites anaérobies peuvent apparaître au sein d'un tas de compost (Henry and Harrison, 1996).

Le compost est en effet, un produit riche en matières organiques et en composés minéraux capable d'améliorer la fertilité du sol (Attrassiet al, 2005).

#### **-Le compost**

C'est un amendement organique issu de processus biologique « compostage », son application sur le sol présente un effet plus stable et plus durable.

### 1.2. Matières compostables

Les types de compost diffèrent en fonction des déchets utilisés, il est important de bien définir les types de déchets que l'on peut utiliser, leurs sources, leurs volumes et leurs spécificités. Car le gisement de déchets organiques est très particulier (Leclercy, 2002). Parmi ces différents types, on distingue les déchets verts, les boues de stations d'épuration ou d'autres bio-déchets plus spécifiques (Gourdon, 2002).

Pour produire un compost riche en éléments nutritifs, il faut bien mélanger différentes catégories opposées ; les carbonés avec les azotés, les humides avec les secs, les grossiers avec les fins (Adem, 2012).

### 1.2.1. Les déchets urbains compostés

Les déchets urbains compostables peuvent être répartis en cinq catégories (figure 1) (Francou, 2003).

- **Déchets verts** : Les déchets verts sont des déchets organiques, Il s'agit principalement des feuilles mortes, des tontes de gazon, des tailles de haies et d'arbustes, des déchets de jardin des particuliers collectés séparément ou par le biais des déchèteries. Ils proviennent des collectivités locales, des organismes publics ou parapublics (Adem, 2015).
- **Ordures ménagères** : Ensemble des déchets ménagers produits par les collectivités ne pratiquant pas la collecte sélective.

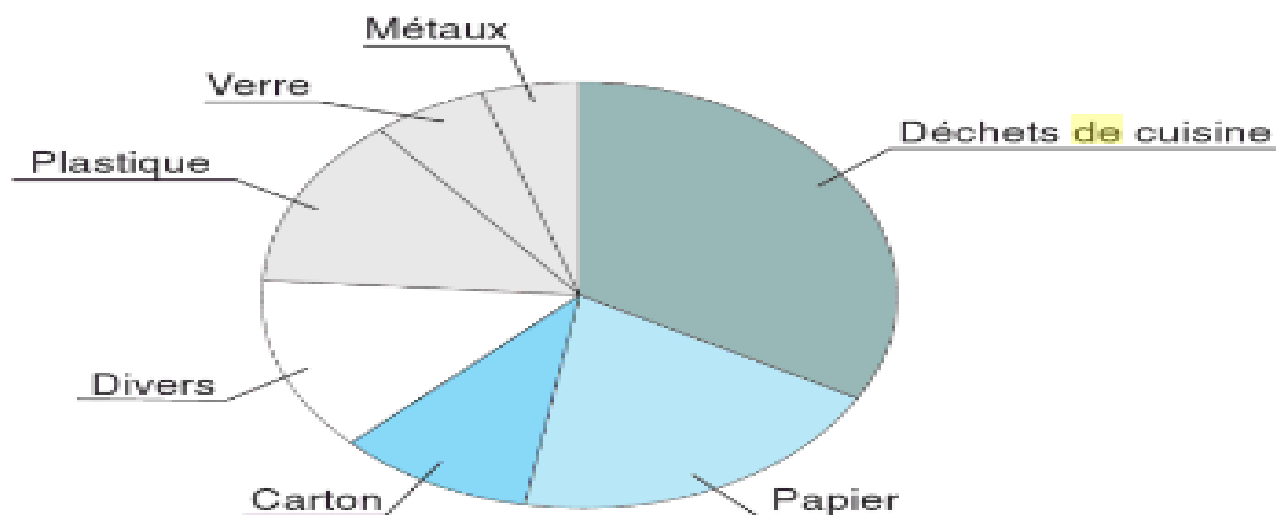


Figure 01 : La composition des déchets ménagers en suisse d'après une enquête de l'office fédéral de la protection de l'environnement berne (cahier de l'environnement n°27,1984).

#### ➤ Les boues de STEP

Ce sont les déchets issus de l'épuration des eaux usées. Les boues de STEP sont récupérées lors des décantations primaire et secondaire des eaux usées, après les traitements biologiques et chimiques (Abaker, 2016).

D'importantes quantités en composés inorganiques usuels (tableau 01), se retrouvent dans les boues à savoir : N, P, K, Ca et Mg. Ils peuvent couvrir, en partie ou en totalité les besoins des cultures en éléments nutritifs (El Fels, 2014).

Tableau 01 : Composition moyenne des boues urbaines fraîches en Europe (Williams, 1998).

<b>Matière organique</b>	<b>% des MS</b>
<b>Total</b>	<b>55-75</b>
Protéines	30
Lipides	13
Glucides	33
Composés hydrocarbonés non fibreux	24
Carbone	45-50%
Hydrogène	8%
Oxygène	33%
Azote	3-6%
Phosphore	3-8%
Potassium	0,5-1,5%
<b>Rapport C/N</b>	<b>5-10</b>
<b>Polluants organiques</b>	<b>Concentration (ppm)</b>
Esters d'acide Phtalique	1-100
Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)	0,01-50,0
Polychlorobiphényle (PCB)	0,16-9,11
Dieldrine (pesticide)	0,018-3,90
Lindane (pesticide)	0,025-0,410
Aldrine (pesticide)	0,02-0,24
DDT (pesticide)	0,02-0,8

### 1.2.2. Déchets agricoles et agro-alimentaires

Ce sont des déchets associés au niveau primaire de production agricole comme le (tableau 2) le montre, l'agriculture s'affiche comme le premier secteur économique producteur de déchets. Les fumiers, les lisiers et autres déchets d'élevage représentent à eux seuls 280 millions de tonnes. Déchets agro-alimentaires (produits au niveau du stockage, du conditionnement et de la transformation des produits agricoles) (Gourdon, 2002).

Tableau 02 : caractéristiques de différents types de fumiers (Mapak ,1997 ; Craak, 2003 et 2007) in (Weill et Duval).

<b>Types de fumiers ou lisiers</b>	<b>Matière sèche (%)</b>	<b>Densité (t/m<sup>3</sup>)</b>	<b>N (Kg/t)</b>	<b>P<sub>2</sub> O<sub>5</sub> (Kg/t)</b>	<b>K<sub>2</sub>O (Kg/t)</b>	<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (%)</b>	<b>C/N</b>
<b>Bovins laitiers</b>	21	0,80	5,7	3,6	5,3	31	16,6
<b>Bovins laitiers</b>	5	1	3,1	1,5	3,4	52	10,8
<b>Bovins de boucherie</b>	27	0,75	7,1	4,4	6		
<b>Elevage vache-veau-fumier</b>	26	0,75	4,8	2,4	4,92		
<b>Ovins- fumier solide</b>	25	0,62	11	5	14		
<b>Porcs- engraissement, lisier</b>	3,2	1	2,7 à 4,9	1,5 à 2,3	1,6 à 2,9	71	3,3
<b>Volaille- fumier poulet</b>	74	0,27	28	23	18	21	14,5
<b>Volaille- fumier de poule pondeuse<sup>a</sup></b>	83	0,50	31	26	16	30	15,4

Tableau 03 : Exemples de teneurs en matière organique de différents composts (Grosbellet, 2008).

Auteur	type de compost	teneur en matière organique (%MS)
Hadas and Potnoy, (1997)	Fumier de bouvin	28,1
	Ordures ménagères	37,3
Aggleles and Londra, (2000)	Ordures ménagères + boue+ sciure de bois	31,2
Grandy et al., (2002)	Déchets de production de pomme de terre	58,6*
Francou., (2003)	Déchets verts	37,2
	Boue de STEP	34,7
Tejada and Gonzalez, (2003)	Résidus de production de coton	31,2*
Stabnikova et al., (2005)	Boue de STEP	72,4
	Déchets verts	64,7
Ros et al., (2006)	Boue de STEP	47
	Fumier composté	27
	Déchets verts	25
	Ordures ménagères	33

\*valeur obtenue par teneur en Carbone  $\times 2$ .

### 1.3. Objectif du compostage

Récemment, le compostage apparait comme une technologie qui a comme objectif le traitement et la réduction des matières organiques de différents déchets.

Le compostage est un processus compatible avec le concept de l'agriculture durable, qui implique le recyclage de la matière organique en se basant sur sa minéralisation et son humification (Anonyme).

### 1.4. Les phases de compostage

On distingue deux étapes principales dans ce procédé (figure 02) : la première se caractérise par l'activité microbienne menant à la décomposition de la plupart du matériel biodégradable et à la stabilité du résidu organique. La seconde se caractérise par la conversion d'une partie du matériel organique restant en substances humiques (Adani et al., 1997).



Figure 02 : Schéma simplifié de l'évolution continue des déchets organiques lors du compostage (Hiéronymus, 2001).

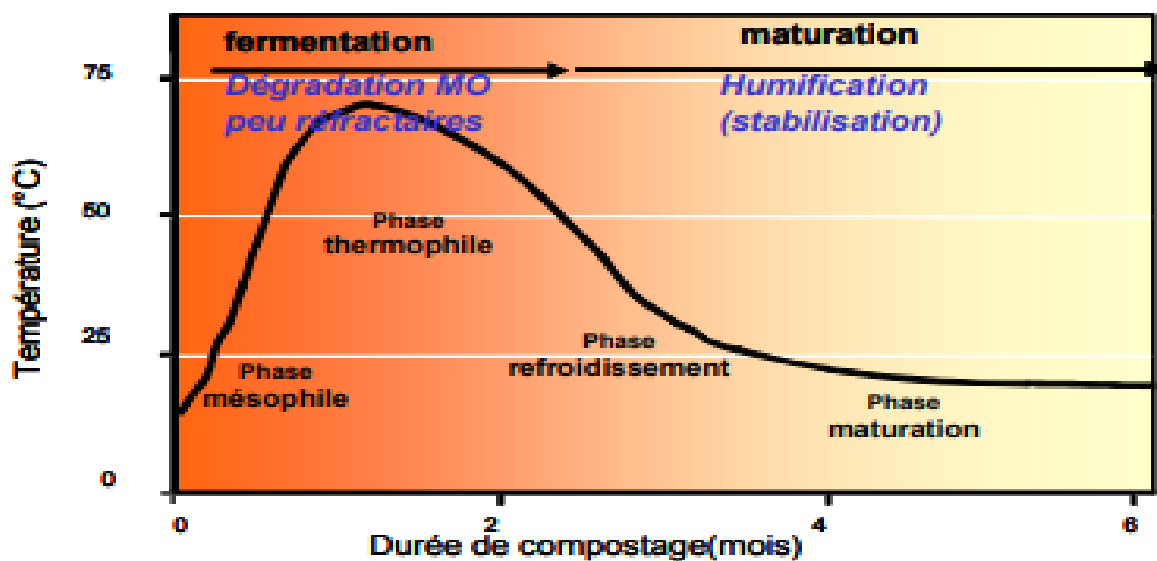


Figure 03 : Principales phases du compostage et processus en jeu (Houot, 2005).

