

Université Abdelhamid Ibn Badis-  
Mostaganem Faculté des Sciences  
de la Nature et de la Vie



جامعة عبد الحميد ابن باديس  
مستغانم  
كلية العلوم الطبيعية والحياة

**DEPARTEMENT D'AGRONOMIE**

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES**

*Pour l'obtention du diplôme de*

**(MASTER EN AGRONOMIE)**

*Spécialité : Gestion conservatoire de l'eau, des sols  
et de L'environnement*

**THEME**

***Etude Et Evaluation Des Déchets verts par  
compostage***

**Présenté par :**

***YAHIAOUI Wissem***

**DEVENT LE JURY**

<b>Président</b>	<b><i>M. BOUALEM Abdelkader</i></b>	<b><i>MCA</i></b>	<b><i>U Mostaganem</i></b>
<b>Encadreur</b>	<b><i>M. REGUIEG YSSAAD Larbi</i></b>	<b><i>MAA</i></b>	<b><i>U Mostaganem</i></b>
<b>Co encadreur</b>	<b><i>M. SACI Belgat</i></b>	<b><i>MCB</i></b>	<b><i>U Mostaganem</i></b>
<b>Examineur</b>	<b><i>M. BESAFI Laid</i></b>	<b><i>MAA</i></b>	<b><i>U Mostaganem</i></b>

***Année universitaire : 2019-2020***

## **Remerciement**

*Nous tenons à remercier en premier lieu dieu le tout puissant de avoir donné courage et santé pour achever ce travail.*

*Un grand remerciement à notre promoteur Mr RGUIEG YASSAD LARBI Pour ses valeureux conseils, ses orientations qui ont beaucoup enrichi ce travail, et à Mr SACI BELGAT d'être mon notre Co- promoteur et de son attention et ses conseils, m'ont permis durant la réalisation de ce travail d'acquérir une autonomie dans la recherche.*

*Enfin, nos remerciements s'adressent à tous les enseignants et à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin pour la réalisation de ce modeste travail*

# *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail à :*

*-Mes très chers parents, dont ce travail constitue une légère compensation  
pour tous leurs*

*Nobles sacrifices afin d'assurer mon bien être et mon éducation, Que Dieu  
les protège et les*

*Gardent en bonne santé ;*

*-Mes chers frères : Omar et Abdeldjalil*

*-Mes adorables soeurs Fatiha et Imane*

*Et mon beau frère Abdelhadi*

*-Toutes mes tantes, mes oncles. Leurs maris, femmes et enfants*

*-Toutes la famille YAHIAOUI ET SOUIAH*

*-Mes chers cousins, et tous mes amis*

*-A ma très chère collègue : Toutes les filles de ma promotion*

*GCSEE*

*-Tous mes collègues de la promotion M2 S.N.V*

Dédicaces

Remerciements

Liste des figures

Liste des photos

Liste des tableaux

## SOMMAIRE

Introduction ..... 01

### **CHAPITRE I ( le compostage)**

#### **Partie bibliographique**

<b>I.1.</b> Historique .....	03
<b>I.2.</b> Définition des concepts .....	03
<b>I.2.1.</b> Le compostage .....	03
I.2.2. Les déchets .....	03
I.2.3 Les déchets verts .....	04
<b>I.3.</b> Le Processus De Compostage .....	04
<b>I.4.</b> Processus et population microbiologique au cours du compostage .....	07
<b>I.5.</b> Les différentes méthodes de compostage .....	07
I.5.1. Le compostage en andains .....	07
I.5.2. Le compostage en récipient clos .....	08
I.5.3. Les lits rectangulaires remués .....	08
I.5.4. Le vermicompostage .....	08
I.5.5. Ajout d'adjuvants de compostage .....	08
<b>I.6.</b> Les phases du processus de compostage .....	09
I.6.1. La phase mésophile (A) .....	09
I.6.2. La phase thermophile (B) .....	09
I.6.3. La phase de refroidissement (C) .....	10
I.6.4. La phase de maturation (D) .....	10
<b>I.7.</b> Types de compostage .....	10
I.7.1. Compostage à froid .....	10
I.7.2. Compostage à chaud .....	11
<b>I.8.</b> Paramètres du compostage .....	11
I.8.1. La température .....	11
I.8.2. Le Ph. ....	11
I.8.3. L'humidité .....	12
I.8.4. L'aération .....	13

I.8.5. Rapport C/N.....	13
<b>I.9.</b> Le métabolisme du carbone et de l'azote durant le processus de compostage.....	14
<b>I.10.</b> Les êtres vivants et le compostage.....	15
<b>I.11.</b> Evolution des éléments chimiques et biochimiques.....	17
<b>I.12.</b> influence des paramètres physico-chimiques lors de compostage .....	18
<b>I.13.</b> Le suivi du compostage .....	20
<b>I.14.</b> Objectifs du compostage .....	21
I.14.1. Effets physico-chimiques du compost sur les sols .....	21
I.14.2. Valorisation agronomique des composts par apport d'éléments fertilisants..	22
I.14.3. Amélioration des aspects biologiques des sols amendés .....	25
I.14.4. Effets remédiant des amendements organiques .....	25
I.14.5. Effet de serre .....	26
I.14.6. Le compostage et son effet hygiénisant.....	26
<b>I.15.</b> Intérêt du compostage .....	27
<b>I.16.</b> Intérêts et limites du compostage de déchets .....	30
I.16.1. Intérêts écologiques.....	30
I.16.2. Intérêts agronomiques.....	30
<b>I.17.</b> Compost .....	31
I.17.1. Compost aérobie .....	31
I.17.2. Compost anaérobie.....	31
<b>I.18.</b> Caractérisation d'un compost prêt à l'emploi .....	32
<b>I.19.</b> Les micro-organismes du compost .....	34
<b>I.20.</b> Les critères d'évaluation de la maturité d'un compost.....	34
I.20.1. Méthodes empiriques .....	35
I.20.2. Caractéristiques physico-chimiques classiques .....	36
I.20.3. Activités biologiques.....	37
I.20.4. Valeurs agronomiques, tests sur plantes .....	38
<b>I.21.</b> Effets sur les caractéristiques des sols .....	41
<b>I.22.</b> Remarque sur le compost.....	41

## **Chapitre II**

### **Matériels et méthodes**

II. Approche méthodologique .....	42
II.1. Présentation du site d'étude .....	42
II.1.2. Diagrammes climatique Mostaganem .....	43
II.1.3. Courbe de la température de Mostaganem .....	43
II.1.4. Tableau climatique de Mostaganem .....	44
II.2. Etapes de confection du compost .....	45
II.3. Dispositif expérimental .....	45
II.4. Matériels.....	46
II.5. Méthodologie .....	46
II.6. Evaluation de la matière du compost.....	47
II.6.1. Préparation de la matière à composter.....	47

II.6.2. Les étapes de valorisation des déchets vert .....	52
II.6.3. Méthode d'analyse.....	52
II.6.4. Tests de températures .....	53
II.6.5. Tests d'humidité .....	54
II.6.6. Tests de Ph.....	54

## **Chapitre III**

### **Résultats et Discussions**

III. Résultats et discussions .....	55
III.1. Suivi du compostage.....	55
III.1.1. Compost obtenu .....	55
III.1.2. Aspects physiques .....	55
III.1.2.1. Evolution de PH .....	55
III.1.2.2. Evolution de température .....	55
III.1.2.3. L'humidité .....	56
Conclusion .....	58
Références bibliographiques.....	59
Résumé	

## Liste Des Figures

**Figure 1 :** Evolution théorique de la température durant le compostage en milieu tempéré (Francou, 2004)

**Figure 2 :** Exemple d'une coupe d'un andain en phase thermophile, montrant l'hétérogénéité des températures (Gobat et al., 1998).

**Figure 03:** Courbe de variation du pH au cours du compostage (Mustin, 1987)

**Figure 04:** Evolution du rapport C/N de différents substrats au cours du compostage (Hafidi, 2011)

**Figure 05 :** Influence des paramètres physico-chimiques lors du compostage (adapté de Lashermes, 2010)

**Figure 06:** Schéma du cycle de l'azote lié à un apport de compost d'après Francou (2003)

**Figure 07 :** Diagramme climatique Mostaganem

**Figure 08 :** Courbe de la température de Mostaganem

**Figure 09 :** Schéma illustrant le niveau de mesure de la température avec le thermomètre à sonde

## Liste des Tableaus

**Tableau 01** : Quantité d'êtres vivants intervenant à un moment ou à un Autre pendant le compostage (Zeglels et Masscho,1999)

**Tableau02** : Flores contribuant au compostage (Mustin,1987).

**Tableau03** : Rôles des éléments minéraux

**Tableau 04**: Paramètres de stabilité et de maturité (en % d'apparition dans la littérature) extrait de A.D.A.S Consulting Limited (2005).

**Tableau 05** : Exemple de valeurs des principaux indicateurs de maturité

**Tableau 06** : Tableau climatique de Mostaganem

**Tableau 07** : préparation de matière organique.

**Tableau 08** : Les étapes de valorisation des déchets vert

**Tableau 09** : Evolution de PH

**Tableau 10** : Evolution de température

**Tableau 11** ; Hygiénisation du compost en fonction de la température (adapté de knoll, 1969 In Heynitz, 1985)

## Listes des Photos

**Photo 01** : le site expérimentation (Hassi Mamache Mostaganem)

**Photo 02** : Tracteur a remorque de benne

**Photo 03** : Pelle et râteau

**Photo04** :compresseur

**Photo 05** : Brouette

**Photo 06** : tare de pascale

**Photo 07** : Broyeur

**Photo 08** : déchets verts après le broyage

**Photo 09** : le déplacement

**Photo 10** : le transport de la terre végétale

**Photo 11** : la plateforme du compostage

**Photo 12** : l'opération de peser

**Photos 13** : mise en place du landain

**Photo 14** : Couverture du landain

**Photo 15** : arrosage de lot du compostage

**Photo 16** : le retournement

**Photo 17** : test de température

**Photo 18**: teste de l'humidité

**Photo 19** : teste de Ph

**Photo 20** : Différence d'humidité en fonction de la hauteu



***Introduction***

### Introduction

Les sols en Algérie sont insuffisamment pourvus en éléments nutritifs assimilables par les plantes (N, P, Ca, etc.) (Anonyme1, 2012). Ainsi, ils ne peuvent en l'état assurer une production agricole acceptable sans que des apports massifs d'engrais chimique ou d'amendements organiques ne leur soient appliqués. Par ailleurs, l'urbanisation entraîne une concentration des structures minérales au cœur des villes algériennes, d'où la présence indispensable d'espaces verts au sein d'une agglomération pour conserver une place au végétal. C'est dans cet esprit que les collectivités s'engagent à mettre à la disposition du public des espaces verts dont la qualité passe par un entretien adapté. Cet entretien génère naturellement des déchets végétaux dont l'élimination pose des problèmes aux services municipaux. Le stockage de ces déchets sur le lieu de production a un impact négatif visuel et souvent olfactif surtout au printemps où les apports de gazon sont importants et contribuent à leur surcharge. Les solutions de traitement ou de stockage des ordures ménagères sont peu adaptées aux déchets végétaux et présentent de nombreux inconvénients :

- Les déchets verts constituent des flux saisonniers volumineux qui contribuent à saturer les équipements de collecte et d'élimination.
- Décharges : les déchets verts contribuent à augmenter la fraction fermentescible que l'on cherche au contraire à diminuer pour réduire la production de biogaz et de lixiviats. La fermentation anaérobie des déchets verts produit du méthane et charge les lixiviats en matière organique.
- Unité d'incinération : Perturbation de la combustion dans les fours. Les quantités importantes de déchets verts provoquent des variations du pouvoir calorifique des ordures ménagères, une baisse de température et des mâchefers non conformes ou imbrûlés.

Pourtant, il existe une solution simple, écologique, économique et bénéfique pour nous comme pour la nature : le compostage, qui offre des solutions permettant de transformer les déchets organiques. C'est également la solution la plus acceptable pour assainir des matières organiques fraîches (Anita, 2003).

Le premier objectif du compostage des déchets organiques est le respect de l'hygiène de l'environnement (Werner et al., 2000). Une possibilité pour réduire la quantité des déchets biodégradables sur les décharges est leur compostage et réintroduction dans le cycle naturel comme un précieux amendement ou engrais (Sandres, 2000). C'est dans cette optique que la station de compostage biocompost a été créée.

Le compostage est un phénomène biologique naturel qui peut durer de 4 à 8 mois pour avoir un compost mûr. Mais, aboutit également à des résultats hasardeux si les conditions ne sont pas réunies (présence des bactéries en quantité suffisante, apport d'oxygène, taux d'humidité, rapport du carbone sur l'azote, etc.). Les variations importantes de durée d'efficacité d'un compostage non dirigé sont difficiles à gérer lorsqu'il s'agit de le pratiquer à grande échelle. (Gray et Biddlestone, 1976) Cette étude a donc pour objet de tester le mode de compostage en andain, suivre les processus de compostage et aussi d'évaluer la qualité du compost de déchets verts.

### **Ce mémoire comprend trois chapitres principaux :**

- **Le premier chapitre** : présente une synthèse bibliographique, qui traite dans sa première partie de généralités sur le compostage et dans sa deuxième partie sur le processus de compostage ;
- **Le deuxième chapitre** : est structuré en deux parties également dont la première présente le site d'étude et la deuxième porte sur la méthodologie de travail ;
- **Le troisième chapitre** : est consacré aux résultats obtenus et à leur interprétation ;

Enfin, une conclusion générale.



*Chapitre I*

*Partie Théorique*

## Le compostage

### I.1. Historique

Le compostage n'est pas une technique récente mais très ancienne pratiquée dès l'Antiquité. Depuis des millénaires, les Chinois ont rassemblé et composté toutes les matières organiques du jardin, des champs, de la maison y compris les matières fécales.

Au Proche-Orient par exemple, une aire de dépôt des déchets urbains était aménagée devant les portes de Jérusalem : certains déchets étaient brûlés et les autres compostés.

Aussi le mot 'compost' vient du latin 'Compositus' qui signifie 'composé de plusieurs choses'. Les romains appelaient ainsi les préparations de légumes et de fruits avec des adjonctions d'huiles, de sel et d'autres adjuvants. C'est sous ce nom que la Choucroute a été introduite en Europe centrale au XI<sup>ème</sup> siècle.

### I.2. Définition des concepts

#### I.2.1. définition du Compostage

Le mot 'compost' vient du latin « Compositus » qui signifie « composé de plusieurs choses ». (ZNAÏDI, 2002).

Le compostage est un processus aérobie de dégradation de composés organiques par l'action successive des micro-organismes (bactéries, levures, et champignons), dont la concentration peut atteindre des millions, voir des milliards par gramme de compost (BARJE et al., 2008, JOURAIPHY, 2007, AMIR, 2005 ; AMIR et al., 2010) in EL FELS 2014.

- Une phase dite oxydative, au cours de laquelle l'oxydation biologique des composés facilement biodégradables se fait principalement par des bactéries. Cette forte activité microbienne entraîne une augmentation de la température jusqu'à 60-75°C, c'est pour cela que cette phase est appelée aussi phase thermophile.

- Une phase dite de maturation caractérisée par un ralentissement de l'activité microbiologique et la prédominance des phénomènes d'humification. Les micro-organismes les plus actifs sont les champignons et les actinomycètes qui dégradent les substances les plus polymérisées. Au cours de cette phase, on assiste à une stabilisation croissante de la matière organique qui se traduit par une diminution de sa biodégradabilité résiduelle.

#### I.2.2. Définition des déchets

D'après la loi n°01-19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets, on entend par déchets :

tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, et plus généralement toute substance, ou produit et tout bien meuble dont le propriétaire ou le détenteur se défait, projette de se défaire, ou dont il a l'obligation de se défaire ou de l'éliminer.

Autre définition : un déchet correspond à tout matériau, substance ou produit jeté ou abandonné parce qu'il n'a plus d'utilisation précise.

Le terme de déchet traduit l'idée de se défaire d'un produit dont une personne physique ou morale dispose (Damien, 2006).

### **1.2.2.1. Déchets organiques d'un jardin**

Un jardin produit des déchets organiques, c'est-à-dire provenant d'un être vivant, animal ou végétal, autrefois on ne les appelait d'ailleurs pas des déchets. Ils étaient valorisés en terreaux de feuilles, bois pour la cheminée, compost (Cadorin, 1995).

### **1.2.2.2. Types des déchets végétaux et animaux**

Sel minéraux et humus : les sels minéraux libérés servent de nourriture pour une nouvelle génération de plantes ; l'humus améliore la terre et nourrit lentement les plantes d'éléments simples comme le carbone et l'azote (Mustin, 1987).

Une multitude d'êtres vivants (microorganismes, vers de terre, insectes) décomposent la matière végétale pour en tirer leur nourriture. L'aboutissement de ce processus est double :

- Une partie se minéralise, c'est-à-dire se transforme en éléments minéraux simples: azote, phosphore, magnésium, oligoéléments,...etc.
- Une autre partie aboutit à la formation d'un ensemble de substances organiques complexes qui constitue l'humus (Pépin, 2008).