D'une manière plus détaillée, on distingue quatre phases dans le processus de compostage (figure 03) (Francou, 2003), les trois premières correspondant à la première étape, dite de fermentation, et la dernière, à la seconde étape, dite de maturation. Les quatre phases du compostage en andain sont les phases : mésophile, thermophile, de refroidissement et de maturation (Kaiser, 1983).

- **La phase mésophile biodégradable :** c'est la phase initiale du compostage, se caractérise par la montée de la température, due à la présence des micro-organismes mésophiles et à une forte activité biologique (Rigane, 2014).
- **La phase thermophile :** se caractérise par une augmentation importante de la température, cette hausse de T° résulte de la forte dégradation de la MO (Raiset al.,2017).
- **La phase de refroidissement :** se caractérise par une diminution progressive de la T° due à la diminution de l'activité (Jeremy, 2020).

Ces trois phases regroupent l'étape de biodégradabilité active dites « fermentation ».

- **La phase de maturation :** est la phase finale qui se caractérise par le ralentissement de l'activité microbienne, le refroidissement du compost, et la prédominance de processus d'humification (Outende, 2016).

## 1.5. Les paramètres du compostage

Pour réaliser un compost ayant pour rôle d'amender le sol, il est nécessaire de maîtriser plusieurs paramètres physiques, chimiques et biologiques :

### 1.5.1. Les paramètres physico-chimiques

#### ➤ **Aération**

C'est le facteur clé du compostage aérobie ce processus nécessite la présence d'importante quantité d'O<sub>2</sub> afin d'assurer le bon déroulement du processus sont particulièrement au stade initial.

L'aération sert à diminuer le taux d'humidité, et d'évacuer l'excès de chaleur. Quand le milieu s'appauvrit en O<sub>2</sub> cause la limite de croissance des micro-organismes aérobies, et afin d'assurer une meilleure aération et une homogénéité du substrat, le retournement mécanique réguliers sont important (Culot, 1999).

#### ➤ **Humidité**

L'humidité est un paramètre très important, qui assure l'activité métabolique des micro-organismes, une humidité équilibré car trop d'humidité diminue l'aération donc y aura un manque d'oxygène, ce qui freine le processus biologique, aussi le manque d'eau provoque la

sécheresse des matières compostables, la mort des décomposeurs donc l'arrêt de la dégradation. (Tichadou, 2014).

### **Remarque**

Une bonne aération et une teneur optimale en H<sub>2</sub>O, mènent à la création d'un biotope favorisant le bon déroulement du compostage. (Médjahdi, 2016).

#### **➤ Température**

Elle est le paramètre de plus facilement mesurable in situ, c'est l'indicateur qui permet de différencier les phases du compostage (figure 04).

La montée de la température est l'élément principal d'hygiénisation des produits à composter.

Une forte élévation de la température inhibe l'activité enzymatique, aussi une trop faible température n'assure pas une destruction des agents pathogènes. (Soudi Et al., 1996 ; El Fels, 2014).

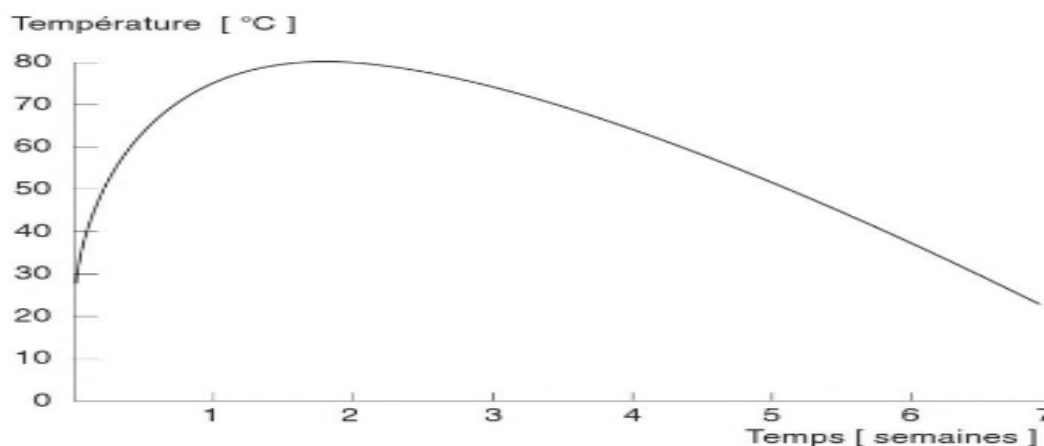


Figure 04 : Evolution de la température au centre d'un andain de compost (Gobat et al., 2010).

#### **➤ Le rapport C /N**

La biodégradation d'un déchet organique est dépendante de son rapport C/N (tableau 04). Généralement, il semble que des C/N compris entre 25 et 40 permettent un compostage satisfaisant (Leclerc, 2001 ; Sadaka and El-Taweel, 2003).

Le C/N diminue au cours du compostage pour arriver à des valeurs généralement comprises entre 8 et 25 (Hirai et al., 1986 ; Eggen and Vethe, 2001).

Un rapport C/N est égal ou inférieur à 20 a été proposer en tant que norme pour le compost mûr (Lirai et al., 1983).

Tableau 04 : La composition en carbone et en azote de différents déchets organique (Gourdon, 2002).

Substrat	C(%MS)	N(%MS)	C/N	C/N optimum
Paille de céréales	45-50	0,3-0,8	60-170	40-50
Déchets lingo-cellulosiques	50	0,5	100	50
Déchets alimentaires	40-50	1,5	30	20
Déjections animales	40-45	2,0-5,0	10-20	20-30

## ➤ Le pH

C'est le facteur qui influence les réactions biochimiques catalysées par des enzymes, il indique le degré de la dégradation biologique et biochimique, une succession d'une phase acidogène qui entraîne la diminution du pH conséquence de la production des acides organiques et du (CO<sub>2</sub>) (Chennaou et al., 2016).

L'obtention d'un pH basique en fin de compostage serait un indicateur de bon déroulement du processus de compostage (Biekre et al, 2018).

### 1.5.2. Les paramètres biologiques et microbiologiques du compostage

Le compost est le résultat d'une décomposition plus ou moins avancée de matières organiques par divers organismes (tableau 05), les microorganismes tels les bactéries, les champignons et de nombreux macroorganismes (Inckel et al.,2005) donc durant ce processus , ces décomposeurs jouent un rôle important à des étapes bien données et précises.

Pour caractériser l'activité biologique d'un compost, on tient à mesurer la respiration du compost l'activité enzymatique et même réaliser le dénombrement microbien (Albretch, 2007).

Les micro-organismes principaux représentés dans les composts sont les bactéries, les actinomycètes et les champignons. Ils peuvent être psychrophiles, c'est-à-dire qu'ils préfèrent des températures inférieures à 20°C, mésophiles, thermo-tolérants ou thermophiles, préférant respectivement des températures de 20 à 40, de 40 à 60 ou de 60 à 75°C. Les principaux groupes physiologiques de bactéries se retrouvent dans les composts : bactéries ammonifiantes, protéolytiques, fixatrices d'azote, cellulolytiques aérobies et anaérobies, amylolytiques, hémicellulolytiques, pectinolytiques. Les actinomycètes sont en grand nombre dans le compost.

Les champignons, premiers colonisateurs des composts, dégradent plus de carbone organique que les bactéries et les actinomycètes. Ces microorganismes sont déjà présents sur le matériel qui va être soumis au compostage (Kaiser, 1983).

Tableau 05 : Quantité d'êtres vivants intervenant à un moment ou à un autre pendant le compostage (Zeglels et al., 1999).

Type d'organisme vivant	Nombre par kilogramme de composte
Bactérie	De 1 million à 100 millions
Actinomycètes	De 1 milliard à 10 milliards
Champignons	De 10.000 à 1 million
Algues	10 millions
Virus	Indéterminés
Protozoaires	Jusqu'à 5 milliards
Lombrics	Jusqu'à 1000
Collemboles	10.000
Autres insectes et larves	2.000
Acariens	10.000
Crustacés (cloportes)	Jusqu'à 1.000
Gastéropodes (escargots, limaces)	20

## 1.6. Les avantages de compost

### Effets sur les caractéristiques physiques et chimiques du sol

L'incorporation de composts à pH basique peut également permettre de réduire l'acidité du sol, et de diminuer ainsi les risques d'exportation des métaux vers la plante (Franco, 2003). Dans leur étude, (Bolan et al., 2003) constatent que l'ajout de compost à un sol permet de réduire l'extractibilité des polluants métalliques par rapport au même sol non amendé (Franco, 2003).

Les amendements organiques augmentent à la fois la microporosité et la macroporosité. Par l'humus qu'il contient, le compost va jouer le rôle de liant dans les terres sableuses, les particules colloïdales servant de liaison entre les constituants minéraux du sol (Leclercy, 2002).

### Effets sur les caractéristiques biologiques du sol

Plusieurs travaux montrent que le compost améliore les caractéristiques biologiques du sol, le compost livre aux microorganismes telluriques un substrat sur lesquels certains peuvent se développer. Plus le compost est jeune, plus cet effet est important, les substances facilement dégradables y étant en plus grandes quantités. D'autre part, l'activité et l'équilibre microbien du sol peut être influencés par les microorganismes apportés par le compost. Si le compost a été produit selon les règles de l'art, sa microflore est bénéfique, Les agents pathogènes sont en effet dégradés pendant la phase thermophile du processus tandis que des agents antagonistes se développent pendant la phase de maturation (Francou, 2003).

### 1.7. Les inconvénients du compostage

#### Emissions gazeuses et particulaires

Au cours de la dégradation de la matière organique les micro-organismes dégagent des gaz (Figure 06), le type et la quantité des gaz émis dépendent de la matière compostée et de la méthode de compostage utilisée (Baca et al., 1992). Le principal gaz produit lors du compostage est le (CO<sub>2</sub>) et la vapeur d'eau. Les gaz émis peuvent avoir un effet environnemental ou sanitaire non négligeable (Ademe, 2016).

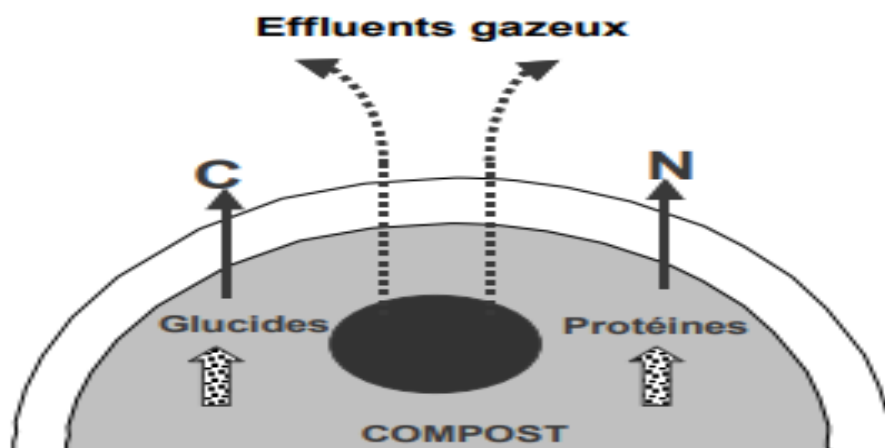


Figure 05 : Emissions des gaz lors du compostage (Hiéronymus, 2001).

#### Le risque pathologique

Le risque pathologique lié au compostage (Fischer et al., 1995) tient essentiellement à la dispersion des spores (Figure 07) dans l'air lors de retournement des andains. Les travailleurs de compost donc sont les plus exposés donc le port du masque protecteur lors des opérations de

retournement est obligatoire, même il faut assurer un suivi médical et ne pas engager de personnes allergiques ou immunodéprimées, aussi ne pas composter au près d'hôpitaux ou d'établissement de convalescence (Gobat et al., 2001).

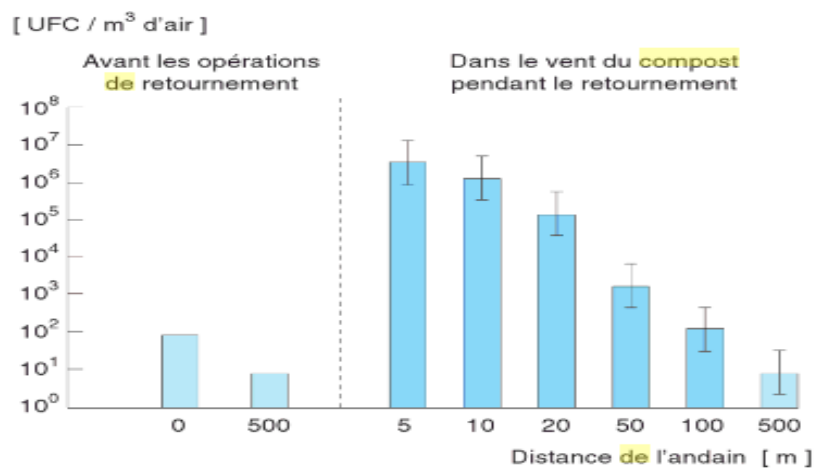


Figure 06 : dispersion des spores d'*Aspergillus fumigatus* dans l'air à partir d'un andain (Gobat, 2001).

### Le problème des odeurs

Un manque d'aération et de maturité et un déséquilibre entre les matières organiques du compost riches en carbone et celles riches en azote, dégagent des odeurs indésirables au cours du compostage (Abaker, 2016).

### 1.8. Maturité du compost

La signification précise de la notion de maturité est importante pour le choix des expériences à réaliser afin de l'évaluer (Francou, 2003).

La définition de la maturité d'un compost est très complexe quel que soit le type de compost (Abaker, 2016). Si la matière organique est stable le compost est mûr, cette condition étant nécessaire et suffisante. Le degré de maturité du compost est alors estimé par l'étude de la biodégradabilité de sa matière organique (Francou, 2013).

En effet, selon la définition du dictionnaire Larousse, la maturité est "la caractéristique d'un écosystème ayant atteint un état d'équilibre".

Un compost non mûr est encore riche en carbone facilement assimilable par les micro-organismes ce qui bloque l'azote (phénomène dit de la « faim d'azote ») (Francou, 2003).

Différents paramètres peuvent être utilisés pour déterminer la maturité du compost comme :

- Les indicateurs de stabilité par caractérisation physique par exemple les odeurs de l'humus (tableau 06) ;
- Du point de vue de la couleur, les substances humiques, synthétisées au cours de la phase de maturation, qui sont responsables de la couleur brune ou noire des composts dits « matures ».
- La température qui décroît en fin de compostage est également un moyen de connaître si le compost est mûr.
- Les indicateurs de stabilité par caractérisation chimique et /ou même biochimique du compost par exemple mesurer le flux de gaz le degré d'humidification, le pH ou la demande chimique en oxygène, la CEC, le rapport C/N, les substances humiques (Tremieret al., 2007).
- En général, on utilise certains tests de maturité comme le test global de phyto-toxicité de (Juste et al., 1980) (figure 08), qui est définie comme la propriété d'une substance d'occasionner des altérations aux végétaux (Tremier et al., 2007) ; le test rapide de (Nicolardot et al., 1980), basé sur la consommation d'oxygène ; le test de colorimétrie de Morel et al., (1979).



Figure 07 : Test de phyto toxicité du compost obtenu avec les graines de maïs et de haricot (Hermeline et al., 2020).

Tableau 06 : Paramètres de stabilité et de maturité (en % d'apparition dans la littérature) extrait d'A.D.A.S Consulting Limited (2005).

Stabilité	%	Maturité	%
Activité biologique ou respiration	35	Effets sur les plantes	45
Degrés ou stades de décomposition	20	Degrés de décomposition (C/N)	23
Mauvaise odeurs	14	Activité biologique ou respiration	11
Consommation d'Azote	8	Bénéfices agraires (texture, rétention en eau	9
Disponibilité des nutriments	6	Odeur	9
Phyto-toxicité	4	Pathogène	4
Carbone disponible ou autres sources	2	Couleur	2
Couleur	2		
Dissolution des métaux lourds	2		
Humidité	2		
Risques environnementaux pour la santé	2		
Texture	2		
	<b>100</b>		<b>100</b>

## 2. Analyse des substances humiques par les UV

### 2.1. Evolution de la matière organique au cours de compostage

La matière organique des composts évolue d'une matière riche en composés facilement biodégradables en une matière qui fournit la plus grande résistance face à la dégradation microbienne (Francou,2003).

**2.2. Le métabolisme du carbone**

Durant le processus de compostage, la teneur en carbone organique subit une perte nette, étant consommé par les micro-organismes pour leur métabolisme (Faverial, 2016). La perte du carbone durant le compostage peut atteindre jusqu'à 40% (Francou et al., 2003).

La distribution relative du carbone dans les substances humiques est utilisée pour évaluer le degré de stabilité de la matière organique des composts (El Fels, 2014), où la grande majorité du carbone des composts est sous forme non extractible (He et al., 1992). Au début de processus de compostage la fraction fulvique prédomine sur la fraction humique et représente jusqu'à 10% de la matière sèche totale. La 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 (El Fels, 2014 ; Abaker, 2016).

**2.3. Formation des substances humiques**

Les substances humiques sont les composants principaux de la matière organique naturelle et proviennent généralement de la décomposition des matières organiques (Tahiri et al., 2014 ; Abaker, 2015). Elles jouent un rôle dans la fertilisation, le transport, l'immobilisation et la dégradation des espèces chimiques organiques ou minérales telles que les pesticides, les composés aromatiques polycycliques ou les métaux lourds dans les sols et les eaux (Moursalou et al., 2013). Les substances humiques sont réparties en trois fractions : les acides fulviques (AF), les acides humiques (AH) et les humines (Hus) (Tahiri et al., 2014).

La proportion de AF et AH varie considérablement en fonction de la MO étudiée et est fortement influencée par l'environnement. Les SH étant issues de la dégradation des molécules du vivant, les éléments majoritaires représentés sont, en pourcentage massique, le carbone (40-60 %), l'oxygène (35-45 %), l'hydrogène (5 %), l'azote (1-5 %) et le soufre (< 2 %) (Gaëlle, 2010).

Le poids moléculaire des substances humiques est très variable, les acides humiques ont un poids moléculaire moyen de 50 000 à 100 000 Daltons, avec quelques molécules pouvant excéder 250 000 Daltons. Les acides fulviques, eux, ont un poids moléculaire moyen de 500 à 2 000 Daltons (Stevenson, 1994).

## Les acides humiques

Ce sont des composés organiques qui sont solubles dans une solution alcaline mais précipités par acidification de l'extrait alcalin (Franco, 2003).

## Les acides fulviques

Ce sont des composés organiques qui sont solubles dans une solution alcaline et restent solubles par acidification de l'extrait alcalin (Franco, 2003).

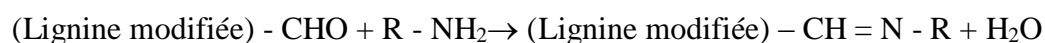
Les acides humiques sont moins solubles que les acides fulviques, (Gourdon, 2002 ; Guillaume, 2016) l'humine est insoluble quel que soit le pH, les acides humiques (AH) précipitent à  $\text{pH} < 2$  et les acides fulviques (AF) sont solubles quel que soit le pH.

Parmi les nombreux facteurs qui les influencent, se trouvent l'origine et la nature de la MO, les micro-organismes qui en assurent la dégradation et la microfaune comme facteurs biologiques ainsi que le pH, la température, l'humidité et l'aération comme paramètres physiques (Tahiri et al., 2014).

Trois principales voies de formation des substances humiques (figure 09) ont été citées dans la littérature (Albrecht, 2007 ; El Fels, 2014 ; Tahiri et al., 2014 ; ABAKER, 2016).

### 2.3.1. Théorie de la lignine (voie 1)

C'est la théorie classique de Waksman, 1936), basée sur la formation des substances humiques à partir de la lignine modifiée (Ndira, 2006). La lignine est un bio-polymère difficilement biodégradable. Une fois modifiée partiellement par les micro-organismes, elle s'associe à des protéines synthétisées par ceux-ci pour former des SH selon la réaction suivante (Tahiri et al., 2014).



Cette théorie se base sur l'existence de propriétés communes entre la lignine et les acides humiques telles que la solubilité en milieux alcalins, la présence de fonctions acides, des groupes méthoxyles et la faible dégradabilité (Waksman, 1936).

### 2.3.2. Théorie des polyphénols (voie 2)

Les polyphénols, provenant de la dégradation de la lignine et de synthèses dues à des micro-organismes, sont oxydés en quinones par des polyphénoloxydases. Par la suite, leur polymérisation ou association à des acides aminés ou des peptides conduisent à la formation d'AF puis d'AH (Calvet, 2003).

### 2.3.3. Théorie de la condensation amine-sucre (voie 3)

L'addition d'un groupement aminé à un groupement aldéhyde d'un sucre réducteur forme une glycosylamine-N substituée, donc Il s'agit de la condensation de sucres et de composés acides aminés (El Fels, 2014).