### **1.2.3. Déchets verts**

Les déchets verts sont des déchets organiques issus de l'entretien des espaces verts, des jardins privés, des serres, des terrains de sports... On désigne par déchets verts les feuilles mortes, les tontes de gazon, les tailles de haies, d'arbustes, les résidus d'élagage, les déchets d'entretien de massifs, les déchets de jardin des particuliers collectés séparément ou par le biais des déchetteries.

## **1.3. Le processus de compostage**

De nombreux auteurs ont défini le processus de compostage à travers l'évolution thermique du compost (Mustin et al., 1987 ; Poincelot, 1992 ; Epstein, 1997). Le compostage débute à la formation du tas, de l'andain ou plus simplement à la mise en place des déchets à composter (FAO, 2005). Ensuite la succession d'environnements thermiques différents

conditionne les espèces microbiennes présentes tout au long du processus de compostage (McClintock, 2004). Les communautés microbiennes opérant durant le compostage diffèrent de celles présentes dans les déchets organiques initiaux et leur prolifération serait fonction de leur sélection par les conditions environnementales ambiantes (Ishii & Takii, 2003). Deux paramètres majeurs semblent influencer la composition et la succession des communautés microbiennes : l'évolution de la température, conditionnée par le mélange initial des matières premières et sa biodégradabilité (Steger et al., 2007), et la disponibilité des nutriments (Ishii et Takii, 2003).

Selon Mustin et al. (1987), le compostage aérobie se déroule de la façon suivante :

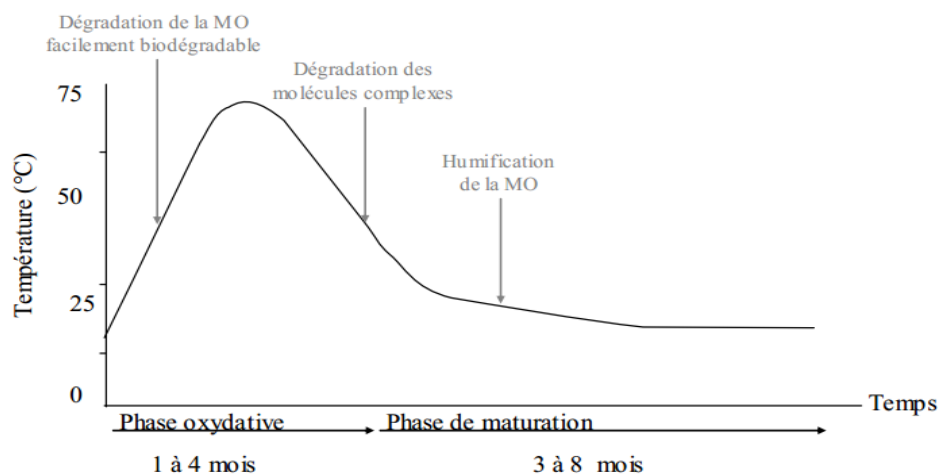


FIGURE 1 : Evolution théorique de la température durant le compostage en milieu tempéré (Francou, 2004)

\* La phase oxydative (ou de décomposition) débute avec des températures mésophiles, c'est-à-dire inférieures à 45°C. Les organismes alors présents se multiplient rapidement grâce aux sucres et acides aminés disponibles présents dans la MO labile. Cette forte activité a pour première conséquence une élévation considérable de la température. Dans la plupart des cas, la température atteint rapidement les 70 à 80°C durant les deux premiers jours (Sierra et al., 2013). L'activité des populations microbiennes mésophiles est inhibée à des températures trop élevées, il leur succède alors d'autres populations microbiennes et fongiques dites thermophiles, qui effectuent à très haute température une importante minéralisation de la MO. Au-delà de 70°C, seules les enzymes sécrétées dans les phases précédentes concourent encore à la dégradation (Yulipriyanto 2001). Au cours de cette phase prédomine la décomposition des fibres végétales par les champignons. Des composés organiques complexes dégradés en plus petites molécules par certains microorganismes peuvent être utilisés par d'autre type de microorganismes, cet effet de synergie permet une croissance microbienne efficace (Golueke, 1991).

\* A cette phase oxydative succède, une phase de maturation qui débute par un refroidissement (retour à la température ambiante) du compost marqué par un net ralentissement de l'activité microbienne. Les processus d'humification (réactions secondaires de condensation et polymérisation) dominent et aboutissent à la formation d'humus, dont les acides humiques, composés très résistants à la dégradation. L'humus est le produit final du compostage et se compose de substances stables et peu biodégradables. Quand le compost est prêt, les particules qui le composent sont de petites tailles et homogènes. La texture du produit fini est homogène, sa couleur est brun foncé à noir (FAO, 2005). L'humification de la MOse déroule majoritairement en phase de maturation (Zbytniewski & Buszewski, 2005), et se traduit par une réorganisation et une condensation sous forme de macromolécules des constituants organiques non minéralisés. L'humus se forme principalement à partir de lignine, de polysaccharides et de composés azotés (Varadachari & Ghosh, 1984 ; Fustec et al., 1989 ; Inbar et al., 1989). Cette humification est difficile à mettre en évidence avec le suivi des fractions biochimiques seules (Sanchez-Monedero, 1999 ; Zbytniewski & Buszewski, 2005 ; Francou et al., 2008).

La durée de compostage est variable car elle dépend d'une multitude de paramètres biotiques et abiotiques dont certains ne peuvent être pleinement contrôlés. Pour des procédures similaires de compostage, les durées de compostage varient considérablement selon le climat. Dans le cas d'un compostage classique, certains auteurs retrouvent en milieu tropical des durées totales de compostage pouvant aller de 90 (Mitchell, 1996) à 180 jours (Sierra et al., 2013), alors qu'en milieu tempéré, la durée de compostage excède 300 jours pour des expérimentations menées au Danemark (Eiland et al., 2001) et en Espagne (Albuquerque et al., 2009), et plus de 500 jours en Suède (Eklind et al., 2000).

Le compostage est une alternative aux dépôts d'ordures réduisant la pollution de l'air dans certaines conditions et les émissions des gaz à effet de serre et générant des produits utiles (Cekmecelioglu et al., 2005 ; Adhikari et al., 2008 ; He et al., 2011). La forte minéralisation des composés organiques, les importantes pertes en eau permettent une réduction du volume des déchets d'environ 50% (Eklind & Kirchmann 2000) et du poids de 50 à 80% (Michel et al., 2004). Cela représente un fort avantage à la mise en œuvre de cette pratique dans les zones où les espaces dédiés au traitement des déchets sont limités par la pression démographique, notamment dans les états insulaires (Eckelman et al., 2014).

D'une manière générale, l'apport de compost au sol affecte positivement ses propriétés physiques et notamment sa capacité de rétention d'eau (Aggelides et al., 2000), en plus d'être une source d'éléments nutritifs pour les cultures (FAO, 2005).

#### I.4. Processus et population microbiologique au cours du compostage

Le processus de décomposition est entièrement assuré par des micro-organismes. Les bactéries et les actinomycètes (bactéries filamenteuses hétérotrophes) du compost sont de tailles 27 et de formes variables. Elles restent actives durant tout le processus de compostage et surtout pendant la phase de réchauffement. Elles jouent un rôle important dans la dégradation de la matière organique complexe comme la cellulose, la lignine, la chitine et les protéines. Certains micro-organismes apparaissent lors de la phase thermophile du compostage et d'autres durant la phase de refroidissement. La plupart des actinomycètes sont des hétérotrophes utilisant des molécules organiques préfabriquées, soit en les fermentant, soit en les oxydant. Lors des analyses réalisées sur les composts de déchets d'épluchures d'ananas, les coliformes totaux et les levures ont été les plus représentés (Azouma, 2011). Les micro-organismes de genre *Thermus* et *Bacillus* sont souvent rencontrés dans les tas à haute température (Beffa et al.,1996).

Les composts peuvent être colonisés par d'autres micro-organismes pathogènes pour l'homme tels que des bactéries comme *E. Coli*, de genres *Pseudomonas* et *Staphylococci*, des champignons comme *Aspergillus fumigatus* et de genre *Penicillium* ainsi que des virus de types Coxsackie-B-virus et Echo-virus (Beffa, 1996; Rabia et al., 2007).

#### I.5. Les différentes méthodes de compostage

##### I.5.1 Le compostage en andains

Il est utilisé par les Chinois depuis 1960 et consiste à placer le mélange de matières à composter en longs tas étroits appelés andains, remués ou retournés de façon régulière afin d'assurer une aération et de favoriser la dégradation aérobie. Les tas généralement rencontrés s'étalent sur 7 à 8 m de long pour 7m de haut. Plusieurs dispositifs permettent d'assurer le taux d'oxygène et on distingue les andains retournés, les andains aérés passivement, et les andains statiques aérés. Les andains sont aérés essentiellement par un mouvement passif ou naturel de l'air (convection et diffusion gazeuse). Le taux d'échange avec l'air dépend de la porosité de l'andain. Les systèmes d'aération sont divers et variés: retournements mécaniques, aération forcée ou pilotée, avec ou sans recirculation. L'apport d'oxygène réduit aussi l'humidité initiale (si elle est trop forte), améliore l'homogénéité du substrat et diminue une possible élévation de température. De nombreuses méthodes combinent les techniques des andains et des tas aérés dans le but de surmonter les faiblesses et exploiter les avantages de chaque méthode avec une durée de **compostage de 3 mois en moyenne**.

### **I.5.2. Le compostage en récipient clos**

Le compostage en récipient clos désigne un ensemble de méthodes qui confinent les matières à composter dans un bâtiment, un container ou un récipient. Ces méthodes sont basées sur l'aération forcée et des techniques de retournement mécanique qui visent à accélérer le processus de compostage. Parmi les méthodes de compostage en récipient, le compostage en casier est la plus utilisée et le compost est mature à moins de 3 mois.

### **I.5.3. Les lits rectangulaires remués**

Le compostage en lits rectangulaires est réalisé entre des murs qui forment de longs et étroits couloirs appelés lits. Un rail ou une saignée en haut de chaque mur supporte et guide un appareil assurant le retournement du compost produit. Un chargeur dépose les matières premières à l'extrémité frontale du lit. Au fur et à mesure de l'avancée sur les rails, le compost est retourné et reposé à l'arrière.

### **I.5.4. Le vermicompostage**

Le vermicompostage ou lombricompostage est réalisé via des vers de fumier (*Eisenia fetida*) (Mustin, 1987) qui se nourrissent des déchets. Le composteur est constitué de plusieurs compartiments pour permettre la migration des vers et faciliter ainsi la récolte du compost. L'aération de la litière est assurée par les galeries creusées par les vers.

### **I.5.5. Ajout d'adjuvants de compostage**

Les composts de déchets d'ordures ménagères présentent généralement des teneurs faibles en éléments minéraux essentiels tels que l'azote, le phosphore et le potassium (Hargreaves et al., 2008). Ainsi, afin d'augmenter leur potentiel fertilisant, certains auteurs se sont intéressés à l'ajout d'adjuvants naturels avant compostage: les phosphates naturels, les calcaires et les fumiers. Par ajout de phosphates naturels, Compaoré et al., (2010) et Koledzi (2011) ont respectivement multiplié par 5 et par 3 les teneurs en phosphore total pour atteindre des teneurs maximales de 4571 mgP/kgM.S. et 9700 mgP/kg M.S. dans les composts produits au Togo et au Burkina-Faso. Les teneurs en azote dans les composts peuvent également être améliorées par utilisation de fumier comme adjuvant de compostage, soit un taux d'amélioration en moyenne de 36% par rapport au compost sans fumier (Hodges, 1991; Woodbury, 1992; Compaoré et al., 2010; Toundou et al., 2014).

## I.6. Les phases du processus de compostage

### • La phase mésophile :( A)

C'est la phase initiale de compostage. Les matières premières sont envahies par les micro-organismes mésophiles indigènes (bactéries et champignons essentiellement) ; leur activité engendre une montée en température (de 10-15° c à 30-40° c) un dégagement important de CO<sub>2</sub> (d'où la diminution du rapport C/N ) ainsi qu'une acidification.

La dégradation de la cellulose durant cette phase est responsable de plus de 75% de la perte de poids sec

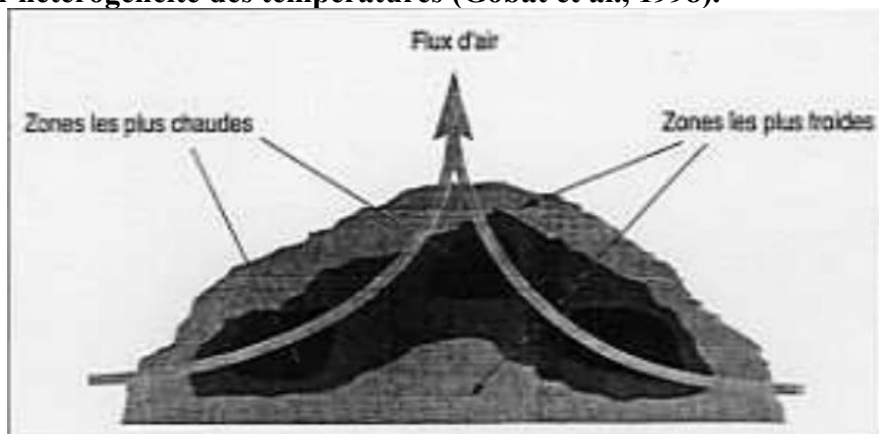
### • La phase thermophile : (B)

Elle est atteinte au centre du tas, à des températures élevées (de l'ordre de 60 à 70° c) pour les composts agricoles, auxquelles ne résistent que des microorganismes thermotolérants ou thermophiles (arrêt de l'activité des champignons développement des actinomycètes et des bactéries thermophiles).

Les pertes en azote, minéralisé sous forme ammoniacale (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) qui peut être volatilisé sous forme d'ammoniac (NH<sub>3</sub>) dans certaines conditions, ainsi que l'évaporation d'eau, sont plus importantes au cours de cette phase. La libération de CO<sub>2</sub> peut entraîner, à la fin des phases thermophiles, jusqu'à 50% de perte en poids sec.

Les hautes températures caractérisant la phase thermophile ne concernent que le centre du tas ( voir figure2).

**Figure 2 : Exemple d'une coupe d'un andain en phase thermophile, montrant l'hétérogénéité des températures (Gobat et al., 1998).**



Les matières présentes en bordure du tas doivent être reprises par un ou deux retournements. Après un retournement on observe la succession des 3 phases (mésophile, thermophile, de refroidissement) (ITAB, 2001d); les températures atteintes en phase thermophile sont cependant de moins en moins élevées au fur et à mesure des

retournements. Cette technique permet de s'assurer que tous les éléments du tas subissent les différentes phases de compostage afin que le produit final soit homogène et entièrement assaini.

- **La phase de refroidissement : (C)**

C'est la phase intermédiaire entre la phase thermophile et la phase de maturation. Elle prend fin avec le retour à la température ambiante. Le milieu est colonisé de nouveau par des micro-organismes mésophiles. Ils dégradent les polymères restés intacts en phase thermophile et incorporent l'azote dans des molécules complexes.

- **La phase de maturation : (D)**

Cette phase présente peu d'activités micro biologiques (recolonisation par des champignons) mais est adaptée à la colonisation par la macro-faune, en particulier les lombrics lorsque ceux-ci sont présents dans l'environnement du tas. Les matières organiques sont stabilisées et humifiées par rapport aux matières premières mises à composter.

Les trois premières phases sont relativement rapides par rapport à la phase de maturation. Leur durée ainsi que l'amplitude des variations dépendent cependant des matériaux de départ et des conditions techniques dans lesquelles s'effectue le compostage.

Les dates des retournements ne peuvent donc être fixées selon un calendrier précis, mais sont déterminées par la baisse de la température. La phase de maturation se prolonge a priori jusqu'à l'épandage du compost.

Il est impossible de définir une période de maturation puisque celle-ci dépend de la composition des matières premières. Il est cependant possible de distinguer les composts des déchets ligno-cellulosiques (les fumiers) qui peuvent être utilisés au bout de 6 semaines (la phase de maturation est alors très courte, voire inexistante), des composts de déchets ligneux (les déchets verts par exemple) qui ne sont utilisés en général qu'au bout de 6 mois.

## **I.7. Types de compostage**

Il existe deux types de compostage : le compostage à froid et le compostage à chaud.

### **I.7.1. Compostage à froid**

Consiste à accumuler petit à petit toutes sortes de déchets ménagers en couches peu épaisses dans une fosse. Au bout de quelques mois, il se développe de très nombreux organismes vivants (vers de terre, limaces, insectes, larves, etc.). La décomposition est souvent lente et incomplète. On obtient en fin de compte une masse

noirâtre et gluante. On peut améliorer le compostage à froid en mélangeant et retournant les déchets de temps en temps (DUPRIEZ et al, 1987).

### **I.7.2. Compostage à chaud**

Il ne diffère de celui à froid que par le volume de la matière à composter et du réchauffement du tas mis sur pied. Sa réalisation nécessite certaines conditions (DUPRIEZ et al., 1987)

## **I.8 Paramètres du compostage**

Le compostage est un phénomène naturel ayant lieu spontanément mais pour lequel le contrôle des conditions biologiques et physico-chimiques optimise le processus de dégradation et permet la production d'un compost de qualité. L'optimisation du processus nécessite la maîtrise de l'activité biologique des micro-organismes par régulation des conditions d'aération (taux d'oxygène lacunaire), d'humidité, de température et de pH (Finstein et Morris, 1975; Miller et al., 1989; Devisscher, 1997).