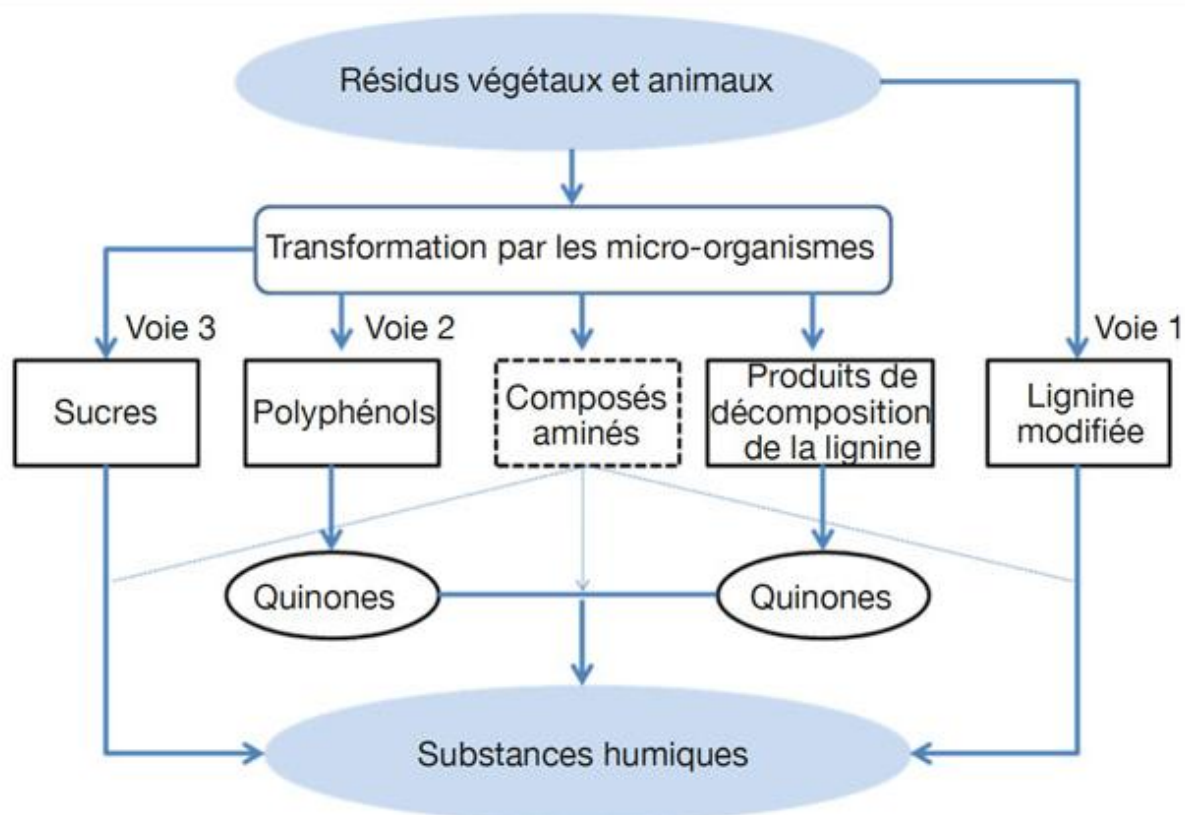


Figure 08 : Voies de formation des substances humiques (Stevenson,1994).

### 2.4. Méthodes d'extractions des acides humiques et fulviques

Le fractionnement réalisé (figure 10) a été adapté de celui utilisé par l'International Humic Substances Society (IHSS). Les acides humiques (AH) et fulviques (AF) sont extraits par agitation à l'aide d'un agitateur rotatif, durant 2 heures à partir de 10 g de compost additionnés à 100 ml de NaOH 0,1 M dans des flacons Erlenmeyer de 250 ml. Cette fraction soluble en milieu alcalin (AH+AF) est récupérée par centrifugation à 2500 rpm durant 25 min. La solution est alors acidifiée à pH 1 par ajout d'acide chlorhydrique HCl 6M. Après une nuit à + 4°C, la fraction soluble en milieu acide (AF) d'acides fulviques est séparée de la fraction insoluble d'acides humiques (AH) par centrifugation à 10000 rpm durant 10 min. Les deux fractions sont séchées dans une étuve à 105°C pendant 48 heures (Albrecht, 2007).

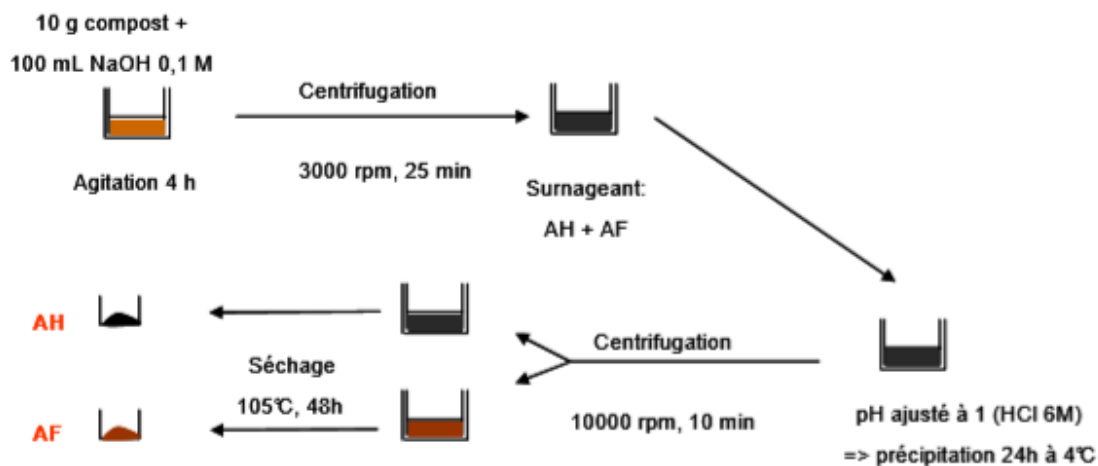


Figure 09 : Extraction des acides humiques et fulviques par différence de solubilité en milieux basique et acide (Albrecht, 2007).

2.5. Modèle des acides humiques et des acides fulviques

Les figures 11,12 et 13 sont des représentations schématiques :

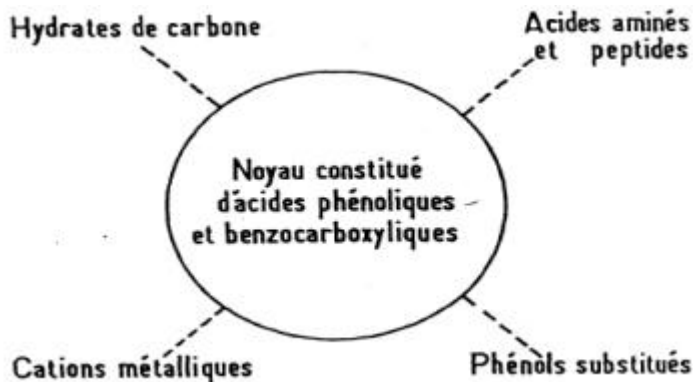


Figure 10 : Représentation schématique des matières humiques (Bachman et al., 1999).

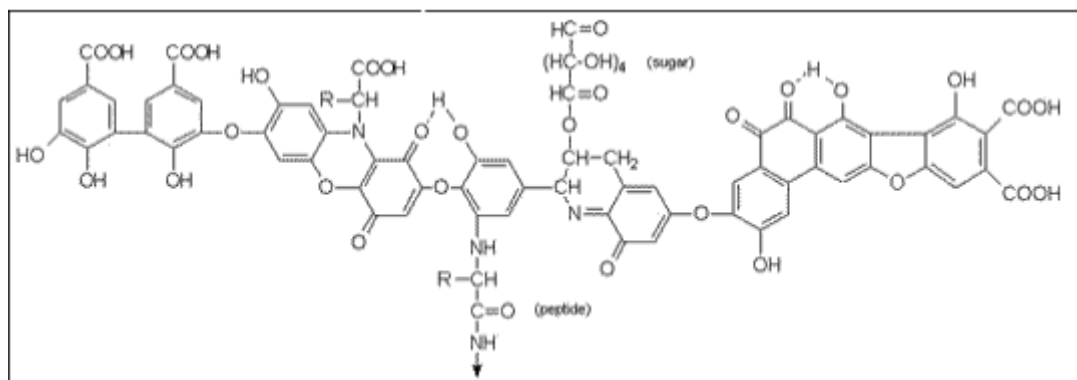


Figure 11 : modèle d'un acide humique (Stevenson, 1982).

La plupart de ces modèles diffèrent selon la distribution des groupements fonctionnels et leur arrangement. De tels modèles ne représentent pas des structures réelles mais, ils reflètent surtout la diversité de conceptions de leur auteur et il n'existe pas d'arguments permettant de dire que ces modèles représentent correctement les substances humiques (Burdon, 2001 ; Calvet, 2003).

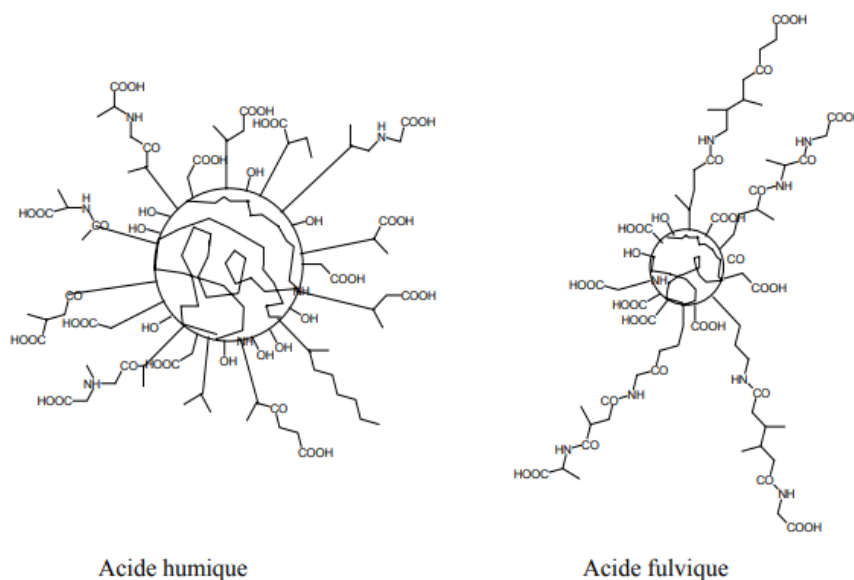


Figure 12 : modèle de structure des composés humiques (Andreux & Munier-Lamy, 1994).

La notion de la structure nécessite d'être définie tant le mélange humique est hétérogène. Des points de vue s'opposent quant à la présentation possible des SH (Eyheraguibel, 2004).

Les différentes analyses montrent que, quelle que soit leur origine (sol, eaux ou lixiviats), les SH (AH et AF) sont composées principalement de carbone (C), d'hydrogène (H), d'oxygène (O), d'azote (N) et de groupements fonctionnels (COOH, OH, C=O) (tableau 07 et 08) (Tahiri et al., 2014). Le pourcentage et la concentration de ces éléments varient en fonction du type et de l'origine des SH. Mais les constituants majeurs des substances humiques et fulviques sont le carbone et l'oxygène. La présence de carbone et de l'azote est plus élevée dans les acides humiques que dans les acides fulviques. Inversement les substances fulviques contiennent plus d'oxygène. Le rapport O/C permet de différencier les acides humiques (O/C=0,5) les acides fulviques (O/C=0,7), le rapport H/C est inversement proportionnel à l'aromaticité ou au degré de condensation (Eyheraguibel, 2004).

Cette relative richesse en oxygène des AF par rapport aux AH est due à la prépondérance de groupements fonctionnels de nature acide et une abondance d'hydrates de carbone (Chen et al., 2003).

Tableau 07 : composition des acides humiques et fulviques des sols, des milieux aquatiques et des lixiviats (Filella et al.,1995 ; Kang et al.,2002 ; Xiali et al., 2008).

Paramètre	AH			AF		
	Sols	milieux aquatiques	lixiviats	Sols	milieu aquatiques	lixiviats
Composition élémentaire (% de poids)						
C	54-62	51-60	56.1-57.1	43-55	42-51	45.6-35.6
O	29.5-36.8	33.4-40,8	26,7-30.2	42.9-51.4	44.2-53.2	32.8-35.6
H	2.9-5.8	3.7-5.1	7,0-8.8	3.6-5.9	3.6-4.3	6.4-9.6
N	1.6-4,8	2,0-2.1	5.7-8.3	0.7-4.1	1,0-1.6	2.4-12
S	.	.	.	0.1-3.5	.	3.4-5.1

Tableau 08 : composition élémentaire des substances humiques en % (Stevenson ,1982).

Elément	C	O	H	N	S
Acide fulviques	40-50	44-50	4-6	<1-3	0-2
Acides humiques	50-60	30-35	4-6	2-6	0-2

La réactivité des SH est liée à la présence d'une grande variété de ces groupements fonctionnels dont l'élément clé est l'oxygène. Ce dernier confère aux SH un caractère poly-électrolyte de type anionique dont résultent leurs propriétés réductrices, tensioactives et surtout leur pouvoir séquestrant (adsorbant, complexant, chélatant) vis-à-vis de composés organiques et minéraux (Eyheraguibel, 2004). Selon (Milne et al., 2001), la teneur en groupements fonctionnels acides dans les substances humiques est généralement comprise entre 3 et 14 eq H<sup>+</sup>·kg<sup>-1</sup> de SH. En plus de ces groupements acides, les SH présentent aussi des groupements fonctionnels de type amine, amide, carbonyle et quinone.

**2.6. Propriétés biologiques des substances humiques**

Les substances humiques (SH), spécifiquement les (AH) et (AF) d'origines différentes (sol, compost), présentent des effets bénéfiques sur le développement des plantes et la production végétale. Ces complexes hétérogènes peuvent induire des variations morphologiques, physiologiques ou biochimiques qui se manifestent au niveau de l'accroissement de la biomasse (Nardi et al., 2009), de la vitesse de germination (Chen et al., 1990), de la rhizogenèse (Canellas et al., 2002 ; Schmidt et al., 2007), du métabolisme auxinique (Muscolo et al., 2007 ; Trevisan et al., 2010), du métabolisme cellulaire (Nardi et al., 2009), de la nutrition minérale et donc sur le rendement des cultures (Verlinden et al., 2009), et la résistance au stress hydrique (García et al., 2014). La nature et l'intensité des réponses varient aussi selon la nature des espèces végétales traitées et les conditions expérimentales utilisées (Eyheraguibel, 2004). De ces effets positifs mis en évidence, il est toutefois difficile de distinguer les effets directs. Parmi lesquels l'influence de la perméabilité des membranes, la stimulation de la synthèse des protéines, l'influence des activités enzymatiques, des effets indirects comprenant la solubilisation des oligo-éléments, la réduction de la toxicité de certaines molécules, l'augmentation de l'efficacité des engrais liés à des facteurs extérieurs incontrôlés sur lesquels les micro-organismes de la rhizosphère jouent un rôle important. (Nardi et al., 2009).

L'influence des SH sur la croissance et le développement des plantes a été largement étudiée chez différentes espèces. Les observations portent sur les mesures des poids frais et sec des pousses et des racines, du nombre de racines principales et latérales, la teneur en chlorophylle, la teneur des tissus en micro- et macroéléments. Toutefois, les mécanismes d'interactions avec les processus cellulaires des racines ne sont pas totalement élucidés.

**2.7. Méthodes d'analyse des substances humiques**

Les méthodes d'études des substances humiques sont nombreuses et variées. Dans l'ensemble, on distingue deux tendances ou axes de recherches : le premier axe est abordé par des techniques destructives et le second par des procédés non destructifs (Schnitzer and Kha, 1972 ; Bailly, 1985 ; Ouatmane, 2000 ; Calvet, 2003 ; Abbt-Braun et al., 2004).

**2.7.1. Méthodes destructives**

Il existe deux types de méthodes de dégradation : chimiques (hydrolyse, réduction, oxydation) et thermique (pyrolyse). La plupart des techniques destructives ont été utilisées pour dégrader, fragmenter, hydrolyser les macromolécules en altérant pas (ou peu) les chaînons libérés. Toutes ces méthodes aboutissent à des sous-unités ou monomères, représentatifs d'unités structurales de base des macromolécules humiques. Les méthodes chimiques relèvent de l'analyse classique. Il s'agit de la détermination de la composition élémentaire (C, H, N, O), de l'identification des monomères constitutifs formant les molécules humiques, ainsi que des techniques de titration et de spectroscopie utilisées pour la caractérisation des différents groupements fonctionnels.

Concernant les méthodes thermiques, la pyrolyse est une des techniques couramment utilisées. Le principe de la pyrolyse consiste à envoyer une impulsion d'énergie thermique afin de provoquer la cassure des liaisons les plus faibles présentes dans l'échantillon. Toutes ces méthodes thermiques aboutissent également à des sous-unités ou monomères, représentatifs d'unités structurales principales des macromolécules humiques, qui seront isolés et analysés par différentes techniques comme par exemple la chromatographie en couche mince (Ndira, 2006).

**2.7.2. Méthodes physiques non destructives**

Il s'agit des méthodes spectrophotométriques, les méthodes physiques non destructives concernent l'étude de la structure des substances humiques et de leur conformation tridimensionnelle (ou structure secondaire). Et /ou la spectroscopie est la science qui étudie les interactions entre les photons et la matière (Mathieu, 2010).

Parmi les procédés non destructifs utilisés, on peut citer : la spectroscopie U.V.- visible ; la spectroscopie I.R. (Infra Rouge), Ils donnent des informations sur les substances sans les transformer et les dégrader et parfois même sans qu'on doive les extraire. Ces méthodes nécessitent une faible quantité de matière. Les principaux renseignements sont obtenus à partir :

- des méthodes spectrométriques qui donnent des informations relatives aux structures moléculaires (nature des groupes fonctionnels, liaisons, environnement atomiques) ;
- des méthodes s'adressant aux propriétés colloïdales qui renseignent sur la taille et la forme des particules, les propriétés tensioactives ;

- des méthodes physico-chimiques donnant des indications sur les propriétés électriques (charges électriques, polarité).

### **2.8. La spectroscopie U.V- visible**

La spectrophotométrie UV-visible (800 à 10nm) repose sur l'interaction entre la lumière et la matière. Il faudrait expliquer cette méthode, en quoi elle consiste, le plus simplement possible. Des auteurs ont utilisé la spectrophotométrie UV-visible pour évoluer la matière organique des sols (tableau 09).

L'absorption dans le visible s'accroît en intensité lorsque la proportion de carbone aromatique par rapport au carbone aliphatique augmente, mais aussi avec l'augmentation du carbone total et de la masse moléculaire (Guillaume,2020). Généralement, les molécules organiques absorbantes sont des molécules possédant des atomes de carbones liés par des doubles liaisons conjuguées, comme ceux contenus dans les noyaux aromatiques constitutifs par exemples des hydrocarbures ou des acides humiques (Khalil, 2005), donc l'absorption moléculaire dans la région UV est directement liée à la structure électronique de la molécule. Le principe est basé sur la/les transition(s) électronique(s) que subissent des molécules/ions exposé(e)s à l'énergie issue du rayonnement des photons (Abaker,2016). L'absorbance ( $A\lambda$ ), capacité d'un milieu à absorber la lumière qui le traverse, est définie, pour une longueur d'onde donnée  $\lambda$  (tableau 10), comme le logarithme décimal du rapport entre l'intensité du rayonnement avant traversée du milieu ( $I_0$ ), et l'intensité du rayonnement transmis( $I$ ) (Masson,2016).

$$A\lambda = \log I_0 / I$$

Des recherches ont montré que le spectre UV-Visible présente 3 régions importantes,  $\lambda$ =280-400-500nm et au-delà de 600nm. Selon les chercheurs l'absorption à 260-280nm représente la fraction lignine et les quinones, 460-480nm reflète l'humification et l'absorption 600-670nm se réfère aux matériaux fortement humifiés avec un haut degré de groupes aromatiques condensés.

Tableau 09 : Application de spectrophotométrie UV-Vis sur l'évolution de la matière organique dans les sols (Guillaume, 2002).

Matrice	Références
Degré d'humification d'acides humiques de différents sols	Chen et al., (1977); Orlov, (1986); Stevenson, (1994); Barancikova et al., (1997)
Caractérisation de substances humiques dans les déchets (boues, compost, ...) et effets lors de leurs épandage sur les sols	Senesi et al., (1996)
Suivi de la biomaturité des composts à 665 nm	Mathur, (1993)
Indice de maturité de compost	Prudent, (1993)
Réactivité des substances humiques avec les halogènes	Korshin et al., (1999)

Tableau10 : Principales longueurs d'onde et leurs comportements en absorption UV-Vis (Abaker, 2016).

$\lambda$ (nm)	Propriétés	Références
245	l'absorbance augmente avec l'aromaticité	Weishaar et al., (2003)
272-280	l'absorbance augmente avec l'aromaticité et le poids moléculaire	Traina et al., (1990); Chin et al., (1994)
$E_2 / E_3$ (250/365)	la valeur du ratio diminue avec l'aromaticité et le poids moléculaire	Peuravuri et Pihlaja, Hautala et al., (2000)
$E_4 / E_6$ (465/665)	la valeur du ratio diminue avec la condensation des molécules et le degré d'humification	Piccolo t al., (1992); Thomsen et al., (2002)

## 2.9. Le rapport de Welt

Le rapport de Welt (ratio E4/E6) est largement employé pour caractériser le matériel humique (Eyheraguel, 2004 ; Moursalou, 2012 ; Moussou, 2016). De nombreux paramètres agissent sur la valeur de ce rapport et rendent son interprétation difficile : Le ratio E4/E6 varie selon le type d'extrait humique, il varie inversement au poids moléculaire des substances, il augmente avec le pH jusqu'à des valeurs comprises entre 6 et 8. D'après (Moursalou, 2012) pour déterminer le ratio, les solutions des substances humiques sont diluées avec de l'eau distillée. Le pH est ajusté entre 6 et 8. La densité optique est mesurée à l'aide des cuves en quartz à 472 et 665 nm. Le zéro est établi avec de l'eau distillée. Les spectres d'absorption UV-visible des solutions sont enregistrés à l'aide d'un spectrophotomètre couplé à un ordinateur pour la mémorisation et le retraitement des spectres. De manière générale, une humification et une condensation qui augmentent sont caractérisées par un rapport qui diminue. Il peut donc servir d'indice d'humification.