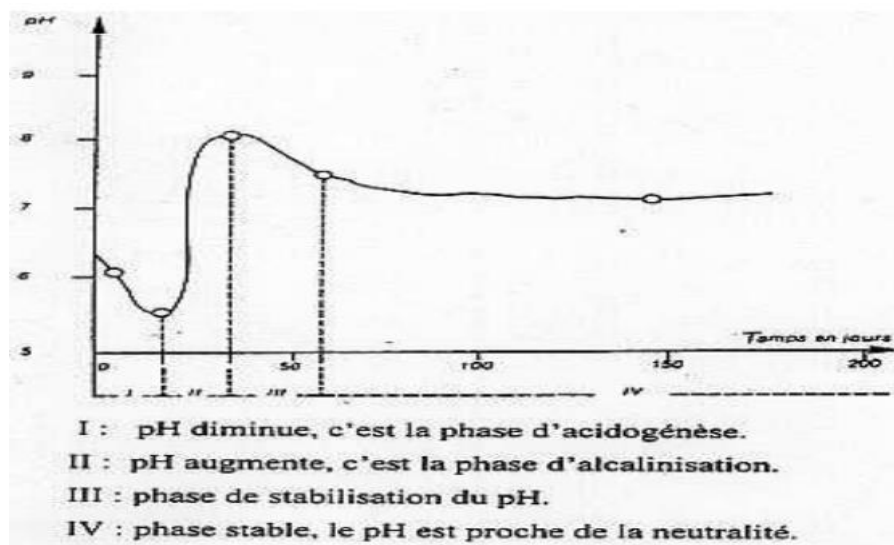
### **I.8.1. La température**

Le compostage étant un processus aérobie; le suivi de la température est un indicateur pertinent de l'activité microbienne et des températures élevées sont caractéristiques d'une activité microbienne importante. Le suivi de la température renseigne donc sur la qualité du processus de dégradation (Soudi, 2009) et permet si nécessaire d'adapter les conditions du système. En effet, la température optimale pour la dégradation des déchets se situe aux environs de 60°C. Cependant, par leur respiration, les micro-organismes dégagent une chaleur telle que des hautes températures (80°C voire même plus de 90°C dans un tas bien isolé) peuvent leur devenir létales. L'optimisation du processus consiste donc à veiller à ne pas dépasser une température de 70°C mais en respectant des températures supérieures à 55°C qui permettent une bonne hygiénisation (Soudi, 2009; Kolezi, 2011). Cependant, ces variations de température sont assujetties aux autres conditions physico-chimiques du milieu telles que l'aération et l'humidité, paramètres importants dans le développement des différents micro-organismes impliqués dans le processus. En fin de processus de compostage, la température reste un indicateur pertinent de la maturité du compost (Soudi, 2009). En effet, une stabilisation de la température est caractéristique d'un arrêt de l'activité biologique de dégradation.

### **I.8.2. Le pH**

Le suivi du pH est un indicateur du degré de décomposition biologique et biochimique des déchets à composter. En effet, au cours de la dégradation aérobie, deux phases distinctes caractérisées par des variations de pH se succèdent: une phase acidogène suivie d'une alcalinisation (Figure 3). La phase d'acidogénèse se produit au début du processus de dégradation et est caractérisée par une diminution du pH vers des valeurs voisines de 6

(Attrassi et al., 2010, Compaoré et al., 2010). Cette diminution du pH est la conséquence de la production d'acides organiques et de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) par les bactéries acidogènes à l'origine de la décomposition du matériel organique complexe. La phase d'alcalinisation est alors caractérisée par une hydrolyse bactérienne de l'azote avec production d'ammoniac associée à la dégradation des protéines et à la décomposition d'acides organiques (Haug, 1993). Sans adjonction de tampon, le pH se situe donc entre 6 et 8 (Mustin, 1987), en fonction de la nature du substrat d'origine. Par contre, tout au long d'un processus de dégradation aérobie, le pH des suspensions solides de déchets se situe entre 5 et 8 et peut même atteindre 9 (Yu et al., 2009).



**Figure 3: Courbe de variation du pH au cours du compostage (Mustin, 1987)**

### 1.8.3. L'humidité

La teneur en eau ou humidité du compost conditionne l'activité des micro-organismes et donc la vitesse de dégradation de la matière organique. Selon Mustin (1987) et Liang et al.(2003), l'humidité est le paramètre le plus influent du processus de compostage. La teneur optimale dépend de la densité du milieu et donc de l'état physique et de la nature du substrat. Ce paramètre est conditionné par deux phénomènes se produisant au cours du processus de dégradation: la libération d'eau lors de la décomposition de la matière organique d'une part et l'évaporation de l'eau sous l'effet de la chaleur libérée par la fermentation d'autre part. La teneur en eau optimale est comprise entre 40 et 60% de la matière fraîche (Mustin,1987). Une humidité inférieure à 20% inhibe la décomposition de la matière organique. Au contraire, des valeurs supérieures à 70% entraînent une diminution des échanges d'oxygène et des conditions favorables à l'anaérobiose s'installent car l'eau remplit les espaces lacunaires. L'arrosage de la masse en fermentation permet de maintenir un taux d'humidité de 50 à 70%. Les conditions météorologiques influencent également le taux d'humidité dans le tas. Des systèmes de couverture, toiture ou bâche sont donc

souvent utilisées pour limiter l'impact de pluies intenses ou de périodes fortement ensoleillées sur le processus de dégradation. En fin de processus, un produit sec facilite son conditionnement mécanique.

Ces trois paramètres, pH, température et humidité, sont interdépendants et difficilement dissociables lors du suivi du compost en cours de dégradation. Certains auteurs définissent des valeurs optimales pour chacun de ces paramètres alors que d'autres préfèrent étudier les effets combinés de deux paramètres (Liang et al., 2003). Dans tous les cas, les paramètres sont considérés comme optimaux lorsqu'ils permettent une hygiénisation du produit et une vitesse de dégradation rapide; et leurs valeurs sont fonction de la nature du substrat et des conditions de mise en œuvre du procédé.

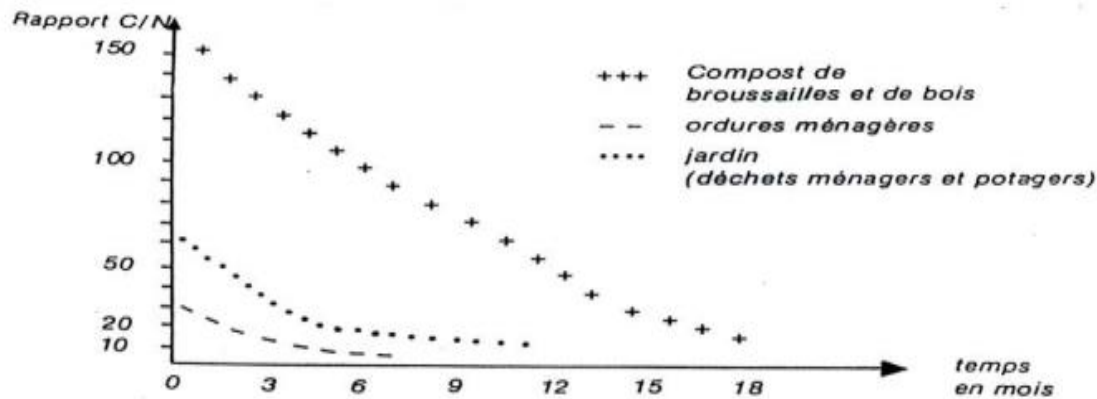
#### **I.8.4. L'aération**

L'oxygène est utilisé par les micro-organismes lors de la respiration aérobie et l'oxydation des substances organiques. Sa présence est donc indispensable lors du processus de compostage pour maintenir les conditions aérobies nécessaires à une décomposition rapide et inodore. La teneur en oxygène lacunaire représente le pourcentage d'oxygène dans l'air des vides entre les particules de compost. Ce taux est fonction de la granulométrie et de l'humidité des particules. Selon Puyuelo et al. (2010), le taux minimal d'oxygène dans les espaces lacunaires d'un andain en fermentation doit être de 5% et au fur et à mesure de la dégradation, le besoin en oxygène diminue. Si la teneur en oxygène est trop faible ou la masse à composter trop compacte, les conditions favorables à l'anaérobiose s'installent. Les systèmes d'aération les plus fréquemment rencontrés sont les retournements mécaniques, les systèmes d'aération forcée ou pilotée, avec ou sans recirculation. De tels systèmes influent également sur d'autres paramètres par diminution de l'humidité initiale, amélioration de l'homogénéité du substrat et contrôle de la température.

#### **I.8.5. Rapport C/N**

Lors du processus de compostage, la décomposition de la MO se traduit par une consommation de l'azote et du carbone et donc par une diminution du rapport C/N (Bernal et al., 1998). En effet, les micro-organismes utilisent le carbone des matières organiques comme source d'énergie à travers des oxydations dites métaboliques et l'azote comme source protéique. Cependant, l'évolution dépend du taux de matière organique du substrat à composter et de sa teneur en azote. L'évaluation initiale du rapport C/N est donc primordiale pour optimiser le mélange à composter et ajouter la quantité d'éléments déficitaires afin d'assurer une dégradation idéale et homogène sur l'ensemble du processus. L'évolution du rapport C/N de différents substrats compostés est présentée Figure 9. Le rapport C/N des composts de broussailles et de bois est plus élevé que ceux d'ordures ménagères et de déchets potagers (Figure 4). Plus ce rapport est élevé, plus le déchet en compostage est riche en matière organique. Le rapport C/N est donc

un facteur nutritionnel important dont la valeur optimale est définie par de nombreux auteurs et dépend des caractéristiques initiales du substrat à composter. Par exemple, selon Chitsan et al. (2008), cette valeur optimale se situe entre 19 et 20 alors que d'autres auteurs proposent un rapport C/N entre 25 et 30 (Godden, 1995) pour des composts de déchets et entre 25 et 45 pour des ordures ménagères hétérogènes (Bernal et al., 1998). Si ce rapport est supérieur à 35, la dégradation de la matière est ralentie par manque d'azote. Au contraire s'il est inférieur à 15, l'excès d'azote est perdu par volatilisation sous forme d'ammoniac entraînant ainsi une diminution du pH.



**Figure 4: Evolution du rapport C/N de différents substrats au cours du compostage (Hafidi, 2011)**

### 1.9. Le métabolisme du carbone et de l'azote durant le processus de compostage

Pour la pratique du compostage, le carbone et l'azote sont les principales ressources de la croissance bactérienne. Les bactéries oxydent le carbone comme source d'énergie et incorporent l'azote pour la synthèse protéique (Fourti, 2013). Trois types de réactions interviennent dans le métabolisme du carbone (Golueke, 1991) :

- la respiration des microorganismes, source d'énergie pour leur propre métabolisme,
- l'assimilation par les microorganismes, matériel de base pour la synthèse de molécules,
- la réorganisation du carbone, due à l'activité des microorganismes.

Ces trois types de réactions conduisent à la diminution des composés carbonés facilement dégradables qui se transforment progressivement en molécules de plus en plus résistantes à la dégradation. Au début, les sources de carbone soluble et facilement dégradables telles que les monosaccharides, l'amidon, les acides organiques et les lipides sont utilisés par les microorganismes. L'activité métabolique élevée et le processus exothermique augmentent la température dans la masse en compostage. La sélection des micro-organismes s'opère alors par la température. Les hémicelluloses

sont attaquées par les bactéries et actinomycètes les plus thermorésistants (Waksman & Cordon, 1939). Les celluloses sont également attaquées, à condition que la température ne dépasse pas les 60°C (Beffa et al., 1995). Durant la phase de refroidissement puis durant la phase de maturation, les populations microbiennes évoluent, ainsi les champignons tirent bénéfices de la diminution de la température et de l'humidité au sein du tas, leur activité métabolique est fondamentale à l'humification de la MO et à la production de composés aromatiques (de Bertoldi et al., 1983).

A l'initiation du processus de compostage, l'azote se trouve présent dans les constituants cellulaires et dans les molécules telles que l'urée, l'ammonium. D'une manière générale, l'ensemble des réactions du cycle de l'azote : nitrification, dénitrification, fixation, minéralisation ou ammonification, semble pouvoir se dérouler au cours du compostage. Ainsi Beffa et al. (1995) mentionnent que pendant les phases de refroidissement et de maturation, les micro-organismes pourraient fixer de l'azote atmosphérique avec production d'ammonium suivie d'une production de nitrate. Cela est a priori possible en milieu pauvre en ammonium.

#### **I.10. Les êtres vivants et le compostage :**

Les êtres vivants actifs dans le processus de compostage sont de deux types : microorganismes et macroorganismes. 95% de l'activité du tas de compost due aux microorganismes est réalisée par les bactéries, les champignons et les actinomycètes.

Bactéries et champignons sont responsables de l'accroissement de la température en phase mésophile, alors que les actinomycètes interviennent davantage en phase thermophile. Les bactéries, présentes dans la matière première, dominent en quantité et en diversité. Les champignons ont la possibilité de consommer les éléments non transformés par les bactéries, ils sont inactifs au-delà d'une température de 55°C et se trouvent donc principalement en périphérie du tas ou en phase de basses températures. Les actinomycètes s'attaquent aux structures très résistantes (cellulose, lignine). Il existe aussi des champignons ligninolytiques. 5% de l'activité du tas de compost est l'œuvre d'algues chlorophylliennes (dans les 10 premiers centimètres du tas, à pH neutre et humidité élevée) et de cyanophycées, fixatrices d'azote atmosphérique (Godden, 1986 ; Zeglès et Masscho, 1999).

Les macro-organismes interviennent lorsque la température est inférieure à 40°C, c'est à dire essentiellement des lombrics mais aussi de nombreuses espèces d'insectes, acariens, gastéropodes, myriapodes, cloportes etc. (Zeglès et Massch).

Type d'organisme vivant	Nombre par kilogramme de compost
Bactérie	De 1 milliard à 10 milliards
Actinomycètes	De 1 million à 100 millions
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

**Tableau 1 : Quantité d'êtres vivants intervenant à un moment ou à un Autre pendant le compostage (Zeglels et Masscho,1999)**

Groupes	Caractéristiques et commentaires	Nombre estimé d'espèces dans les composts
Bactéries	<ul style="list-style-type: none"> <li>- toujours présente dans les composts et largement dominantes en qualité et en quantité.</li> <li>- Forte croissance si C/N est faible et l'humidité est élevée.</li> <li>- Large spectre d'activité sur une large gamme de pH.</li> </ul>	800 à 1000 espèces au minimum
Champignons	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dominants si C/N est élevé ( dégradation de la cellulose et de la lignine)</li> <li>- Capable de croître avec des taux d'humidité plus bas.</li> <li>- Tolérance d'une large gamme de pH(2-9)</li> </ul>	Plusieurs dizaines de millier d'espèces.
Actinomycètes	<ul style="list-style-type: none"> <li>- attaquent des substances non dégradées par les bactéries et les champignons.</li> <li>- Neutrophiles</li> <li>- Développement dans les phases finales du compost</li> </ul>	Plusieurs dizaines d'espèces.
Algues	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Organismes chlorophylliens</li> <li>- Retrouvés en surface et dans les premiers centimètres de la couche superficielle.</li> <li>- Utilisant des sels minéraux</li> </ul>	Idem
Protozoaires	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Grand groupe hétérogène d'unicellulaires mobiles de petites tailles.</li> <li>- Besoin d'un milieu humide</li> </ul>	Plusieurs dizaines d'espèces
Cyanophycées	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Procaryotes proches des bactéries.</li> <li>- Abondance avec une activité des bactéries</li> </ul>	Plusieurs dizaines d'espèces.

**Tableau2 : Flores contribuant au compostage (Mustin,1987).**

### I.11. Evolution des éléments chimiques et biochimiques :

L'évolution est rapide : en quelques semaines, plus de la moitié des matériaux de départ sont transformés.

- Les sucres simples, fractions solubles contenant du carbone, et les liquides, sont presque intégralement dégradés dès la phase mésophile.
- La cellulose est dégradée pendant la phase mésophile thermophile, et de refroidissement, par des champignons (tels que les *Penicillium* et les Mucorales), des bactéries et des actinomycètes. Ces deux composés donnent des sucres utilisés par les micro-organismes comme source d'énergie.
- La lignine subit une biotransformation sans être dégradée en petites molécules (comme la cellulose qui est dégradée en glucose), avec inclusion d'azote dans les cycles, et déméthylation des fonctions méthoxyl (Godden et al.,1992). Dans une litière naturelle

(premiers centimètres du sol), la ligninolyse est opérée essentiellement par certains champignons ne se développant pas à des températures élevées. Elles n'interviennent donc pas durant la phase thermophile du processus. Il s'ensuit une conservation de la lignine, très favorable à la qualité du compost, la lignine étant un précurseur des substances humiques (Gobat et al., 1998)

- Les phosphates, présents dans les déchets à composter, ou ajoutés à faible dose avant (sur la litière des animaux) ou en cours du compostage, sont incorporés, lors du processus, à des molécules organiques, ce qui peut améliorer leur pouvoir fertilisant s'il s'agit de phosphates insolubles.
- Le potassium, le calcium, le magnésium, le soufre, sont contenus en quantités généralement suffisantes pour les besoins de la majorité des sols. Concernant les pertes de potassium pendant le compostage, on observe de très fortes différences en fonction du type de fumier.

En effet les pertes en potassium sont essentiellement dues au tassement des fumiers pendant le compostage et donc liées au manque de structure, c'est à dire de pailles, des fumiers. Ce rapport paille/déjections s'exprime au travers du rapport carbone/azote. Pour des C/N de 35, les pertes en potassium sont pratiquement nulles (Godden, 1995).

- Le soufre peut être réduit en phase thermophile en hydrogène sulfuré par les bactéries sulforéductrices qui se développent jusqu'à 80°C. L'hydrogène sulfuré est ensuite réoxydé en sulfate dans le sol. Si le tas de compost présente des zones mal aérées, il peut cependant être perdu sous forme de H<sub>2</sub>S gazeux (Gobat et al., 1998).
- L'azote organique est minéralisé sous forme ammoniacale (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), qui se trouve en général rapidement incorporé dans la biomasse microbienne, avec en parallèle assimilation de carbone. Cette dégradation a lieu durant la phase thermophile, d'où des risques de volatilisation d'ammoniac au cours de cette phase. Pendant le refroidissement, une partie est oxydée par les bactéries nitrifiantes dès que la température devient inférieure à 45°C. Une partie de l'azote va réagir avec des sucres et autres composés carbonés pour se retrouver dans les composés humiques. L'azote peut être perdu sous forme de N<sub>2</sub> si le tas renferme des zones anoxiques ou de protoxyde d'azote, même si les quantités sont faibles, ou encore de NH<sub>3</sub> (Gobat et al., 1998).

### 1.12. Influence des paramètres physico-chimiques lors du compostage

Les facteurs qui influencent le métabolisme microbien sont ceux qui conditionnent le compostage. Selon Bernal et al. (2009), ces facteurs s'organisent en deux groupes, ceux liés à l'élaboration du mélange à composter (équilibre des nutriments, pH, taille des particules, porosité et humidité) et ceux liés à l'entretien du processus (concentration en oxygène, température et contenu en eau) (Oudart et al., 2012). Les deux groupes

de facteurs étant fortement liés, en effet la nature du mélange à composter influence l'entretien du processus.

\* Le substrat à composter doit avoir une composition équilibrée, particulièrement pour les éléments majeurs C, N, P, K (Mustin, 1987). D'une façon générale, les rapports en éléments majeurs et plus précisément le rapport C/N est utilisé pour définir la qualité d'un substrat (Wei & al., 1999). Les substrats étant les uniques sources de nutriments pour les microorganismes, suivant leur composition, les activités microbiennes s'ajustent sur les facteurs limitants. Un C/N trop élevé indique une carence en N par rapport à un excès de C entraînant un ralentissement du processus de compostage, alors qu'un C/N trop faible indique un excès de N susceptible d'entraîner des pertes importantes en N par volatilisation ou par lessivage des nitrates (Barrington et al., 2002, Paredes et al., 2002). Selon Haug (1993), un rapport C/N compris entre 25 et 35 permet un compostage optimal. Néanmoins plus que les teneurs totales en C et en N, c'est la structure biochimique des molécules qui influence la vitesse de dégradation de la MO (Francou et al., 2008). Un composé riche en sucre et en hémicellulose sera facilement biodégradable, alors qu'un composé riche en cellulose et lignine sera plus difficilement biodégradable car il est composé de macromolécules fortement polymérisées et difficiles à décomposer (Morel et al., 1986).

\* Le processus de compostage peut être contrôlé par la maîtrise de l'aération du retournement et de l'arrosage. Ces facteurs doivent être pris en compte simultanément, en effet la génération de chaleur métabolique, la température, la ventilation et l'humidité sont quatre facteurs interconnectés lors du processus de compostage (Strom, 1985).

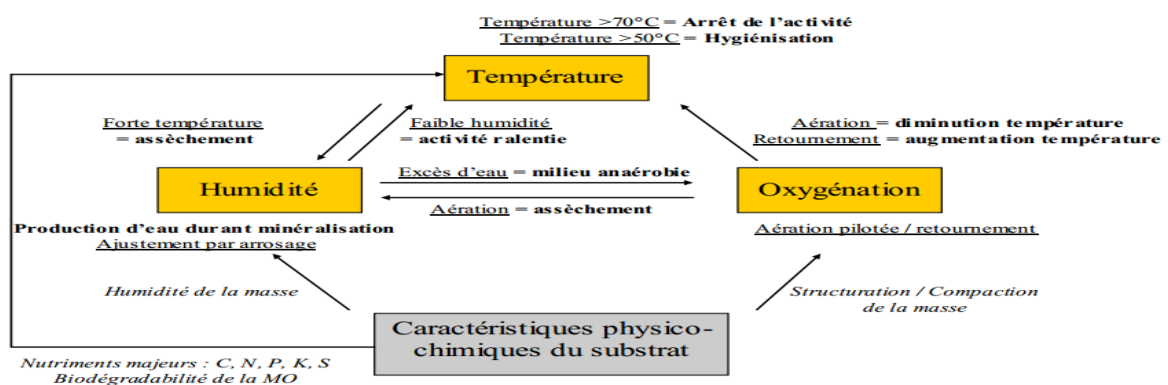


FIGURE 5: Influence des paramètres physico-chimiques lors du compostage (adapté de Lashermes, 2010)

Le compostage aérobique nécessite une bonne oxygénation, et notamment au démarrage du processus (FAO, 2005). Le compostage est un processus se déroulant en continu, si l'aération dans le mélange n'est pas maintenue, l'oxygène peut devenir un facteur limitant

(Yulipriyanto, 2001). En effet une concentration moyenne en oxygène dans le mélange inférieure à 15% entraîne la prédominance de populations microbiennes anaérobies par rapport aux populations microbiennes aérobies (McClintock, 2004). Dans des conditions de mauvaise oxygénation, l'apparition de mauvaises odeurs est liée à la présence d'acides gras dans le mélange (Druihle et al., 2002). Selon le type de compostage pratiqué, des stratégies d'aération peuvent être mises en place pour favoriser l'oxygénation et la montée en température, et d'autre part limiter les émissions azotées (De Guardia et al., 2009). Dans le cas de procédés industriels de fabrication, une aération forcée est souvent mise en place, permettant de maintenir l'oxygénation à un taux optimal (18%) pour le fonctionnement des populations microbiennes (de Bertoldi et al., 1983), dans ces conditions, le processus s'effectue plus rapidement. Lors du compostage en tas ou andain, la pénétration de l'oxygène au sein du tas est liée à sa taille. Une bonne structuration du compost résulte du mélange initial (p.ex. la granulométrie, la porosité, la résistance au tassement et l'humidité) assure une aération passive (Eftoda & McCartney, 2004). Le retournement est souvent pratiqué pour permettre un renouvellement de l'air au sein du tas (Gomez-Brandon et al., 2008). Le retournement assure en plus d'une aération suffisante au sein du tas d'autres fonctions durant la phase oxydative du processus telles que l'homogénéisation de la masse compostée et la diminution de la compaction du substrat (Gomez-Brandon et al., 2008). Après le retournement, l'activité microbienne est relancée (Druihle et al., 2002) permettant ainsi une nouvelle élévation de la température. Lorsque le retournement ne provoque plus d'augmentation de la température, cela marque la fin de la phase oxydative (FAO, 2005). L'activité des populations microbiennes qui effectuent le compostage nécessite une humidité ou teneur en eau minimale pour être efficace (Mustin, 1987). L'eau joue un rôle crucial dans le transport des éléments nutritifs pour l'activité métabolique et physiologique des micro-organismes (Tiquia et al., 2005). Le maintien d'une valeur optimale d'humidité s'effectue par des arrosages fréquents, que l'on ajuste tout au long du processus (Bernal et al., 2009), en effet la teneur en eau a tendance à augmenter par libération d'eau métabolique par les micro-organismes et à diminuer sous l'action conjuguée de la montée en température, de l'aération et du retournement (Yulipriyanto, 2001). La teneur optimale en eau d'un compost varie selon le substrat utilisé, en moyenne cette teneur doit se situer entre 50-60% (Gajalakshmi & Abbasi, 2008).

### **I.13 .Le suivi du compostage**

Certains indicateurs présentent un réel intérêt pendant le compostage, et permettent de s'assurer du bon déroulement du processus. Dus à l'hétérogénéité qui se développe lors du compostage en tas à aération statique, les résultats des analyses chimiques peuvent refléter cette hétérogénéité, cependant les indicateurs sont utiles pour identifier des niveaux généraux de maturité et ainsi effectuer la comparaison avec les référentiels en place. Les variables de suivi direct les plus communes sont : la température, le pH. L'évolution de la température traduit l'activité microbienne relative à la décomposition

de la MO. Stentiford (1996) a montré que les températures opérationnelles pour maximiser l'hygiénisation (où les hautes températures sont efficaces) et la stabilisation (où les hautes températures inhibent le processus), et suggère que des températures supérieures à 55°C maximisent l'hygiénisation, de 45 à 55°C maximisent le taux de dégradation, et de 35° à 40°C maximisent la diversité microbologique. Dans le cas d'utilisation de déchets pouvant contenir des éléments indésirables tels que des organismes pathogènes, des graines d'adventices ou des éléments traces métalliques, le processus du compostage permet l'hygiénisation du compost, c'est-à-dire la destruction par la chaleur des germes et parasites vecteurs de maladies, ainsi que des graines adventices (Yulipriyanto, 2001). L'augmentation de la température est un paramètre indispensable pour la qualité du compost et son innocuité. Cependant des températures plus faibles peuvent conduire aux mêmes résultats. Ndegwa & Thompson (2001) montrent qu'un substrat ayant atteint des températures supérieures ou égales à 55°C durant 3 jours est hygiénisé et ne présente plus aucune toxicité ou éléments indésirables.

Le pH optimal pour le compostage se situe entre 5.5 et 8.0 (de Bertoldi et al., 1983 ; Miller, 1992), avec une activité microbienne supportant des pH proche de 9. Ainsi le pH n'est pas un variable essentielle dans la mesure où la plupart des substrats utilisés ont un pH compris dans les gammes de valeurs citées ci-dessus. Cependant le pH est un facteur important pour le contrôle des pertes d'azote via la volatilisation de l'ammonium qui peut être élevée pour de pH supérieurs à 7.5. Certains auteurs ne tiennent pas compte du pH comme un paramètre adapté pour évaluer la maturité d'un compost, (deNobili & Petrusi, 1988), mais peut permettre de comprendre l'évolution des pertes d'azote par volatilisation.

#### **I.14. Objectifs du compostage**

La mise en décharge étant interdite pour de nombreux bio-déchets (sauf les déchets ultimes), leur incinération coûteuse et peu populaire, le compostage devient de plus en plus une solution pratique, simple. Elle présente de nombreux avantages, le principal étant la valorisation des déchets pour la production d'un amendement organique stable. En effet, le champ d'application du compostage s'est élargi avec l'évolution des techniques de compostage et la problématique de gestion collective des déchets ménagers. Cette filière concerne tous types de déchets organiques tels que les déchets verts, les bio-déchets ménagers, les boues de stations d'épuration collectives ou industrielles, les déchets agroalimentaires, les effluents d'élevage...

##### **I.14.1 Effets physico-chimiques du compost sur les sols**

De nombreuses études ont montré le rôle bénéfique du compost sur les qualités physiques et chimiques des sols amendés. Par exemple, une amélioration des propriétés physiques, une augmentation de la conductivité hydrique et une diminution de la

densité des sols ont été observées par Wonget al. (1999). De même, l'incorporation de compost au sol s'avère efficace pour lutter contre la dégradation de la surface du sol (Bressonet al. , 2001). Pagliaiet al. (2004) ont montré que l'ajout de compost dans un sol améliore sa porosité et sa structure. Les amendements en matière organique stable augmentent le pouvoir tampon et la capacité d'échange des sols, deux paramètres qui conditionnent la nutrition minérale des plantes (Mustin, 1987). De plus, l'incorporation de composts permet de réduire l'acidité du sol, et de diminuer ainsi les risques d'exportation des métaux vers la plante (Bolan et al. , 2003).

#### **I.14.2 Valorisation agronomique des composts par apport d'éléments fertilisants**

Un constat général est la chute du taux de matière organique et donc l'appauvrissement des sols cultivés par excès d'utilisation d'engrais minéraux solubles (Bresson et al. , 2001). Le premier intérêt des amendements organiques est donc une diminution de la part de ces engrais lixiviables et leur remplacement par des déchets organiques valorisés.

Les applications de compost dans les sols améliorent durablement et efficacement la fertilité du sol selon les travaux de Guittonny-Larchevêque (2004). De même, cet auteur a montré que les amendements de composts favorisent le processus de reforestation en améliorant la nutrition et la croissance des plantes, et surtout en augmentant leur potentiel de survie en période de sécheresse.

La valorisation agronomique des composts est aussi souvent comprise comme étant l'apport d'éléments fertilisants. Les substances organiques sont caractérisées par trois éléments principaux: Carbone, Hydrogène et Oxygène représentant en masse plus de 90 % du résidu sec des végétaux. Cependant, de nombreux autres éléments font partie des éléments nutritifs majeurs pour les plantes. Ceux-ci sont classés en deux groupes: les macro-éléments tels que l'azote, le phosphore, le potassium, le soufre, le calcium et le magnésium présents à des proportions de quelques pour mille à quelques pour cent de la matière sèche et les éléments nutritifs secondaires ou oligo-éléments (proportion inférieure à 0,1 % de la matière sèche). Nous nous intéresserons plus particulièrement à trois d'entre eux: l'azote, le phosphore et le potassium. Cependant, les rôles principaux des autres éléments nutritifs sont résumés dans le Tableau 3.

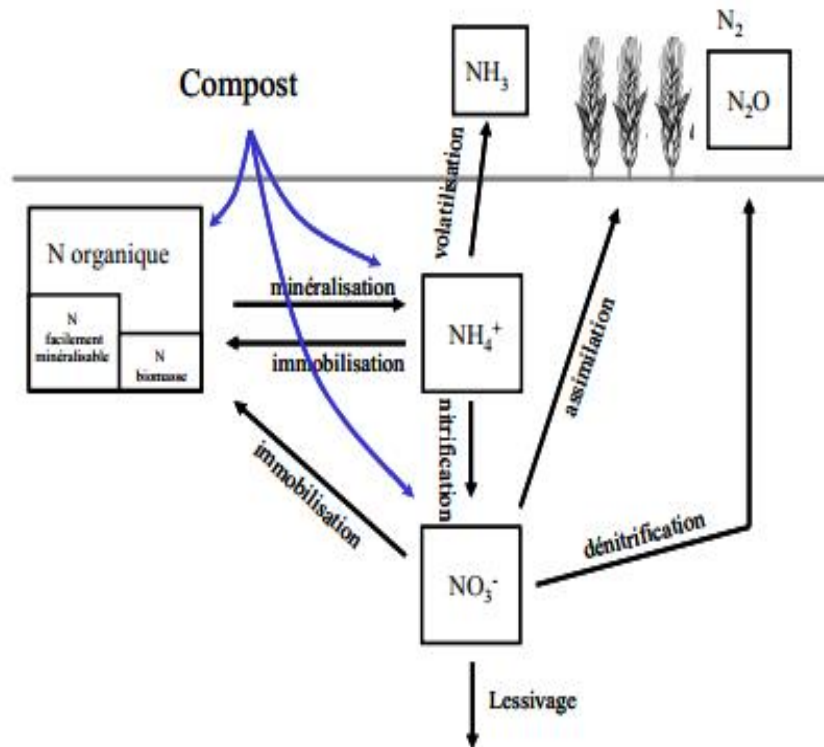
Eléments	Proportions	Rôles
<b>Macro-éléments</b>		
Calcium	1 à 2 % MS	Forme facilement des chélats, diminue la perméabilité cellulaire, contrôle l'ouverture de canaux ioniques transmembranaires, active certaines enzymes, rôle de messenger secondaire de certaines hormones
Magnésium	0,1 à 0,7 % MS	Constituant de la chlorophylle, active de nombreuses enzymes
Soufre	0,1 à 0,6 % MS	Constituant de composés organiques soufrés. Carence en S est très sévère et provoque une chlorose (disparition de la chlorophylle)
Sodium	Taux variables	Rôle sur la pression osmotique (algues) mais pas toujours indispensable (certaines plantes en C4 n'en exigent pas: maïs, sorgho, canne à sucre...)
Chlore	Taux variables	Rôle dans la turgescence cellulaire (avec K <sup>+</sup> ), nécessaire à la photosynthèse
Silicium	Taux variables	Inutile pour la plupart des plantes sauf pour les Gramminées et quelques autres végétaux
<b>Oligo éléments</b>		
Fer	< 0,1 %	Catalyseur biochimique: constituant des groupements prosthétiques (hèmes), constituant des protéines Fer-soufre
Cuivre	< 0,1 %	Constituant de la cytochrome oxydase (fin de chaîne respiratoire), des phénol oxydases, de certains transporteurs d'électrons (photosynthèse) et de la superoxyde dismutase (destruction de l'ion superoxyde : très toxique)
Molybdène	< 0,1 %	Impliqué dans la réduction des nitrates et de l'azote atmosphérique
Zinc	< 0,1 %	Cofacteur de plusieurs enzymes (phosphatase alcaline, carboxypeptidase...)
Bore	< 0,1 %	Contribue à l'intégrité de la paroi en stabilisant les chélats calciques, rôle dans les transports
Manganèse	< 0,1 %	Rôle dans diverses oxydo-réductions

**Tableau3 : Rôles des éléments minéraux**

### Azote (N)

L'azote est l'élément fondamental de la production végétale, le « pivot de la fertilisation ». Sa disponibilité détermine le rendement. Il entre dans la composition de très nombreux éléments essentiels à la vie cellulaire : acides aminés, acides nucléiques... Le cycle de l'azote consiste en la transformation des formes de l'azote assurés par les microorganismes du sol. L'azote minéral représente généralement moins de 5 % de l'azote total du sol et se trouve sous forme de nitrate (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) et d'ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) selon Robert (1996). L'azote organique est minéralisé en NH<sub>4</sub><sup>+</sup> par ammonification, puis nitrifié en NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. L'ammonification est réalisée par des micro-organismes variés alors que la nitrification n'est opérée que par certains micro-organismes plus spécifiques, tels que des bactéries des genres *Nitrosomonas* et *Nitrobacter*. L'azote minéral (NO<sub>3</sub><sup>-</sup> et NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) est susceptible d'être ensuite assimilé par les plantes, ou immobilisé dans la biomasse microbienne du sol. Le cycle simplifié de l'azote est résumé dans la Figure 6.