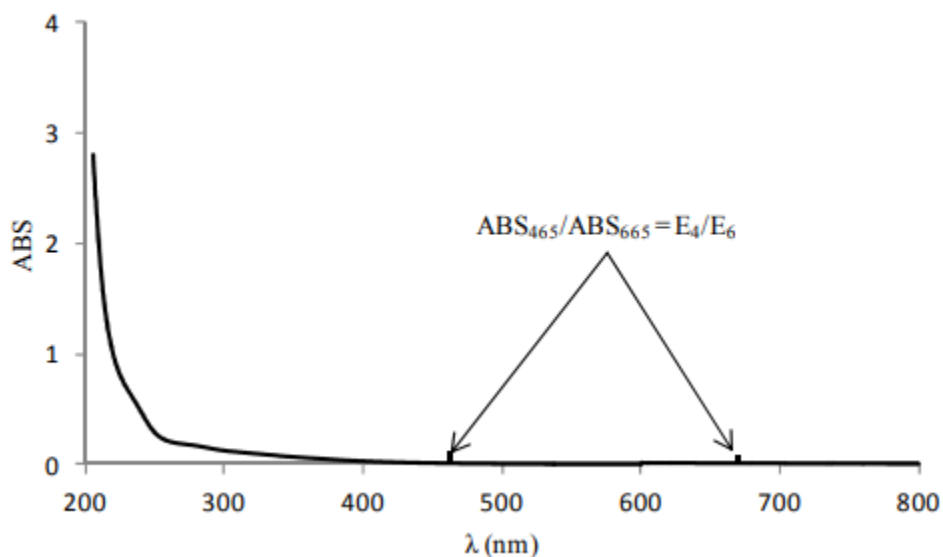


Figure 13 : Indice E4/E6 (Abaker, 2016).

Le rapport E4/E6 (Figure 14) correspond au rapport des absorbances à 465 et 665 nm. Ces valeurs fournissent des informations sur la taille et le poids moléculaire pour E4 et le degré de condensation aromatique et de polymérisation pour E6 (Chen et al., 2003 ; Fuentes et al., 2006). Un rapport E4/E6 inférieur à 5 indique la prédominance des acides humiques et un rapport E4/E6 supérieur à 5 indique la prédominance des acides fulviques (Achour, 2008).

Les spectres UV-visible des composés humiques peuvent apporter certaines informations, en particulier permettre des comparaisons. Les spectres des composés humiques peuvent subir des modifications si l'environnement des molécules humiques est modifié, ce qui se traduit évidemment dans la structure chimique de ces composés (Victor,2006).

# **Chapitre II Étude de cas**

Dans ce chapitre on a étudié trois travaux différents l'un de l'autre, le premier c'est le travail de (Biyada et al., 2020), le deuxième c'est le travail de (Tamakloe et al., 2020) et le troisième c'est le travail de (Atalaëso et al., 2017), qui ont été caractérisé par la spectroscopie UV.

Cette étude comparative permettra de déterminer le comportement de chaque mélange organique et aussi l'évaluation de la qualité et la maturité de ces derniers par UV-Visible.

### 1. Matières organiques utilisées

- ✓ **Etude de Biyada et al., (2020)** : en vue de réaliser leur travail, ces auteurs ont utilisé 3 types de déchets de natures différentes, des déchets verts, des déchets textiles et des déchets du carton et de papier, ils ont produit deux composts :  
 C : 40% déchets textiles, 30% déchets verts et 30% de papier.  
 D : 60% déchets textiles, 40% déchets verts et 40% de papier.
- ✓ **Etude de Tamakloe et al., (2020)** : pour réaliser leurs études, ils ont produit 3 types de composts : N°1 composé de 5 tonnes de déchets ménagers, N°2 comporté des déchets d'ananas et 50% de déchets ménagères et le N°3 des déchets animaux et paille, qui ont été composté en bandes.
- ✓ **Etude de Atalaëso et al., (2017)** : ils ont utilisé différents constituants : déchets ménagers, fumier, phosphate naturel, biomasse de palmier pour produire 5 composts comme le montre le tableau suivant :

Tableau 11 : La composition des composts (Atalaëso et al., 2017).

compost	Déchets ménagères	Fumier	Phosphate naturel	Cendre	Biomasse de C. occidentalis	Total
	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg
<b>C0</b>	600	0	0	0	0	600
<b>C1</b>	360	210	30	0	0	600
<b>C2</b>	300	210	30	60	0	600
<b>C3</b>	210	210	0	0	180	600
<b>C4</b>	150	210	30	60	150	600
<b>C5</b>	60	60	30	60	390	600

### 2. Les méthodes utilisées

#### **Biyada et al., (2020)**

Les acides fulviques et les acides humiques ont été extraits des composts aux différents stades de compostage : 7, 14, 42, 70, 98, 168, 203, 238, 308, 330 jours. Les extraits obtenus ont été soumis à une analyse UV visible. L'absorption UV-visible (220 à 800 nm) a été enregistrée avec un spectrophotomètre SELECTA.

#### **Tamakloe et al., (2020)**

Après 3 mois du lancement de leur compost, ils ont récupéré les acides humiques et acides fulviques, puis ils ont mesuré l'absorption de lumière à des fréquences de 465nm (E4), 665nm (E6), 280nm (Q2), 472nm (Q4) et 664nm (Q6) à l'aide d'un spectromètre UV-Visible.

#### **Atalaèso et al., (2017)**

Après avoir récupéré les acides humiques et acides fulviques ils ont mesuré les absorbances spécifiques (280, 472 et 664 nm).

### 3. Résultats et discussion

**Biyada et al., (2020)**

#### Analyse par spectroscopie UV-visible

Le (tableau 12) indique qu'il y a eu une diminution remarquable de l'absorption et une augmentation de la longueur d'onde entre 220 et 800 nm pour les deux composts. Selon Domeizel et al., (2004), la région de 250 et 300 nm est représentée par des composés aromatiques et/ou insaturés avec des liaisons d'absorption de C=C, C=O et N=N.

Tableau12 : Evolution de l'absorption des échantillons de compost C et D à différentes longueurs d'onde (UV- visibles) entre 7 et 330 jours de compostage.

Temps	Compost C	Compost C	Compost C	Compost D	Compost D	Compost D
Jours	Abs 280nm	Abs 472nm	Abs 664nm	Abs 280nm	Abs 472nm	Abs 644nm
7	0.56	0.07	0.01	0.62	0.10	0.01
14	0.75	0.09	0.02	0.69	0.12	0.01
42	0.9	0.17	0.03	0.85	0.20	0.02
70	1.29	0.23	0.03	0.94	0.33	0.03
98	1.46	0.36	0.04	1.17	0.40	0.04
168	1.76	0.49	0.04	1.31	0.48	0.05
203	1.85	0.54	0.05	1.38	0.06	0.06
238	1.9	0.64	0.06	1.38	0.66	0.07
308	2.18	0.80	0.09	1.80	0.84	0.09
330	2.35	0.91	0.10	2.90	0.89	0.10

De plus, le (tableau13) a montré une forte diminution de tous les ratios à partir du 14<sup>ème</sup> j, suivie d'une stabilisation vers le 203<sup>ème</sup> j et d'une diminution à la fin du traitement d'une valeur de 24,18 et 30,42 pour le ratio Q2/Q6, de 9,31 et 9,37 pour le ratio Q4/Q6 et de 2,60 et 3,25 pour le ratio Q2/Q4, respectivement pour le compost C et D.

Tableau 13 : Evolution des ratios d'absorption pour les échantillons de compost C et D entre 7 et 330 jours de compostage.

Temps	Composte C	Composte C	Compost C	Compost D	Compost D	Compost D
Jours	Q2/Q6	Q4/Q6	Q2/Q4	Q2/Q6	Q4/Q6	Q2/Q4
7	56.00	7.00	8.00	155.00	24.75	6.26
14	37.50	4.50	8.30	51.92	9.46	5.49
42	30.00	5.70	5.30	37.69	8.72	4.32
70	43.00	7.70	5.60	26.60	9.43	2.82
98	36.50	9.00	4.05	31.57	10.89	2.90
168	44.00	12.25	3.60	24.74	9.13	2.71
203	37.00	10.25	3.40	24.63	10.93	2.25
238	31.70	10.70	2.97	19.74	9.47	2.08
308	24.20	8.90	2.72	20.34	9.44	2.15
330	23.50	9.10	2.58	30.42	9.37	3.25

Afin de comprendre la transformation de la MO Biyada et al., (2020), ont utilisé l'analyse de la spectroscopie UV-Visible, où ils ont observé une augmentation de la concentration des composés aromatiques avec une légère différence entre le compost C et D.

Des recherches ont montré que le spectre UV-Visible présente 3 régions importantes,  $\lambda=280-400-500\text{nm}$  et au-delà de  $600\text{nm}$ . Selon ces chercheurs l'absorption à  $260-280\text{nm}$  représente la fraction lignine et quinone,  $460-480\text{nm}$  reflète l'humification et l'absorption  $600-670\text{nm}$  se réfère aux matériaux fortement humifiés avec un haut degré de groupes aromatiques condensés.

Pour déterminer la maturation du compost, on fait appel à des ratios d'absorption suivants qui seront calculer :  $Q2/Q4= \lambda_{280}/\lambda_{472}$  qui indique la proportion entre la lignine et d'autres matériaux au stade initial de l'humification,  $Q2/Q6=\lambda_{280}/664\lambda$  qui montre la relation entre les matériaux hautement humifiés, et  $Q4/Q6=\lambda_{472}/664\lambda$  révèle le degré de polymérisation des composés aromatiques et leur condensation.

Biyada et al., (2020), ont obtenu au stade initial une forte dégradation des composés facilement dégradables, au 203<sup>ème</sup> jour, il a eu une stabilisation des rations qui s'explique par une augmentation des SH et vers la fin, spécialement aux 330<sup>ème</sup> jours le rapport Q4/Q6 a enregistré une diminution qui s'est approché de 5, accompagner d'une diminution du rapport C/N, ce qui indique le progrès de la maturité qui est légèrement un peu élevé pour le C que le D.

Tamakloe et al., (2020)

Les valeurs du rapport E4/E6 des divers composts étudiés sont relativement faibles, la valeur E4/E6 diminue entre la fin du 3eme et le 4eme mois du compost N°1 contrairement aux N°2 et N°3 où le ratio augmente (tableau 14).

Tableau 14 : les ratios E4/E6.

		E4(465 nm)	E6(665nm)	E4/E6
M3	N1	0,079	0,032	2,469
	N2	0,091	0,043	2,116
	N3	0,069	0,024	2,875
M2	N1	0,055	0,025	2,200
	N2	0,035	0,011	3,182
	N3	0,040	0,010	4,000

M1 : premier mois.

M2 : deuxième mois.

L'observation a montré que le ratio Q2/Q6 est relativement élevé par rapport aux autres ratios pour les 3 types de composts, aussi il y a une diminution des ratios Q2/Q6, Q2/Q4, Q4/Q6 pour le compost 1, les ratios Q2/Q6 et Q4/Q6 diminuent également pour le N2, avec une augmentation enregistré dans le Q2/Q6 et Q4/Q6 et une diminution de Q2/Q4 pour le compost N3 (tableau 15).

Tableau 15 : évolution de l'absorption et des ratios d'absorption Q2/Q4, Q2/Q6 et Q4/Q6.