La quasi-totalité de l'azote du sol est sous forme organique (Mustin, 1987). Cependant, la matière sèche des composts de déchets municipaux pouvant contenir jusqu'à 0.15% d'azote minéral (ADEME, 2000), leur incorporation au sol peut entraîner une augmentation immédiate de l'azote minéral du sol (Amlinger et al., 2003). Par ailleurs, Fortuna et al. (2003) ont mis en évidence une augmentation du potentiel de minéralisation de l'azote du sol après application de compost et l'ont expliqué par l'ajout d'azote fixé aux substances humiques formées pendant le compostage.



**Figure 6: Schéma du cycle de l'azote lié à un apport de compost d'après Francou (2003)**

#### Phosphore (P)

Les plantes prélèvent le phosphore sous forme d'ions  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  et  $\text{HPO}_4^{2-}$ . Le phosphore intervient dans la constitution de certains éléments structuraux essentiels à la vie cellulaire (acides nucléiques, phospholipides), dans les échanges d'énergie (phosphorylation d'un composé organique) et dans de très nombreuses réactions métaboliques (réactivité de substrats ou changement de conformation réactionnelle de coenzyme). La disponibilité du phosphore apporté par le compost dépend de la nature du sol. En effet, le phosphore peut être immobilisé par adsorption sur des oxydes de fer et d'aluminium ou précipité lorsqu'une grande quantité est apportée. Un équilibre s'établit entre le phosphore minéralisé et le phosphore immobilisé, entraînant des disponibilités du phosphore très variables selon le type de sol (nombre de sites d'adsorption, pH). Testeret al. (1979) ont montré que l'apport de phosphore extractible par un même compost est très différent suivant le sol amendé.

#### Potassium (K)

Le potassium est absorbé par les plantes sous la forme ionique ( $\text{K}^+$ ), très mobile, dissout dans le liquide intracellulaire, notamment la vacuole, où il s'accumule à des

concentrations jusqu'à trois cents fois supérieures à celles du milieu environnant. Son abondance et sa mobilité en font le cation le plus important pour la création de la pression osmotique et donc de la turgescence vacuolaire. Les flux de potassium jouent un rôle important dans le contrôle des mouvements de cellules ou d'organes (ex. ouverture des stomates). De plus, il accompagne les anions dans leur accumulation et leur migration, notamment les ions  $\text{NO}_3^-$  jusqu'à leur réduction (racine ou feuille). Les ions  $\text{K}^+$  s'échangent, aussi, facilement contre les ions  $\text{H}^+$  émis par les pompes à protons, leur permettant de fonctionner en continu. En plus de l'influence de son abondance, s'ajoute un rôle d'activation de nombreuses enzymes et un rôle déterminant dans la synthèse des protéines et des polysaccharides (accumulation d'acides aminés et d'oses lors de carence en  $\text{K}$ ). L'apport de potassium par le compost est généralement faible. Chen et al. (1996) ont mesuré une concentration variant de 4 g / kg de MS pour les composts de boues, ce qui peut être limitant dans le cas d'un faible apport aux sols, jusqu'à 17g / kg de MS pour les composts de fumier.

Le compost de fumier est alors un bon fertilisant potassique et risque même de présenter un excès pour les plantes et d'engendrer un déséquilibre  $\text{K}^+/\text{Mg}^+$ . Mais à l'inverse de l'azote et du phosphore, sa disponibilité est très grande, puisque pratiquement tout le potassium est disponible (Francou, 2003).

#### **I.14.3. Amélioration des aspects biologiques des sols amendés**

Plusieurs travaux ont montré que les activités enzymatiques sont stimulées par l'ajout d'amendements organiques dans les sols (Serra-Wittlinget al. , 1996; Crecchio et al. , 2004). Pascualet al. (1998) ont montré qu'un amendement organique suffisamment important dans un sol semi-aride augmente significativement les activités enzymatiques pendant au moins 360 jours. En revanche, l'ajout d'amendements organiques immatures produit l'effet inverse i.e. une diminution initiale de ces activités.

L'addition de compost mature dans un sol améliore la qualité du sol et favorise le développement végétal, mais réduit aussi le nombre de maladies occasionnées par les pathogènes issus du sol (Erhart et al. , 1999; Cotxarrera et al. , 2002).

#### **I.14.4. Effets réducteurs des amendements organiques**

L'addition d'amendements organiques permet une réduction de sols pollués, en luttant notamment contre la toxicité saline (Tejada et al. , 2006). De même, Guittony-Larchevêque (2004) a montré que l'épandage de compost est capable de diminuer, à court terme, le possible stress toxique qu'exercent le nickel ( $\text{Ni}$ ) et le zinc ( $\text{Cr}$ ) sur les végétaux dans un sol pollué. En effet, même si l'apport de compost constitue une source exogène d'éléments traces métalliques (ETM), il constitue un milieu nutritif pour les racines des végétaux (humus) plus dilué en  $\text{Ni}$  et  $\text{Cr}$  que le milieu naturel au préalable contaminé en ces deux éléments.

En ce qui concerne les polluants organiques, le compostage permet aussi une remédiation de sols contaminés en augmentant la photo-dégradation de pesticides comme l'Irgarol (Amine-Khodjaet al. , 2006), en minéralisant des explosifs, tels que le TNT présent dans le sol d'usines de fabrication ou de démantèlement (Breitunget al. , 1996, Bruns-Nagelet al. , 1998), ou en dépolluant un sol contaminé par du pétrole : raffinerie, désert Koweïtien (AlDaher et al. , 1998). Semple et al. (2001) ont expliqué que les résultats de l'utilisation de composts pour le traitement de sols pollués dépendent de plusieurs facteurs, notamment la biodisponibilité et la biodégradabilité du polluant organique. Chaque pollution est donc à étudier individuellement.

#### **I.14.5. Effet de serre**

Dans le cadre de la lutte contre l'effet de serre additionnel, l'incorporation dans les sols de produits contenant des matières organiques stabilisées semble être une solution raisonnable. En effet, le compost, comparé à des matières non traitées (boues de station d'épuration) augmente la stabilisation du carbone. En 2004, environ 1,73 million de tonnes de compost ont été produites en France (ADEME, 2006). Cependant, le CO<sub>2</sub> n'est pas le seul gaz à effet de serre à prendre en considération dans le cadre de l'utilisation de compost. Le méthane (CH<sub>4</sub>) et le protoxyde d'azote ou oxyde nitreux (N<sub>2</sub>O) sont des molécules beaucoup plus efficaces que le CO<sub>2</sub> pour augmenter l'effet de serre. Le N<sub>2</sub>O libéré par la nitrification ou la dénitrification au sein du compost a un effet positif sur le réchauffement global de la même façon que le CH<sub>4</sub> produit par l'élevage de bétails ou le compostage de déchets organiques. En effet, le méthane est produit lors de la dégradation des lipides solubles, des hydrates de carbone et des acides organiques en conditions anaérobies (Husted, 1993). Ces deux gaz sont susceptibles d'être émis au cours du compostage. Même en cas de procédé avec aération forcée, l'apparition de microsites anaérobies permet la production et le dégagement de méthane. Le procédé utilisé est directement responsable de la quantité de gaz produite, notamment pour les andains où des zones anaérobies peuvent se former (He et al. , 2000; Fukumoto et al. , 2003, Hobson et al. , 2005). Il est cependant difficile d'établir un constat précis de l'effet du compostage sur l'émission de gaz à effet de serre, car les travaux sont récents et peu nombreux.

#### **I.14.6. Le compostage et son effet hygiénisant**

Dans le cadre de la valorisation agricole de compost de boues ou contenant des boues résiduelles, certaines utilisations nécessitent une hygiénisation préalable. On retrouve dans les boues une très grande variété d'organismes (bactéries, virus, parasites). La quasi-totalité de ces organismes se trouve initialement dans les eaux usées admises et traitées en usine. Leur nature et leur forte affinité pour les matières particulaires contribuent à leur concentration dans les boues. Si la charge microbienne est relativement élevée, la majeure partie des microorganismes est non pathogène. Cependant, il est nécessaire de s'assurer de l'innocuité des composts contenant des boues. Les données

bibliographiques indiquent que le compostage (dégradation aérobie thermophile) est un procédé considéré comme très efficace en terme d'hygiénisation pour de multiples raisons : la température atteinte, la durée du traitement, le développement d'une flore saprophyte rentrant en compétition avec les populations pathogènes, et la stabilisation durable de la matière organique.

Le compostage à partir d'un mélange contenant des boues de station d'épuration est un procédé qui permet de détruire les agents pathogènes, notamment par la biais de l'élévation de température (Deporteset al. , 1998, Roset al. , 2006). Meekingset al. (1996) ont montré que *Ascaris lumbricoïdes*, un parasite de l'homme et des animaux, qui se développe dans les intestins et se transmet par les excréments humains infectés contenant des œufs, est détruit pendant le processus de compostage. De même, Pereiranetoet al. (1986) ont affirmé qu'une élévation de la température du compost à 58 – 65 °C pendant 10 à 15 jours a permis de réduire de manière significative le nombre de micro-organismes pathogènes. Parmi ces derniers, les streptocoques fécaux sont des plus résistants au compostage. Les bactéries *Escherichia coli* et *Salmonella* sont, elles, plus sensibles aux élévations de température. Certaines bactéries sont, de surcroît, sensibles aux antibiotiques émis lors du compostage (ElAbagy & El-Zanfaly, 1984). Il faut aussi noter que le processus de maturation est essentiel pour favoriser la compétition entre les pathogènes et la biomasse totale du compost. En effet, les sources de carbone facilement dégradables dans un compost mature sont réduites, permettant une compétition intense avec les autres micro-organismes du compost. Sidhu et al. (2001) ont suggéré que la micro-flore bactérienne « indigène » jouerait un rôle majeur dans la répression de croissance des *Salmonella*.

Cependant, il est à noter qu'il subsiste un risque de croissance de novo de pathogènes si les sources d'énergie sont disponibles. Sidhu et al. (2001) ont montré que le compost présente des risques de croissance de novo potentielle des micro-organismes pathogènes et que la détermination de la maturité n'est pas un facteur suffisant de garantie de l'absence de risque sanitaire. Un risque de développement de pathogènes dans les parties périphériques des andains existe, notamment, dans le cas de compostage en piles statiques selon Pereiranetoet al. (1986).

### I.15. Intérêt du compostage

**A. Réduction des volumes :** La réduction des volumes est de l'ordre de moitié pour les fumier ou les déchets verts. Elle est due aux pertes de carbone et d'eau, suivies de tassements, qui ont lieu pendant le compostage. Cette réduction des volumes permet une réduction des stocks de fumier à épandre, dans un délai relativement court puisqu'en 6 semaines en moyenne ces stocks sont diminués de moitié. L'économie de temps réalisée grâce à la diminution des volumes à épandre couvre en général le temps nécessaire à la fabrication du compost (ITAB,2001f).

## **B. Concentration en éléments minéraux**

Grâce à la diminution de masse, très supérieure à celle des fumiers de dépôts de même âge, les composts sont plus concentrés en éléments fertilisants que les fumiers (ITAB,2001f).

## **C .Assainissement vis à vis des adventices**

Vaseix (1997) montre par la mise en sachets de voiles perméables à de graines d'*Avena fatua* et de *Raphanus raphanistrum* enfouies à 50 cm de profondeur pendant un mois dans un tas de compost chauffant à 60° c provoque leur destruction totale, la combinaison entre hautes températures et libération de facteurs biochimiques inhibiteurs au cours du compostage assure la destruction des graines. Ainsi, l'épandage de compost plutôt que de fumier frais peut permettre de résoudre le problème de la dissémination des *Rumex* en particulier, dont l'arrachage, en agriculture biologique, est fastidieux mais indispensable sous peine de rendre les prairies inaptées au pâturage.

Halberg (1999) et Ragdale et al.,(1992), rapportent que dans les essais réalisés, ils ne révèlent la présence d'aucune graine de mauvaise herbe en fin de compostage lorsque la température dépasse 55 à 60° c. Selon Wiart (1997), le temps nécessaire pour détruire les graines dépend de leur emplacement dans le tas : plus de 24 jours pour les graines placées en surface, 24 jours en moyenne à 30cm et 3 jours à 90cm du bord. Une recolonisation par les graines véhiculées par le vent est possible après la phase de refroidissement.

## **D. Assainissement vis-à-vis des agents pathogènes et parasites des animaux**

Hacala (1998) rapporte que les déjections animales contiennent les agents pathogènes et les parasites des animaux malades ou sains en état latent. Ce problème empêche bien souvent l'épandage des matières organiques sur prairies, ce qui les prive d'une possibilité de fertilisation et réduit les surfaces d'épandage des matières organiques sur prairies. Le compostage des fumiers peut présenter une solution à ce problème. Le danger majeur concerne certaines bactéries, comme *Clostridium tyrobutyricum* (butyriques), *Clostridium botulinum* (botulisme), rare en élevage bovin mais observé dans les élevages avicoles, tel que les *Listerias* ou les *Salmonelles*. Leurs conditions de vie sont très diverses (pH, température) et certaines sont résistantes pendant plusieurs semaines ; les formes de résistance de *Clostridium botulinum* (spores), ne sont pas sensibles à la chaleur et ne sont donc pas détruites au cours du compostage. (Hacala, 1998). Hacala (1998), note que pour les troupeaux de bovin très contaminés en *Salmonelles* (10<sup>4</sup> à 10<sup>6</sup> *Salmonelles* pour 100g) ; un compostage de 6 semaines à 2 mois, avec 2 retournements à 7 jours d'intervalle, dans de bonnes conditions météorologiques (pas de pluie après retournement ou protection du tas), est une garantie d'assainissement quel que soit le type de *Salmonelle* concerné. L'efficacité est maximale si la température est maintenue au-dessus de 50° c pendant 3 à 4 semaines. Il

suffit en effet d'une heure à plus de 67° c pour détruire les Salmonelles, mais la durée minimale monte à 40 jours si la température n'est que de 41° c.

De point de vue des parasites, le compostage réduit fortement la population d'Helminthes après 1 mois, mais il reste à vérifier si elle est détruite en totalité après plusieurs mois de compostage. La population de Coccidies est en revanche complètement éliminée ( Lorthios, 1998).

Hacala et al.(1999) pensent que le compostage ne garantit l'hygiénisation du produit d'origine de certains parasites que s'il est réalisé dans de bonnes conditions. C'est la température qui sert d'indicateur mais il existe aussi d'autres facteurs d'hygiénisation (antagonismes microbiens, etc.) beaucoup plus difficiles à mesurer. Pour le compostage du fumier de bovins, il faut ainsi 6 semaines à plus de 50° c pour détruire la plupart des pathogènes.

#### **E. Destruction partielle ou totale des résidus de produits phytosanitaires**

Halberg (1999), rapporte que des études effectuées aux Etats-Unis sur les 200 pesticides les plus courants ont révélé la présence en fin de compostage des produits les plus rémanents (le Chlordane: insecticide contre les termites; le Pentachlorophénol: fongicide pour le traitement du bois; le Captan, le Lidane et le 2,4-D).

L'activité de dégradation biologique au cours du compostage détruit la plupart des molécules et les résidus sont faibles ou nuls.

#### **F. Absence d'odeur désagréable**

Le compostage conduit à un produit qui rappelle l'odeur du terreau des litières de forêt. Même en cours de compostage il y a peu d'émission d'odeurs désagréable. Si de telles odeurs existent, elles traduisent une évolution incorrecte du compostage (manque d'oxygène) ( ITAB,2001f).