		Q2 (280nm)	Q4 (472nm)	Q6 (644nm)	Q2/Q4	Q2/Q6	Q4/Q6
M3	N1	1,360	0,127	0,010	10,7	136,0	12,7
	N2	1,654	0,131	0,015	12,6	110,3	8,7
	N3	1,454	0,015	0,013	12,6	111,8	8,8
M2	N1	1,456	0,136	0,013	10,7	112,0	10,5
	N2	1,665	0,128	0,016	10,7	112,0	8,0
	N3	1,865	1,159	0,014	11,7	133,2	11,4

Le rapport E4/E6 correspond au rapport d'absorption à 456 et 665nm, qui évalue la qualité, le degré de condensation de la MO, E4 apporte des informations sur la taille et le poids moléculaire, E6 informe sur le degré de condensation aromatique et de polymérisation (Chen et al., 2003 ; Fuentes et al., 2006).

E4/E6<5 indique la prédominance des AH, une décomposition avancée tandis qu'un rapport E4/E6>5 indique la prédominance de AF donc la décomposition est moins avancée.

Tamakloe et al., (2020) ont observé une diminution du rapport d'absorption E4/E6 pour le compost N1 et son augmentation dans les composts N2 et N3, ce qui indique une humification croissante du N1 par rapport à N2 et N3. Ils ont observé que E4/E6<5 qui est dû à la prédominance d'AH pour tous les composts. Ce qui indique donc qu'a priori, les trois types de compost sont dans la phase de maturité.

L'absorption entre 460nm et 480nm indique la région de composés organiques au début d'humification et l'absorption 600nm et 670nm correspond à une MO fortement humifiée et condensée avec des groupes aromatiques abondants (Ramdani, 2015). Une diminution des ratios Q2/Q6 et Q4/Q6 indique une augmentation de la teneur en MO humifiée (Ramdani, 2015), les valeurs Q2/Q6 semblent relativement élevées (104,1 à 136,0) leur évolution renseigne sur le degré de maturité (tableau 15).

L'évolution des ratios Q2/Q4, Q2/Q6 et Q4/Q6 du compost N1 (tableau15) et en particulier du Q2/Q6 et du Q4/Q6 révèle une augmentation de la matière organique fortement humifiée dans le compost et donc l'humification croissante de la matière organique. Ces rapports indiquent clairement que le compost N1 est mûr. L'évolution des ratios Q2/Q6 et Q4/Q6 du compost N2 indique que le compost N2 est également mûr. L'augmentation des ratios Q2/Q6 et Q4/Q6 indique que le compost N3 n'est pas encore mûr.

**Atalaèso et al., (2017)**

### **Caractéristiques spectrales des composts élaborés**

Les analyses spectrales (UV-visible) rendent compte que le ratio Q4/Q6 ne présente pas de tendance claire mais reste dans l'ensemble inférieur à 5 (tableau 16), valeurs assignées aux acides humiques (Chen et al., 1977 ; Stevenson, 1994).

Tableau 16 : Absorbances spécifiques UV-Visible d’extraits alcalins des composts.

compost	Abs <sub>280</sub>	Abs <sub>472</sub>	Abs <sub>664</sub>	Q <sub>2</sub> /Q <sub>6</sub>	Q <sub>4</sub> /Q <sub>6</sub>	Q <sub>2</sub> /Q <sub>4</sub>
C0	1,178	0,41	0,085	25,62	4,82	5,31
C1	1,623	0,177	0,061	26,61	2,9	9,17
C2	1,56	0,163	0,053	29,43	3,08	9,57
C3	2,35	0,6	0,192	11,43	3,12	3,66
C4	2,142	0,581	0,169	12,67	3,44	3,69
C5	2,228	0,74	0,18	12,38	4,11	3,01

Q<sub>2</sub> : Abs<sub>280</sub> ; Q<sub>4</sub> : Abs<sub>472</sub> ; Q<sub>6</sub> : Abs<sub>664</sub>.

#### 4. Conclusion

Les trois travaux ont le même but, qui est la caractérisation des substances humiques et l’évaluation de la maturité de ces différents composts réalisés après une étude par la spectroscopie UV et le calcul des ratios E<sub>2</sub>/E<sub>4</sub>, E<sub>2</sub>/E<sub>6</sub> et E<sub>4</sub>/E<sub>6</sub> (tableau 17).

Tableau 17 : Comparaison des résultats de cas étudiés.

Travail	Compost	Rapport Q <sub>4</sub> /Q <sub>6</sub>	Résultat
(Biyada et al., 2020)	Compost C Compost D	9, 1 9, 37 (330 jours)	9,1 et 9,37 > 5 ce qui indique la prédominance de AF par rapport aux AH donc la décomposition de ces deux composts est encore moins avancée.
(Tamakloe et al., 2020)	Compost N1 Compost N2 Compost N3	10,5 8 11,4 (4 mois)	10,5– 8 et 11,4 >5 ce qui nous indique que la décomposition de ces composts est moins avancée.
(Atalaëso et al., 2017)	C0 C1 C2 C3 C4 C5	4,82 2,9 3,08 3,12 3,44 4,11	(4,82 -2,9 - 3,08 -3,12 - 3,44 - 4,11) toutes ces valeurs sont inférieures à 5 ce qu’il indique la prédominance de AH par rapport aux AF donc la décomposition de ces composts est avancée.

Dans le travail de Biyada et al., (2020), les échantillons de compost prélevés au stade final de compostage enregistrent une diminution de rapport Q4/Q6 qui s'est approché de 5, donc on peut dire que le compost n'est pas encore mur. Car selon (Franco, 2003), le degré de maturité du compost est alors estimé par l'étude de la biodégradabilité de sa matière organique, et on constate aussi une prédominance des acides fulviques par rapport aux acides humiques.

De la même façon pour l'étude de Tamakloe et al., (2020), les résultats finaux sont proche de ceux de Biyada et al., (2020). Au contraire pour Atalaëso et al., (2017), on remarque une grande différence par rapport au deux autres, le rapport Q4/Q6 est inférieur à 5 ce qu'il indique une maturité totale de ces composts, Atalaëso et al., (2017), ont produit des composts de qualité.

Les diminutions des rapports Q2/Q6 ET Q4/Q6 dans tous les travaux depuis la première phase jusqu'à la dernière, montre une augmentation des matières organiques fortement humifiées.

Les résultats de ces travaux montrent que la teneur en matière organique des matériaux analyser varie dans le temps et selon la nature de chaque compost.

# **Conclusion générale**

La spectroscopie UV-Visible permet d'accéder qualitativement à des renseignements quant à la nature des liaisons présentes au sein de l'échantillon mais également de déterminer quantitativement la concentration d'espèces absorbant dans ce domaine spectral. Non destructive et rapide, cette spectroscopie est largement répandue en travaux pratiques de chimie ainsi qu'en analyses chimiques ou biochimiques. L'objectif de notre mémoire est l'utilisation de cette technique spectroscopique pour analyser et suivre la maturité et l'évolution des substances humiques au cours du compostage. Cette dernière nous permet de suivre et juger de l'évolution de l'humification.

Dans notre étude nous avons observé une différence dans les valeurs des ratios  $Q2/Q4$ ,  $Q4/Q6$  et  $Q2/Q6$  des différents types de compost, ce qui nous a permis d'évaluer l'utilisation de la spectrométrie UV-Visible pour poursuivre le processus du compostage et la maturité des composts.

La différence dans le taux de dégradation des composés organiques, ne sont pas seulement attribués aux conditions physico-chimiques du compostage, mais sont forcément liée à l'origine de la matière organique à composter et leurs proportions mélangées.

Enfin, ce travail ne concerne que l'étude d'un compost mixte à l'aide d'une seule technique, afin de confirmer les résultats, il est nécessaire de travailler et d'analyser avec autres méthodes, telle que la spectroscopie infrarouge qui est une technique aussi très connue, facile à utiliser, rapide basée sur des radiations de nature électromagnétique, qui permettent d'assigner les bandes d'absorption infrarouge à des groupements.

# **Références bibliographiques**

- Falinirina, M. V. (2010). thèse. *Valorisation en agriculture des apports organiques contenus dans les déchets urbains: qualité des matières organiques et service écosystémique*. Ecole supérieure des sciences agronomiques Antananarivo.
- (2016). *Synthèse bibliographique sur la faisabilité des sondes spectrophotométriques pour la caractérisation in situ de la matière organique*. IRSTEA.
- Abaker, M. G. (2016). *Suivi de maturation de composts mixtes par spectrométrie d'absorption et de fluorescence UV-visible*. Université de Toulon. p: 17-18-27-31-36-76.
- Aké Hermann Thierry Biekre 1\*, B. T. (2018). *caractéristiques physico-chimiques des composts à base de sous-produits de ferme de Songon*. Cote d'Ivoire.
- Akram, Z. I. (2002). *Etude et évaluation du compostage de différents types de matières organiques et des effets des jus de composts biologiques sur les maladies des plantes*. Tunisie.
- Alan A. Keeling, J. A. (1999.). Estimate of N<sub>2</sub>-fixation in waste-derived compost after treatment with glucose. p. 01.
- Albrecht, R. (2007). thèse de doctorat. *Co-compostage de boues de station d'épuration et de déchets verts: Nouvelle méthodologie du suivi des transformations de la matière organique*. l'universite Paul Cezanne. p: 24-82-83-84-85 .
- Antoine.K. (2011). caractérisation des matières organiques des sols par la spectrophotométrie UV. Marseille, France.
- Atalaëso Bokobana1, 2. O. (2017). Traitement de déchets ménagers par co-compostage avec la légumineuse *Cassia occidentalis* L. et quelques adjuvants de proximité pour améliorer la qualité agronomique de composts. Lomé-Togo.
- Attrassi. B et al. (2005). *Etude de la valorisation agronomique des composts des déchets ménagers*. Kenitra, Maroc. P: 01.
- Aubert. (2006). Modélisation de la stabilisation de la matière organique et des émissions gazeuses au cours du compostage d'effluents d'élevage p:42.
- Aubert. (2014). Modélisation de la stabilité de la matière organique et des émissions gazeuses au cours du compostage d'effluents d'élevage. Toulouse, France: INSA.
- B. Jemali, B. S. (1996). *Control of composting parameters and assessment of the quality of household waste compost in the Rabat-Salé Wilaya*. Maroc. p:46.
- Baudin François, T. N. (2017). *Géologie de la matière organique*. 2ème édition, SGF.
- Ben Ayed L.\*1, H. A. (2005). Caractérisation des paramètres physico-chimiques et microbiologiques au cours d'un cycle de compostage d'ordures ménagères. Hammam Lif, Tunisie. p:06.

- Biyada. S, M. ., (2020). Spectroscopic characterization of organic matter transformation during composting of textile solid waste using UV-Visible spectroscopy, Infrared spectroscopy and X-ray diffraction (XRD). Morocco.
- Calvet. R. (2003). le sol : propriétés et fonctions. Phénomènes physiques et chimiques, applications agronomiques et environnementales, volume 2 . France Agricole Editions.
- Chennaou M. ., S. Y. (s.d.). *Valorisation Agricole D'un Compost Produit À Partir Du Compostage En Cuve Des Déchets Municipaux*. Université Chouaïb Doukkali, El Jadida,, Maroc. p: 254-257.
- Culot. M., L. S. (1999). Le compostage, une pratique meconnue de gestion des dechets. Gembloux, Belgique. p: 12.
- Devisscher S. (1997). mém. *le compost*. univer. Picardie, France. p: 60.
- EIEfls, L. (2014). suivi physico-chimique, microbiologique et ecotoxicologique du comostage de boues de step mélangées a des déchets de palmier: validation de nouveaux indices de maturité. Toulouse INP. p: 45-48- 51.
- Eyheraguibel, b. (2004). Caractérisation des substances humiques biomimetiques- effets sur les végétaux. *thèse de doctorat*. Toulouse. p: 20-22-25-26-49.
- faire son compost. (2012). Marseille, France: Adem.
- Faverial. J. (s.d.). Compostage et vermicompostage des effluents d'élevage. Une alternative durable pour le recyclage des déchets d'origine animale. Pointe-à-Pitre Guadeloupe, France. p: 23-31.
- Francou, C. (2003). stabilisation de la matière organique au cours du compostage de déchets urbains: influence de la nature des déchets et du procédé de compostage - recherche d'indicateurs. Paris, France. p: 46-54-65.
- Fuchs, J. G. (2009). *Fertilité et pathogènes telluriques: effets du compos*. Suisse. p: 2.
- Gaëlle , R. (2010). thèse. *Structure et dynamique de substances humiques et polyélectrolytes modèles en solution*. France.
- Ghannam. M. (2009). production des pectinases chez des microorganismes : Mise en évidence d'une activité pectate lyase thermostable chez une souche d'Actinomycète thermophile isolée du compost de poulet. université Badj Mokhtar-Annaba , Algérie. p: 05.
- Gobat michel, m. a. (2010). *le sol vivant bases de pédologie- biologie des sols*. 3ème édition. p: 375-377-380-381.
- Goudron. R. (2002). *Aide à la définition des déchets dits biodégradables, fermentescibles, méthanisables, compostables*. Lyon, France.: INSA. p: 35-42-48-59.
- Grosbelet. C. (2008). Evolution et effets sur la structuration du sol de la matière irganique apportée en grande quantité. univ d'Engers-INH, France.p: 26.

- Guillaume. F. (2016). thèse de doctorat. *Identification des molécules des acides fulviques impliquées dans la sorption des métaux lourds dans les sols*. Strasbourg. p: 26.
- Guillaume.J. (2020). Thèse de doctorat en Chimie et microbiologie de l'eau. *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*. Pau et des pays de l'Adour . p: 28-29-30-31-32-42-67-68.
- HacalaS M., T. M. (1994). article. *Article connaissance qualitative et quantitative des engrais de ferme de bovins. Intéret pour la fertilisation*. p:260.
- Hermeline. N \*, A. M.-M. (2020). *Essais de valorisation des déchets solides ménagers biodégradables par compostage en milieu urbain au Congo*. Brazzaville , Congo. p: 63-66.
- Hiéronymus, Y. (2001). thèse de doctorat. *Emission d'effluents gazeux lors du compostage de substrats organiques en relation avec l'activité microbologique (nitrification/dénitrification)*. C.N.R.S. - Université de Rennes1 ., Paris. p: 26-30-33-36.
- Jeremy. D. (2020). thèse de doctorat. *modelisation couplée des phases de traitement par compostage et de recyclage agricole des matières organiques*. Bretagne: INRA. p: 22.
- Joël Mawuli Tamakloe1, E. K. (2020). article.*Evaluation of the Maturity of the Compost Produced at the Compost Production Site of the NGO ENPRO in Lomé (Togo) Using the UV-Visible Spectroscopy*. Lomé, Togo .
- Joseph Tshala Upite ., A. K. (2020). *Effets des composts ménagers sur les propriétés du sol e t sur la productivité des cultures légumières : Cas de la tomate (Lycopersicon esculentum Mill)*.
- le compostage. (2015). Marseille, France: adem. p: 9.
- Leclercy. D. (2020). le compost une filière de valorisation des déchets organiques à developper. hal-01201793, version 1. Arina-Courenv. p: 125-128.
- Lefevre. R. (2015). thèse de doctorat. *matière organique stable du sol: dynamique des mécanismes de (dé)stabilisation* . Ile de France. p: 7.
- Lesteur. M. (2010). thèse de doctorat. *Etude de l'utilisation de la spectroscopie proche infrarouge pour la prédiction du potentiel méthane de déchets solides*. p: 33.
- Longanza Louis Baboy 1, 2. L. (2015). *Valorisation agricole des déchets comme alternative à leur gestion dans les villes d'Afrique subsaharienne : caractérisation des déchets urbains à Lubumbashi et évaluation de leurs effets sur la croissance des cultures vivrières*. Congo. p: 80.
- M. Chennaoui., Y. S. (s.d.). *Valorisation Agricole D'un Compost Produit À Partir Du Compostage En Cuve Des Déchets Municipaux*. Université Chouaïb Doukkali, El Jadida, , Maroc. p: 254-257.

- Masson. M. (2015). *synthese bibliographique sur la faisabilite des sondes spectrophotometriques pour la caracterisation in situ de la matiere organique*. France.: Aquaref. p: 8-9.
- Medjahdi. N. (2016). thèse de doctorat. *Evaluation du compostage des spous produits d'huile d'olive sur le rendement de queleques espaces a interet agroalimentaire*. Oran, Algerie. p:27.
- Moursalou , K. (2012). thèse de doctorat. *Extraction, caractérisation, réactivité chimique des substances humiques naturelles avec les phosphates de Hahotoe-Kpogame et leurs propriétés photodégradantes*. version 1. p:5-7-14- 22-25-26.
- Naman. F, S. B. (2015). *Au regard de la complexité et de l'hétérogénéité du mélange humique, il est difficile d'extraire une fraction pure et la détermination de sa structure s'avère peu réalisable*. Rabat, Maroc.p: 2648.
- Nanthi S. Bolan, I. D. (2003). soil acidification and liming interactions with nutrient and heavy metal transformation and bioavailability. USA.
- Nardi.n.C. P. (2009). *Biological Activity of Humic Substances*. Etats-Unis.
- Ndira. V. (2006). thèse de doctorat. *Substances humiques du sol et du compost : analyse élémentaire et groupement atomiques fictifs : vers une approche thermodynamique*. Toulouse: INPT. p: 32-42.
- Ouadart.D. (2013). thèse de doctorat. *Modélisation de la stabilisation de la matière organique et des émissions gazeuses au cours du compostage d'effluents d'élevage*. Toulouse: INSA. p: 54.
- Paillat, J.-M. (2007). *Compostage des matières organiques d'origine animale : bilan environnemental*. pdf. p: 02.
- R, G. (2002). *Aide à la définition des déchets dits biodégradables, fermentescibles, méthanisables, compostables*. Lyon, France.: INSA. p: 35-48-59.
- S. Hernando.M. L. (s.d.). article. *effect of the application of a municipal refuse compost on the physical and* . instituto de edafolog~a y biologia vegetal (C.S.I.C). Madrid. Spain.
- S., D. (1997). le compost. Picardie France.
- Saenger.A. (2013). Caractérisation et stabilité de la matière organique du sol en contexte montagnard calcaire: proposition d'indicateurs pour lesuivi de la qualité des sols à l'échelle du paysage. Grenoble. p: 13-22-23.
- Saloua Biyada□, M. M. (2020). Spectroscopic characterization of organic matter transformation during composting of textile solid waste using UV–Visible spectroscopy, Infrared spectroscopy and X-ray diffraction (XRD).
- Schavartz C. Muller J.C. Docroux J. (2005). *guide de la fertilisation raisonnée*. France agricole.
- Stevensen F.J. (1994). *humus chemistry*. New York: 2ème édition, Wiley.

- Tahiri. A. e. (2014). propriétés physico-chimiques et biologiques des substances humiques en relation avec le développement végétal. Gembloux, Belgique.
- Tahraoui. D. (2013). *Valorisation par compostage des résidus solides urbains de la commune de Chlef*. Chlef, université 2 de Limoges, Algérie. p: 53.
- Thèse de doctorat. (2007). *Evaluation du gisement des déchets solides urbains d'Alger et proposition de leur valorisation énergétique par méthanisation*. université de Bejaïa, Algérie.
- Tichadou. L. (2014). *plateforme du compostage en milieu clos*. Tours. p: 13.
- Toundou, O. (2016). *Evaluation des caractéristiques chimiques et agronomiques de cinq composts de déchets et étude de leurs effets sur les propriétés chimiques du sol, la physiologie et le rendement du maïs ( Zea mays L. Var. Ikenne) et de la tomate ( Lycopersicon esculentum)*. université de limoges. p: 25-28.
- Tremier. A et al. (2007). *Indicateurs de stabilisation de la matière organique au cours du compostage et indicateurs de stabilité des composts : analyse critique et perspectives d'usage*.pdf.p: 105-108-109-118.
- Xiao-xia Guo., S.-b. W.-q.-t. (2020). *Impact of biochar addition on three-dimensional structural changes in aggregates associated with humus during swine manure composting*. chinese academy of sciences, Beijing, 100100, China.
- Zakia Rais et al. (2007). *Aide à la définition des déchets dits biodégradables, fermentescibles, méthanisables, compostables*. Université du Québec - INRS-Eau, terre et environnement (INRS-ETE). .
- Zegels, A. (2018). *composter les déchets organiques*. Jambes Namur, Belgique.

## **Résumé**

La matière organique est une composante indispensable pour que le sol garde ses propriétés, mais parfois ce dernier s'appauvrit en cette matière. Ce qui induit à une perte de fertilité et une grande vulnérabilité à l'érosion. Cela rend nécessaire d'apporter des amendements fertilisants. Afin de satisfaire ce besoin en nutriments, on fait appel au compostage qui fournit un amendement riche en substances humiques (acides fulviques, acides humiques et l'humine), après la maturité du compost. Pour évaluer la maturité du compost et caractériser les substances humiques, diverses méthodes se mettent en jeu. Parmi eux on cite la spectrophotométrie UV-Visible qui permet d'évaluer l'état d'avancement de la dégradation, en se basant sur le calcul des ratios qui révèle la qualité et la quantité du compost. L'objectif de notre travail c'est l'étude par UV-Visible des acides humiques acides fulviques formes au cours du compostage.

Mots-clés : matière organique, fertilité, compostage, substances humiques, spectrophotométrie UV-Visible.

## **Abstract**

Organic matter is an indispensable component for the soil to keep its properties, but sometimes the soil is depleted in this matter. This leads to a loss of fertility and great vulnerability to erosion. This makes it necessary to make fertilizing amendments. In order to satisfy this need for nutrients, composting is used, which provides amendments rich in humic substances (fulvic acids, humic acids and humin), after the compost has matured. Various methods are used to assess maturity of compost and characterize the humic substances. Among them we cite the UV-Visible spectrophotometry which allows to evaluate the state of progress of the degradation, based on the calculation of ratios that reveal the quality and quantity of the compost. The objective of our work is the study by UV-Visible of the humic acids fulvic acids formed during composting.

Keywords: Organic matter, fertility, composting, humic substances, UV-Visible spectrophotometry.