#### **G. Homogénéité du produit fini**

Quel que soit l'équipement utilisé, les retournements opérèrent un mélange des matières à composter. Une des caractéristique du compost est son homogénéité, ce qui facilite grandement l'épandage. Le fumier stocké présente en revanche une 'structure fragmentaire' très hétérogène, imputable à la présence de 'mottes' plus au moins agglomérées ou prise en masse en fonction des zones et de la maturité du tas. Cette hétérogénéité du fumier entraîne des épandages grossiers et gêne notamment les apports sur prairies (ITAB 2001f).

#### **H. Limitation des pertes d'azote nitrique**

D'après Le Houérou (1993), le compostage a été étudié de manière à répondre à cet objectif :

La réduction de poids (40% environ pour fumier de bovin) et de volume (50% en moyenne) permet le transport du compost sur des passerelles trop éloignées pour faire l'objet d'épandage et permet simultanément de réduire les épandages sur les zones à risque limitant ainsi les pertes nitriques.

### **I. Lutte contre les maladies des plantes**

Plusieurs recherches menées dans différentes parties du monde ont montré que le jus de compost en plus de son action fertilisante, pourrait être un moyen efficace de lutte contre les maladies fongiques des plantes en stoppant ou en inhibant le développement des champignons pathogènes. Les études sont encore récentes et le mécanisme d'action du jus de compost n'est pas encore bien connu. Cette partie sera développée d'une façon plus approfondie plus tard dans la bibliographie.

### **I.16. Intérêts et limites du compostage de déchets**

#### **I.16.1. Intérêts écologiques**

D'un point de vue écologique, le compostage permet de lutter contre l'effet de serre additionnel en séquestrant le carbone dans le sol (Houot et al., 2002) et assure une réduction de la masse et du volume de déchets par rapport aux déchets initiaux (Mustin, 1987; Jacomijn, 1996; Francou, 2003). Le compost produit peut être utilisé en amendement organique à rapport C/N faible (<20) évitant ainsi une immobilisation de l'azote généralement retrouvé lors de l'apport de matière organique à C/N élevé au sol (Farinet et Niang, 2005). Il permet enfin l'hygiénisation des matières initiales par destruction des germes pathogènes et des grains de mauvaises herbes (Pfeiffer et Koepff, 1991; Soltner, 2003).

#### **I.16.2. Intérêts agronomiques**

Les intérêts agronomiques du compost sont multiples. Il améliore la croissance des végétaux et la diffusion des éléments nutritifs aux plantes. La production végétale est ainsi améliorée. L'utilisation de compost favorise ainsi le processus de reforestation en améliorant la nutrition et la croissance des plantes mais surtout en augmentant leur potentiel de survie pendant les périodes de sécheresse (Guittonny-Larchevêque, 2004; CEFREPADE, 2008). Il atténue également le risque de toxicité aluminique (Sawadogo et al., 2008) du fait de la réduction de la mobilité de l'aluminium. Les travaux de Sawadogo et al. (2008) ont montré notamment que les composts de déchets permettent d'améliorer la croissance et le rendement du sorgho. De la même manière, Koledzi (2011) met en évidence l'impact positif des composts de déchets sur le rendement des carottes (de 1000 kg/ha à 2400 kg/ha). D'autres travaux ont porté sur la culture du maïs (Kolani, 2007; Toundou, 2010) et les rendements obtenus par utilisation de composts de déchets sont compris entre 6 et 8 t/ha contre 1 à 2 t/ha en moyenne pour des plantes témoins.

## I.17. Compost

Le compost est un mélange de débris organiques en décomposition et de matières minérales, destiné à nourrir et à alléger le sol qu'il enrichit en humus (COUPLAN et MARMY, 2009). Pour SMEESTERS (1993), le compost est une matière brunâtre qui ressemble à du terreau. Il provient de la décomposition contrôlée des matières organiques par des millions d'organismes vivant ; depuis les bactéries microscopiques jusqu'aux vers de terre.

Un bon compost provient d'un équilibre entre des matériaux riches en azote et pauvres en carbone (déchets organiques, fumiers), riche en carbone et pauvre en azote (matière végétale sèche, bois broyé) et intermédiaires entre les deux (matière végétale verte) (COUPLAN et MARMY, 2009).

Il existe deux types de composts :

### I.17.1 Le compost anaérobie :

est le compost résultant d'un entassement de débris végétaux qui se décomposent sur place, les inconvénients d'un tel compost sont :

- Odeurs désagréables du au pourrissement
- Evolution plus lente que celle d'un compost aérobie (il lui faut environ un an pour être prêt)
- Et les risques de problèmes phytosanitaires car sa température reste basse et les organismes pathogènes ne sont pas détruits

### I.17.2. Compost aérobie

- Il ne dégage pas d'odeur désagréable
- La maturation est beaucoup plus rapide (il peut être prêt en six mois environ)
- Les graines des mauvaises herbes et les germes pathogènes sont détruits lors de l'élévation de température résultant de la fermentation oxydative. Cependant, son seul inconvénient est qu'il nécessite une intervention humaine plus importante que le compost anaérobie (COUPLAN et MARMY, 2009).

## I.18. Caractérisation d'un compost prêt à l'emploi

### I.18. 1. La qualité d'un compost

La pérennité de l'emploi des composts en agriculture repose essentiellement sur la garantie de sa stabilité et maturité adéquates (Said-Pullicino et al., 2007).

Actuellement, l'utilisation de déchets organiques d'origine de plus en plus diverses impose la caractérisation du compost avant son emploi (Mondini & Insam, 2003). Pourtant la qualité d'un compost, bien que fréquemment employé dans le domaine, est une notion complexe à définir et aux limites floues (Lasaridi et al., 2006). Prédire la qualité d'un compost est un avantage pour les agriculteurs pour une utilisation optimale des composts. Ce qui correspond à empêcher les conséquences adverses de l'utilisation de composts, p.ex. la diminution de la concentration en oxygène provoquée par une forte activité de minéralisation microbienne (Zmora-Nahum et al., 2005), une accumulation excessive d'azote, de phosphore ou d'autres nutriments, ou une libération de phytotoxines (Ozores-Hampton et al., 1999 ; Zmora-Nahum et al., 2005).

La stabilité d'un compost s'appuie sur deux caractéristiques des matières organiques : leur biodégradabilité (Robin, 1997 ; Linères et Djakovitch, 2005 ; Lashermes et al., 2009) et leur degré d'humification (Bernal et al., 1998 ; Chen, 2003, Tang et al., 2006). Certains auteurs ont montré que la respiration microbienne et les analyses de fibres peuvent être utilisées pour établir de relatives différences entre stabilité de composts. Ainsi il n'existe pas de simples tests de la stabilité d'un compost valables pour tous les composts sans distinction des matières premières (Riffaldi et al., 1986 ; Henry & Harrison, 1996). La valeur d'amendement des composts peut être testée au champ (Rivero et al., 2004) mais nécessite souvent de longues périodes d'expérimentation. Des indices ont été développés pour permettre une évaluation plus rapide des bénéfices de l'apport de compost au sol, ils sont présentés au chapitre 5 de ce mémoire.

La maturité peut être définie comme le stade auquel le compost après application n'aura pas d'effets négatifs sur la croissance de la plante (Cooperband et al., 2003 ; OzoresHampton et al., 1999). En d'autres termes, le degré de décomposition des composés organiques restants ne doit pas entraîner des conditions anaérobies ou des odeurs substantielles et doit produire une petite quantité acceptable d'acides organiques (potentiellement toxiques pour les plantes) (Henry & Harrison, 1996). Des effets négatifs sur la germination, la croissance et le développement des plantes peuvent apparaître lors de l'utilisation de composts immatures (Tiquia et al., 1997). L'évaluation de la maturité d'un compost repose donc sur l'estimation de sa phytotoxicité, qui peut s'établir sur de nombreuses caractéristiques : test de germination, caractéristiques physico-chimiques, activités biologiques. La dualité de définitions de la qualité d'un compost doit être prise en compte, Tiquia et Tam (1998) et Albuquerque et al. (2009) suggèrent qu'un compost stable n'équivaut pas nécessairement à un compost mature.

### **1.18. 2. Les caractéristiques physico-chimiques et biochimiques d'un compost**

\* pH

Le pH est l'un des premiers indicateurs cités dans la littérature (Roletto & al., 1985), il tend à augmenter durant le compostage (Cayuela et al., 2006). Avnimelech & al

(1996) considèrent les composts immatures quand leur pH est acide, et définissent la gamme de composts mûrs entre 7 et 9.

\* Conductivité Electrique (EC)

L'EC d'un compost dépend de la concentration en nutriments de celui-ci, elle est directement liée à la salinité. Pour des espèces végétales sensibles aux sels, Saébo & Ferrini (2006) recommandent un apport limité de compost. En effet, il existe effectivement une corrélation entre la phytotoxicité d'un compost et sa EC (Hirai et al., 1983). Selon les études, l'EC suit des évolutions différentes. Pendant le compostage, l'intense minéralisation associée à une forte perte de masse concentre les sels et tend à augmenter la EC. Cependant lors de la formation des substances humiques, les sels sont fixés sur la MO stabilisée (Francou, 2004) et provoquent la diminution de l'EC. De plus le phénomène de lessivage plus ou moins marqué selon le dispositif de compostage utilisé, tend également à réduire la concentration de sels solubles et ainsi diminuer l'EC. Une EC comprise entre 2 et 3 mS.cm<sup>-1</sup> est un niveau acceptable pour l'application d'un compost mûr (Saébo & Ferrini, 2006). Cependant des composts ayant des valeurs élevées d'EC proche de 5 mS.cm<sup>-1</sup> ne présentent pas d'effets phytotoxiques remarquables avec des indices de germination de 74% pour des graines d'Ail (Said-Pullicino et al., 2007).

\* Teneurs en carbone organique et lignine

La teneur en carbone organique se détermine par la mesure des pertes au feu qui évalue la teneur en MO contenue dans un échantillon. Elle renseigne donc sur la capacité d'apport de carbone d'un compost lors de son application. Cependant cette caractéristique ne peut être exploitée seule car elle n'apporte pas d'information sur la stabilité du carbone présent dans l'échantillon. Le fractionnement biochimique de la MO permet de compléter cette information en précisant la part des différentes fractions plus ou moins résistantes à la biodégradation. Plus précisément, la fraction de lignine contenue dans la MO permet d'apprécier la stabilité du carbone présent dans un compost. Des indicateurs élaborés de stabilité et maturité prennent en compte d'une part la teneur en carbone d'un compost et d'autre part son évolution lors d'une application au sol.

\* Teneurs en nutriments principaux (N, P, K)

La teneur en nutriments d'un compost renseigne principalement sur sa valeur fertilisante, cependant des indicateurs plus spécifiques existent pour les différentes formes de l'azote. Zucconi & de Bertoldi (1987) ont défini un seuil limite de 0,4 g.kg<sup>-1</sup> d'ammonium pour un compost mûr. Un ratio NH<sub>4</sub>-N/NO<sub>3</sub>-N inférieur à 0,16 est un indice de maturité pour les composts de toutes origines (Bernal & al., 1998).

Durant le processus de compostage ou de vermicompostage, les nutriments importants pour la plante sont libérés et convertis par l'action des micro-organismes en des formes généralement plus solubles et disponibles pour la plante que celles contenus

dans les matériaux initiaux (Ndegwa et al. 2001, Orozco et al. 1996), c'est le cas du K dont la disponibilité est entière (Jakobsen, 1995). Dans le cas du P, différents cas de figures existent : soit une faible disponibilité du P (Ribeiro et al., 2000), soit une amélioration de la disponibilité du P par l'ajout de compost (Erich et al., 2002) .

### **I.19. Les micro-organismes du compost**

Bien que le compostage soit un « art » très ancien et couramment utilisé, ce procédé est l'une des biotechnologies les plus complexes qu'il soit, en raison des changements d'états physiques et biologiques innombrables durant le processus. Une bonne compréhension de ces changements exige une étude précise des successions de communautés microbiennes comprenant l'ensemble des micro-organismes présents y compris ceux qui sont en très faible proportion. Selon Haruta et al. (2005), la microbiologie du compostage doit être étudiée au travers de divers aspects, comme par exemple, la composition et la succession des communautés pendant le processus, les micro-habitats, ainsi que les fonctions des microorganismes au sein de la communauté.

### **I.20. Les critères d'évaluation de la maturité d'un compost**

Différents paramètres peuvent être utilisés pour déterminer la stabilité et maturité du compost. Une étude effectuée par ADAS Consulting Limited (2005) recense les diverses définitions proposées dans la littérature. Le terme de stabilité y est défini par 12 paramètres parmi 49 références bibliographiques et la maturité selon 7 paramètres parmi 44 références. La répartition des termes recueillis dans la littérature est récapitulée dans le Tableau 4 .

L'activité biologique, le degré de décomposition et les effets sur les plantes sont les principaux paramètres cités. Aucun test officiel ou standard n'existe actuellement pour évaluer chacune de ces deux caractéristiques de l'état du compost.

<i>Stabilité</i>	<i>%</i>	<i>Maturité</i>	<i>%</i>
Activité biologique ou respiration	35	Effets sur les plantes	45
Degrés ou stades de décomposition	20	Degrés de décomposition (C/N)	23
Mauvaises odeurs	14	Activité biologique ou respiration	11
Consommation d'azote	8	Bénéfices agraires (texture, rétention en eau...)	9
Disponibilité des nutriments	6	Odeurs	9
Phyto-toxicité	4	Pathogènes	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		
	100		100

**Tableau 4: Paramètres de stabilité et de maturité (en % d'apparition dans la littérature) extrait de A.D.A.S Consulting Limited (2005).**

#### **I.20.1. Méthodes empiriques**

Le pratique du compostage est connue depuis extrêmement longtemps et différentes méthodes empiriques ont permis aux utilisateurs de déterminer la maturité des composts bien avant l'essor des sciences modernes. L'approche sensorielle permet, par exemple, de juger de son stade de maturité (Jimenez & Garcia, 1989; Mbuligwe et al. , 2002). Un compost à maturité comprend les caractéristiques suivantes :

- ne dégage pas d'odeur d'ammoniacque
- sa température est basse même si le compost est humidifié
- granuleux, foncé et odeur boisé agréable
- plus de distinction à l'oeil nu du compost et des composés d'origine

Cependant, ces méthodes simples et rapides doivent être complétées par des analyses plus précises en laboratoire (Charnay, 2005).

#### **I.20.2. Caractéristiques physico-chimiques classiques**

La majorité des études, relatives au degré de maturité des composts, se base sur l'évolution des paramètres physico-chimiques tels que le pH, le rapport C/N, le taux de matière organique, le rapport d'humification, la capacité d'échange cationique (CEC)...

### Mesure de pH

Le pH a été l'un des premiers indicateurs chimiques de la maturité des composts et a été utilisé dans de nombreuses études. Jimenez & Garcia (1991) et Cayuela et al. (2006) ont en effet observé une élévation du pH pendant le compostage. Selon Avnimelech et al. (1996), les pH acides sont caractéristiques des composts immatures alors que les composts mûrs ont des pH compris entre 7 et 9.

### Capacité d'échange cationique (CEC)

Le processus d'humification produit des groupes fonctionnels et augmente l'oxydation de la matière organique, provoquant ainsi un accroissement de la CEC. Selon Jimenez & Garcia (1989), une CEC supérieure à 60 meq/100g de matière organique est nécessaire pour considérer un compost comme mûr.

### Le rapport C/N

Le rapport C/N (carbone organique / azote organique) diminue pendant le compostage. Ce paramètre est le plus couramment mesuré pour évaluer la maturité d'un compost. Iglesias Jimenez & Garcia (1989) estiment qu'un rapport inférieur à 20 et même 15 caractérise un compost mûr. Chofetz et al. (1996) et Namkoong et al. (1999) expliquent qu'un compost caractérisé par un rapport de 10 – 15 peut être considéré comme stable bien que le ratio final dépendant des matières initiales utilisées. Le C/N dans les composts est comparé au rapport C/N, proche de 10, des sols humiques (Charnay, 2005).

### Le rapport NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/ NH<sub>4</sub><sup>+</sup>

L'apparition des nitrates dans le compost peut, en effet, être un indicateur de maturité. Les micro-organismes nitrifiants induisent une diminution de la concentration en ammonium NH<sub>4</sub><sup>+</sup> et une apparition d'ions nitrate NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Le rapport NO<sub>3</sub><sup>-</sup> / NH<sub>4</sub><sup>+</sup> est ainsi utilisé par certains auteurs comme indicateur de maturité. Cependant, selon Francou (2003), ce rapport est peu utilisé et les résultats obtenus sont très différents.

### 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 indicateurs de maturité. Des études montrent notamment une augmentation significative du rapport acide humique sur acide fulvique (AH/AF) au cours du compostage (Veeken et al. , 2000 ; Jouraiphy et al. , 2005; Huanget al. , 2006). 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.

### I.20.3. Activités biologiques

#### Mesures de la respiration

Les mesures de respirations reposent sur l'activité respiratoire des micro-organismes présents dans le compost. Un compost immature est caractérisé par une demande en O<sub>2</sub> et un taux de production de CO<sub>2</sub> importants, dus à une intense activité microbienne provoquée par la forte biodégradabilité des substrats (Bernal et al. , 1998; Lasaridi & Stentiford, 1998) contrairement à un compost mature, plus stable et moins actif. De nombreux auteurs ont ainsi étudié les relations entre l'activité des micro-organismes et le temps de compostage par différentes méthodes respirométriques (Iannotti et al. , 1994; Adani et al. , 2001; Barrena Gomez et al. , 2005; Tremier et al. , 2005).

#### Activités enzymologiques

Les enzymes importantes impliquées dans le processus de compostage incluent des cellulases, des hémicellulases, des phénoloxydases, des protéases, des lipases, des phosphatases et leurs activités évoluent en fonction du degré de décomposition de la matière organique. Ainsi, des niveaux élevés d'activités protéase, lipase et cellulase ont été mesurés pendant la phase active du compostage (Mondini et al. , 2004; Goyal et al. , 2005; Cunha-Queda et al. , In Press). Cependant, le compostage étant effectué à partir de substrats organiques très différents et par de nombreux procédés, Mondini et al. (2004) estiment que l'établissement de valeurs seuils générales d'activités enzymatiques comme indice de maturité est extrêmement difficile. En effet, les activités enzymatiques mesurées à maturité sont spécifiques des composts testés. Ainsi, ces auteurs affirment qu'il est nécessaire d'utiliser plusieurs enzymes et préférable d'effectuer une étude dynamique des activités enzymatiques tout au long du compostage.

#### Etude des communautés microbiennes

Les successions de communautés microbiennes au cours du compostage sont bien connues (Mondini & Insam, 2003; Tanget al. , 2004) et de nombreuses méthodes ont déjà été employées dans le cadre de leur étude telles que l'analyse de l'ARN 16S ou 18S, l'étude des acides gras des phospholipides (PLFA) ou l'analyse des profils quinones (Blancet al. , 1999; Kurisu et al. , 2002; Boulter-Bitzer et al. , 2006). Un outil semble très prometteur : l'étude des profils métaboliques par microplaque Biolog. Cette technique consiste à étudier la croissance microbienne sur différentes sources de carbone, permettant ainsi de mettre en évidence différents profils physiologiques ou community level physiological profiles (CLPP). Mondini & Insam (2003) affirment que cette technique apparaît comme un indicateur prometteur du degré de maturité mais ajoutent, néanmoins, que des améliorations méthodologiques sur la standardisation de l'inoculum utilisé sont nécessaires.

### Test d'auto-échauffement

L'intense activité des micro-organismes dans les composts immatures a pour conséquence la production de chaleur lors de la dégradation des composés les plus simples et les plus accessibles. Ainsi, il est possible de mesurer le degré de décomposition de la matière organique d'un compost par une mesure de l'élévation de température après réhumidification. Plusieurs travaux ont montré la pertinence de ce test pour évaluer la maturité des composts (Brintonet al. , 1995; Leifeldet al. , 2001).

### Test Solvita®

Le test Solvita® est basé sur la minéralisation du carbone et la volatilisation de l'ammoniac commercialisé sous le nom de test Solvita® (Woods Research® Management, USA). Ce test est réalisé sur des composts dont l'humidité est ajustée à un niveau correspondant à l'activité microbienne optimale. Ce test combine une estimation de la minéralisation du carbone et une estimation de la volatilisation de l'ammoniac (Francou, 2003). Un indice global, à partir de deux indicateurs colorés, de 6 ou plus, sur une échelle de 1 à 8, correspond à un compost mûr. Changa et al. (2003) montrent que ce test apporte d'utiles informations sur les concentrations excessives et toxiques d'ammoniac dans les composts et concluent que la méthode Solvita® est un test simple et peu onéreux de la stabilité des composts et de l'émission de NH<sub>3</sub>.

## I.20.4. Valeurs agronomiques, tests sur plantes

### Phytotoxicité

La stabilité du compost ne prend pas en compte automatiquement son action sur les plantes. Les tests de phytotoxicité sont les seuls moyens d'évaluer la toxicité liée à leur incorporation au sol. En effet, les composts mûrs ne doivent pas présenter de substance empêchant la germination des graines et la croissance des plantes. L'acide acétique est probablement l'acide organique, libéré par les composts immatures, le plus préjudiciable bien qu'il existe également d'autres composés (acétaldéhyde, éthanol, acétone, éthylène...) contribuant aux effets phytotoxiques (Jimenez & Garcia, 1989). Des concentrations élevées en sels et la libération d'acides organiques dans les composts sont également corrélées à l'inhibition de la germination et de la croissance. Par conséquent, la phytotoxicité est souvent évaluée par l'étude de la germination ou par des tests de croissance (Gariglio et al. , 2002; Saebo & Ferrini, 2006; Said-Pullicino et al. , 2007), mais Emino & Warman (2004) conseillent de choisir les plantes avec soin. Un indice de germination (GI) de 50% est reconnu comme étant celui d'un compost sans effet phytotoxique (Chikae et al. , 2007).

## Conductivité

La conductivité du compost est fortement dépendante de son contenu en nutriments. Cependant, pour une conductivité supérieure à 5 mS.cm<sup>-1</sup>, l'apport de compost dans le sol doit être limité pour les espèces sensibles aux sels (Saebo & Ferrini, 2006). En effet, les différentes espèces de plantes ont des préférences et des niveaux de tolérance spécifiques et le mélange est l'unique moyen pour réduire la conductivité à un niveau acceptable i.e. à un maximum de 2-3 mS.cm<sup>-1</sup> pour Saebo & Ferrini (2006). Cependant, Said-Pullicino et al.(2007) ont observé une diminution de la conductivité de 8.9 à 5.0 mS.cm<sup>-1</sup> après 250 jours pour un compost (déchets municipaux solides, taillade haies et résidus de l'agro-industrie de tabac). Ces valeurs, encore élevées après 250 jours, sont pourtant caractérisées par un taux de germination de graines d'Ail de 74 % i.e. un taux très correct. La conductivité est en réalité très variable selon le type de compost, même si elle a une tendance naturelle à diminuer avec la progression de la maturité.

## Valeurs agronomiques

La qualité d'un compost se juge également sur ses qualités comme amendement organique dans les sols. Le compost assure une faible mobilité des nutriments, notamment de l'azote (Charnay, 2005). La valeur amendante est l'aptitude des composts à entretenir ou augmenter le stock de matière organique du sol (Francou, 2003). Le compost agit tout d'abord en apportant des éléments nutritifs aux sols et aussi en entretenant ou en augmentant le stock de matière organique du sol amendé. Des tests en champ permettent d'estimer les bénéfices de l'apport de composts pour les sols et pour les cultures (Rivero et al., 2004).

Cependant, pour évaluer plus rapidement cette valeur amendante, deux méthodes sont utilisées : l'indice de stabilité biologique (ISB) et la caractérisation biochimique de la matière organique (CBM). Le calcul de ISB est une évaluation de la proportion de matière organique susceptible de contribuer à l'entretien de la matière organique du sol. Francou (2003) explique que Linères & Djakovitch (1993) ont mis au point cette méthode en reliant le niveau de stabilité de la matière organique à la nature biochimique du matériau à partir de taux du carbone restant dans le sol lors d'incubations de longue durée (150 jours) et en le reliant aux fractions biochimiques suivantes : fraction soluble, hémicellulose, lignine obtenue par la méthode de Van Soest et cellulose brute obtenue par fractionnement Weende. Par la suite, Robin (1997) a proposé un autre modèle aboutissant à la détermination du taux de carbone restant dans le sol à long terme : la CBM. Le calcul de la CBM est directement inspiré de celui de l'ISB avec pour différences essentielles : le temps d'incubation qui passe à 40 jours, l'utilisation de la méthode de Van Soest pour toutes les fractions et le fait que l'on tienne compte de la proportion de matières minérales dans le produit de départ (Francou, 2003).

Une synthèse bibliographique (non exhaustive) récapitule la multitude d'indicateurs de maturité existant avec les valeurs seuils pour des composts immatures et des composts matures (Tableau 5). Vu les différences dues aux origines des matières initiales à composter et des techniques de compostage utilisées, les différents critères ne sont pas souvent cohérents et plusieurs auteurs suggèrent ainsi qu'aucun critère n'est utilisable isolément. Ils recommandent donc une combinaison de différentes techniques (Goyal et al., 2005; Boulter-Bitzer et al., 2006).

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

VS: Total volatile solids

**Tableau 5 : Exemple de valeurs des principaux indicateurs de maturité**

### I.21. Effets sur les caractéristiques des sols

Les composts améliorent la structure et la texture du sol et ils permettent de maintenir une meilleure capacité de rétention de l'eau. Ils améliorent les propriétés physiques (texture et structure) et chimiques du sol (Hadas et Portnoy, 1997; Agassi et al., 1998; Pagliai et al., 2004; Pedra et al., 2007) en augmentant la conductivité hydrique et en diminuant la densité (Wong et al., 1996), le pouvoir tampon et la Capacité d'Echanges Cationiques (CEFREPADE, 2008). Au Burkina Faso et en France, des composts ont été utilisés comme substrats organiques pour la restauration des sols dégradés (Bresson et al., 2001; Sawadogo et al., 2008). Ces travaux ont montré que les paramètres comme le pH, le carbone organique total, l'azote total et le phosphore disponible augmentent sensiblement dans les traitements amendés comparativement aux témoins. Toutefois, la teneur en éléments minéraux des sols diminue si les apports de compost ne sont pas répétés dans le temps.

### I.22. Remarque sur le compost

-La stabilisation de la température du compost traduit la fin de phase de dégradation intensive (HARADA et al, 1981).

-L'absence d'odeurs déplaisantes générées par l'émission de composés organiques volatiles lors de la phase de dégradation intensive peut également être utilisée (IGLESIAS-JIMENEZ et PEREZ-GARCIA, 1989).

-Le rapport C/N est un indicateur très utilisé dans l'étude des composts. Le C/N diminue au cours du compostage et ROLETTO et al (1985) considère qu'une valeur inférieure à 25 caractérise un compost mûr, alors que Iglesias-Jimenez et Perez-Garcia (1989) considère qu'un rapport inférieur à 20 et même 15 est préférable. Mais beaucoup d'auteurs considèrent que la valeur du C/N d'un compost n'est pas suffisante pour déterminer sa maturité (MOREL et al, 1986 ; SERRA-WITTLING, 1995).

-En effet, les pH acides sont caractéristiques des composts immatures alors que les composts mûrs sont caractérisés par des pH compris entre 7 et 9 (FORSTER et al, 1993).



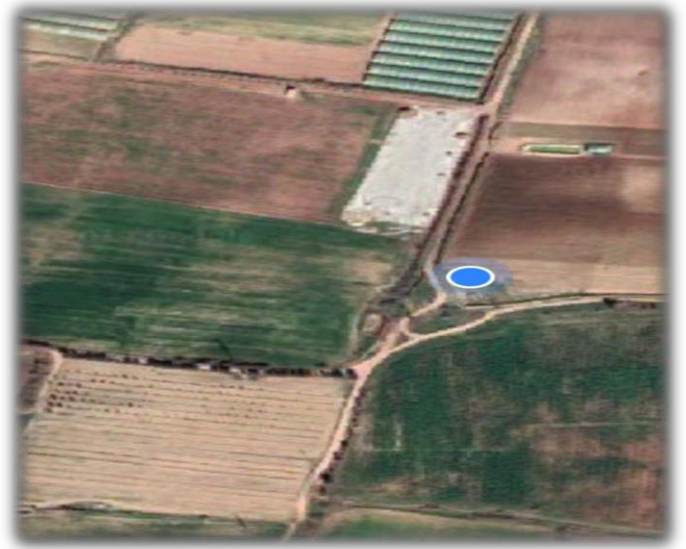
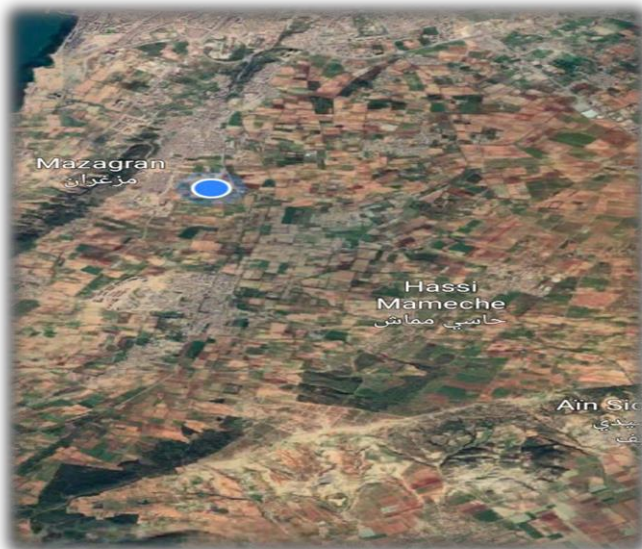
***Chapitre II***  
***Partie Expérimental***

## Présentation de la zone d'étude

### II. Approche méthodologique :

#### II.1. Présentation du site d'étude :

Le compostage a été réalisé dans l'exploitation agricole de l'université de Mostaganem à la commune da Hassi Mamache qui se situe au nord-est de la wilaya de Mostaganem (à 20



km de Mostaganem)

#### Photo 01 : le site expérimentation (Hassi Mamache Mostaganem)

- Mostaganem bénéficie d'un climat méditerranée semi-aride thermophiles.
- Il y a peu de précipitations, quel que soit la période de l'année, à Mostaganem.
- La classification de Köppen-Geiger est de type BSk.
- Sur l'année, la température moyenne à Mostaganem est d'environ 17.9 °C.
- Sur l'année, la précipitation moyenne est de 347 mm

II.1.1. Diagramme climatique Mostaganem :

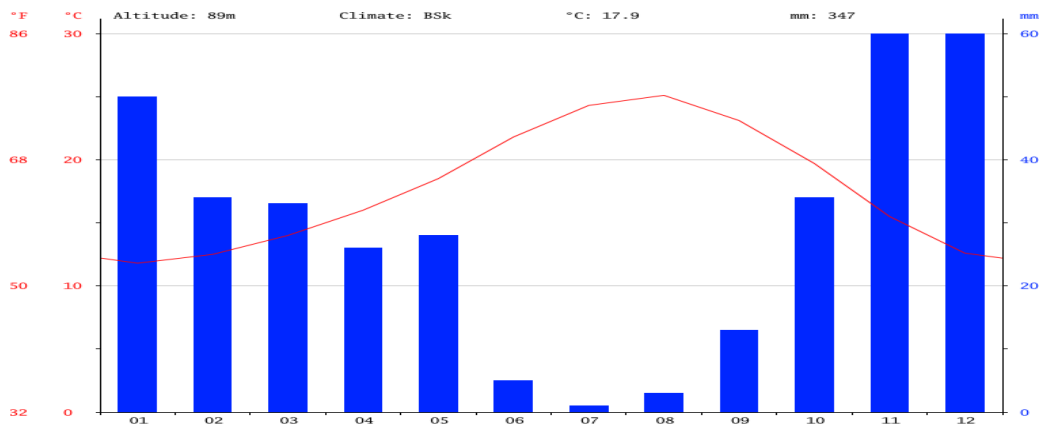


Figure 07 : Diagramme climatique Mostaganem

II.1.2. Courbe de la température de Mostaganem :

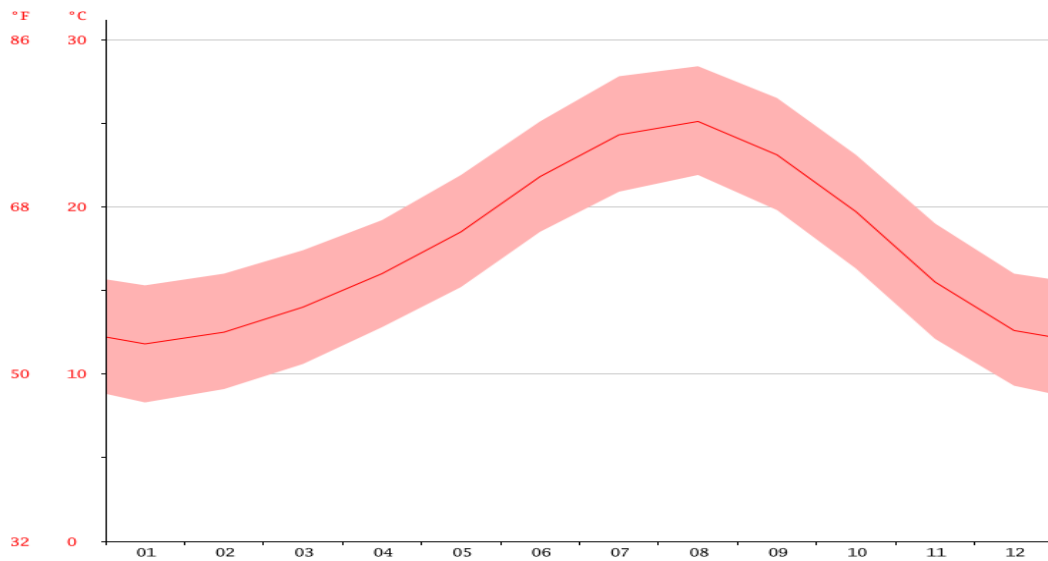


Figure 08 : Courbe de la température de Mostaganem

**II.1.3. Tableau climatique de Mostaganem :**

<b>Mois</b>	<b>Température moyenne)C°(</b>	<b>Température moyenne)F°(</b>	<b>Précipitations (mm)</b>
Janvier	11.8	53.2	50
Février	12.5	54.5	34
Mars	14	57.2	33
Avril	16	60.8	26
Mai	18.5	65.3	28
Juin	21.8	71.2	5
Juillet	24.3	77.2	1
Aout	25.1	77.2	3
Septembre	23.1	73.6	13
Octobre	19.7	67.5	34
Novembre	15.5	59.9	60
Décembre	12.6	54.7	60

**Tableau 06 : Tableau climatique de Mostaganem**

**-L'expérimentation a démarré le 12 février-**

## Matériel et méthode

### II.2. Etapes de confection du compost :

Selon MUSTIN (1987) les procédés de compostage .

Nous avons choisi le compostage aérobie en andain parce qu'il est la plus utilisée par les agriculteurs et sa maturité est plus rapide .

- **Tri** : sert à séparer les matières organiques fermentes cibles des autres matières retrouvées dans les déchets tels que le plastique, verre, caoutchouc...
- **Broyage** : sert à réduire la taille de la matière première grossière pour accroître les surfaces d'attaque et un maintien suffisant interstices entre les particules.
- **Mis en tas** : le broyat trempé seront ensuite mis sous forme de couches formant ainsi un andain. Les démentions du tas en fonction de la quantité du mélange disponible.
- **Homogénéisation** : il s'agit de mélanger les différents composants du tas pendant ou juste après la mise en tas du mélange. (MUSTIN 1987).

### II.3. Dispositif expérimental :

La proportion du mélange initial est de (1/2, 1/2) de broyat de déchets vert sec et de terre végétale. (Longueur 5 m, et d'un largueur de 1,5 m, la hauteur 1 m) couvrir par un film plastique pour garder la température et l'humidité et accélérer la biodégradation des matières carboniques.

Terre végétale	Déchets verts
1416 Kg	1416 Kg

**Tableau 07 : préparation de matière organique.**

#### II.4. Matériels :

**Photo 02 :** Tracteur a remorque de benne



**Photo 03 :** Pelle et râteau



**Photo04 :** compresseur



**Photo 05 :** Brouette



**Photo 06 :** tare de pascale



**Photo 07 :** Broyeur

#### **II.5.Méthodologie :**

Cette étude s'est focalisée sur le compostage des déchets verts. Le compostage permet de valoriser ces bio-déchets pour former un produit stable : le compost. Le procédé de compostage étudié est un compostage en andains ou en tas élaboré sa plateforme. A travers cette étude nous avons tenté d'évaluer la production des déchets verts et déchets et leur valorisation par le compostage

Nous avons opté pour le mode de compostage par andains afin de vérifier le rendement de ce mode, et rendre compte de la gestion de l'espace de l'aire de fermentation.

- Nous avons suivi les étapes suivantes :
- Préparation de la matière à composter
- Observation sur site

• II.6. Evaluation de la matière du compost

II.6.1.Préparation de la matière à composter :

Nous avons procédé à :

- \* Le broyage de ces déchets verts : sert à réduire la taille de la matière première grossière pour accroître les surfaces d'attaque et un maintien suffisant interstices entre les particules.



**Photo 08** : déchets verts après le broyage

- \* Le déplacement des déchets



**Photo 09** : le déplacement des déchets

- \*Le transport de la terre végétale de Mezeghrane à l'exploitation



**Photo 10** : le transport de la terre végétale

\***La mise en place des andains** : consiste à placer le mélange de matières à composter en longs tas étroits



**Photo 11** : la plateforme du compostage

\_ **On a pesé une :**

\_ **Brouette vide** : 16 Kg

\_ **Quatre échantillons des brouettes remplis** : 30 Kg ; 28 Kg ; 26 Kg ; 28 Kg .

\_ **Le poids nette** :  $(30 - 16 = 14 \text{ Kg})$  ;  $(28 - 16 = 12 \text{ Kg})$  ;  $(26 - 16 = 10 \text{ Kg})$  ;  $(28 - 16 = 12 \text{ Kg})$  .

\_ **Le moyen du poids** : 12 Kg .

\_ **Le poids globale de déchets** : 1416 Kg ( 118 Brouettes . 12 Kg )

\_ **Seau vide** : 1 Kg

\_ **Seau remplis de la terre végétale** : 25 Kg .

\_ **Le poids nette** : 24 Kg ( 25Kg -1Kg) .

\_ **Le poids globale de terre végétale** : 1416 Kg (59 Seau. 24 Kg).



Photo 12 : l'opération de peser





**Photos 13** : mise en place du 1 andain

\***Couverture du 1 andain** : pour limiter l'impact en cas de pluies intenses ou de périodes fortement ensoleillées sur le processus de dégradation.



**Photo 14** : Couverture du 1 andain

L'arrosage : l'arrosage de la masse en fermentation permet de maintenir un taux d'humidité de 50 à 70%.



**Photo 15** : arrosage de lot du compostage

**Le retournement** : c'est un système d'aération le plus fréquent pour fournir l'oxygène indispensable lors le processus de compostage pour maintenir les conditions aérobies nécessaire à une décomposition rapide et inodore



**Photo 16** : le retournement

**II.6. 2. Les étapes de valorisation des déchets vert :**

	<b>Etape 01 Mise en place</b>	<b>Etape 02 Retournement</b>	<b>Etape 03 L'arrosage</b>
<b>12 Février</b>	×		
<b>22 Février</b>		×	
<b>03 Mars</b>		×	×
<b>13 Mars</b>			×

**Tableau 08** : Les étapes de valorisation des déchets vert

**II.6.3. Méthode d'analyse :**

**II.6.3.1. Observation sur site :**

Afin de suivre l'évolution du processus de compostage, nous avons procédé régulièrement à des observations sur site au niveau des andains de compost par :

- L'observation visuelle
- Les tests de température
- Les tests d'humidité

**II.6.3.2. Observations visuelles :**

L'observation visuelle est très importante pour évaluer les lots de compost aux cours du processus de compostage. On observe régulièrement la granulométrie et la couleur des lots mais aussi l'apparition des macroorganismes (champignon et insectes).

Les observations visuelles permet de déterminer la maturité du compost. Le compost mûr est de couleur très foncé, d'odeur de terre, souple au toucher, et dont on ne peut reconnaître à l'œil nu les composés d'origine.

Pour nos observations visuelles nous avons tenu compte des critères suivants : l'aspect du substrat, sa couleur, sa granulométrie, son odeur, son humidité, pourcentage de dégradation, hauteur du lot

#### II.6.4. Tests de températures :

Les températures ont été relevées quotidiennement à l'aide d'un thermomètre à sonde pénétrante de 30cm de long (photo 16).

Pour les mesures de températures, la sonde du thermomètre est plongée dans le lot du compost à 50 cm à partir du sommet du lot. Nous avons creusé 20cm pour atteindre les 50cm de profondeur (figure 9)

le suivi de la température est un indicateur pertinent de l'activité microbienne et des températures élevées sont caractéristiques d'une activité microbienne importante. Le suivi de la température renseigne donc sur la qualité du processus de dégradation



Photo 17 : test de température

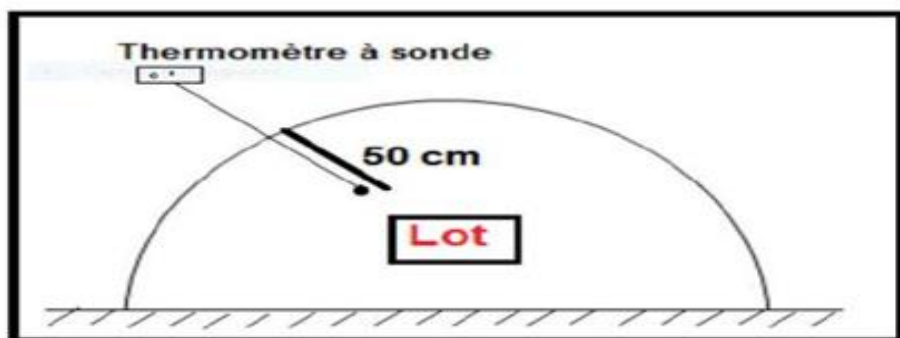


Figure 09 : Schéma illustrant le niveau de mesure de la température avec le thermomètre à sonde

### II.6.5. Tests d'humidité

Ce test consiste à presser entre les mains un échantillon de compost prélevé au coeur de l'andain ; en effet, si l'eau coule entre les doigts, l'humidité dépasse sensiblement 50%. Elle est jugée correcte si la main est légèrement mouillée. En revanche, si elle est quasi sèche, la teneur en eau est insuffisante (Anonyme, 2002 in Sangare, 1993)



**Photo 18** : teste de l'humidité

### II.6.6. Tests de Ph :

le Ph a été mesuré à l'aide d'un Ph-mètre à sonde pénétrante de 30cm de long (photo 19).

Pour les mesures les ph, la sonde du Ph-mètre est plongée dans le lot du compost à 50 cm à partir du sommet du lot. Nous avons creusé 20cm pour atteindre les 50cm de profondeur.



**Photo 19** : teste de Ph



## *Chapitre III*

### *Résultat et discussion*

### III. Resultants et discussions :

#### III.1. Suivi du compostage :

##### III.1.1. Compost obtenu

Le compostage des différents tas de MO a duré 01 mois et 15 jours moyennant des arrosages et des retournements selon les besoins.

A partir des observations visuelles effectuées régulièrement sur les andains ceci a abouti à un compost mur caractérisé par :

- Il ne dégage pas d'odeur d'ammoniac ;
- Sa température est similaire à la température ambiante ;
- Il est granuleux, noir et sent bon.

##### III.1.2 Aspects physiques

###### III.1.2.1 Evolution de PH:

N	0	1	2	3
Ph	6,23	6,53	6,66	6,78

**Tableau 09** : Evolution de PH

D'après la courbe de l'évolution du PH au cours du processus du compostage (Tableau 10) il paraît que le pH dans le milieu étudié est acide au début du compostage, situé entre 6,23 et 6,78.

Ce PH acide détermine la phase d'acidogénèse que se produit au début du processus de dégradation, caractérisée par une diminution du pH vers des valeurs voisines de 6 (Attrassi et al., 2010, Compaoré et al., 2010). Cette diminution du pH est la conséquence de la production d'acides organiques et de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) par les bactéries acidogènes à l'origine de la décomposition du matériel organique complexe.

###### III.1.2.2 Evolution de température :

Semaines	1	2	3	4
C°	29	27,7	28,5	31.61

**Tableau 10** : Evolution de température

L'évolution de la température traduit une bonne évolution de processus de compostage

La température au début de compostage s'augmente et celui-ci traduit une activité microbienne au cours du processus de dégradation de la matière organique.

NB : La diminution de la température avec le temps peut être causée par le ralentissement de l'activité microbienne. Ce ralentissement peut être lié à la stabilisation de la matière organique du compost qui peut être définie comme l'augmentation de sa résistance à la biodégradation.

L'augmentation de la température joue ainsi un rôle dans l'hygiénisation du compost.

	Température	Type de décomposition	Effets sur les germes pathogènes
1	<40°C	Fermentation froide	Virulence intacte pas d'effet désinfectant.
2	40 à 50°C	Fermentation à température moyenne	Désinfection biochimique
3	50 à 65°C		Désinfection biophysique
4	65 à 80°C	Fermentation à chaud	Désinfection thermique

**Tableau 11** ; Hygiénisation du compost en fonction de la température (adapté de Knoll, 1969 In Heynitz, 1985)

### III.1.2.3 L'humidité :

Au début du compostage et avant le retournement, nous avons

Remarqué qu'il y a une différence d'humidité en fonction de la hauteur du lot. Selon le profil que nous avons réalisé :



**Photo 20** : Différence d'humidité en fonction de la hauteur

, on observe quatre zones (1, 2, 3 et 4) du sommet à la base (photo 23).

**Zone 1** : au niveau de la surface de l'andain, qui représente environ 10% de la hauteur, où le Substrat est sec par l'effet des conditions climatiques (vent et température).

**Zone 2** : zone à moyenne humidité, qui représente environ 30% de la hauteur. Cette Humidité est vraisemblablement le résultat de la granulométrie grossière de la zone1 qui lui Assure une bonne aération et la protège contre le dessèchement .

**Zone 3** : qui représente environ 40% de profondeur à très faible humidité. Nous avons Observé au niveau du lot un tassement qui empêche l'eau de circuler vers les parties les plus Basses. Au niveau de cette zone la décomposition est très faible.

**Zone 4** : elle représente environ 20% de profondeur. Contrairement à la zone 3, cette zone Est très humide à cause de la stagnation de lixiviat de l'arrosage à la base de l'andain. Au Niveau de cette zone, nous avons observé des filaments blancs de champignons qui peuvent Être un signe de fermentation anaérobie.

Le maintien d'une humidité adéquate est nécessaire au bon déroulement du processus de Compostage (Mustin, 1987). Cette humidité doit se maintenir à des taux de 50 à 60%, pour se Faire, les arrosages des lots de compost sont nécessaires pour contrebalancer les pertes d'eau. Ces pertes sont dues essentiellement aux réactions exothermiques de fermentation, aux Conditions climatiques et au retournement des andains (Heynitz, 1985).



***Conclusion***

## **Conclusion**

La synthèse bibliographique que nous avons travaillée a montré qu'un grand nombre d'Études préconisent la valorisation des déchets organiques « déchets verts » par la technique du compostage permettant la produire un amendement organiques riche en matière organique stable et humifié.

Ce procédé aérobie se déroule suivant deux phases principales .la première est caractérisée par une forte activité é biologiques en début de compostage, engendrant une forte minéralisation des matières organiques et une élévation de la température. la seconde est une phase de maturation pendant laquelle les processus d'unification engendrant une stabilisation de la matière organique.

La voie naturelle de valorisation par compostage comporte nombreux avantages notamment la réduction des volumes de déchets, l'hygiénisation et la stabilisation de la matière organique, l'incorporation de compost aux sols s'avère efficace pour lutter contre la dégradation de la surface des sols et améliorer sa porosité et sa structure

Le compostage est la transformation d'une matière organique très instable et fortement Biodégradable en une matière organique stable (Leclerc, 2001).

Cette étude nous a permis de caractériser le changement des paramètres physico- chimiques sur le déroulement du processus de compostage. Le compost est constitué essentiellement de déchets verts



*Référence*  
*Bibliographie*

**Amir S., 2005.** Contribution à la valorisation de boues de station d'épuration par compostage: Devenir des micropolluants métalliques et organiques et bilan humique du compost. Thèse de Doctorat de l'Institut National Polytechnique de Toulouse.

**Azouma O.Y., Seme K., 2011.** Eco-exploitation d'une industrie de transformation de produits agricoles. Communication scientifique, Colloque Scientifique sur la Gestion et la Valorisation des Déchets Solides des villes Africaines du 30 mai au 1er juin 2011 à Lomé (Togo).

**ADEME, 2001.** "Déchets organiques - Essai agronomique de plein champ d'un compost des Déchets verts (résultats 8e année d'expérimentation)." Paris, France.

**ADEME, 2008.** Guide pratique sur le compostage. ADEME édition, Paris,

**ADEME. 2006.** Les déchets en France - chiffres clés - décembre 2006

**Al-Daher, R., Al-Awadhi, N. & El-Nawawy, A. 1998.** Bioremediation of damaged desert environment using the windrow soil pile system in Kuwait. *Environment International* 24, 175-180.

**Amine-Khodja, A., Trubetskaya, O., Trubetskoj, O., Cavani, L., Ciavatta, C., Guyot, G. & Richard, C. 2006.** Humic-like substances extracted from composts can promote the photodegradation of Irgarol 1051 in solar light. *Chemosphere* 62, 1021-1027.

**Alburquerque, J. A., Gonzalez, J., Garcia, D. & Cegarra, J. 2006.** Measuring detoxification and maturity in compost made from "alperujo", the solid by-product of extracting olive oil by the two-phase centrifugation system. *Chemosphere* 64, 470-477.

**Alburquerque, J.A., Gonzalez, J., Tortosa, G., Ait Baddi, G., Cegarra, J., 2009.** Evaluation of 'alperujo' composting based on organic matter degradation, humification and compost quality. *Biodegradation* 20, 257-270.

**Amir, S., Jouraiphy, A., Meddich, A., El Gharous, M., Winterton, P., Hafidi, M., 2010.** Structural study of humic acids during composting of activated sludge-green waste: elemental analysis, FTIR and <sup>13</sup>C NMR. *J. Hazard. Mater.* 177, 524-529.

**Adani, F., Genevini, P.L., Agaoglu, S., Gasperi, F., Zorzi, G., 1997.** Organic matter evolution index (OMEI) as a measure of composting efficiency. *Compost Sci. Util.* 5, 53-62. Aguilar, F.J., Gonzalez, P., Revilla, J., de Leon, J.J., Porcel, O., 1997. Agricultural use of municipal solid waste on tree and bush crops. *J. Agr. Eng. Res.* 67, 73-79.

**Albanell, E., Plaixats, J., Cabrero, T., 1988.** Chemical changes during vermicomposting (*Eisenia foetida*) of sheep manure mixed with cotton industrial wastes. *Biol. Fert. Soils.* 6, 266-269.

**Albrecht, R., 2007.** Co-compostage des boues de station d'épuration et de déchets verts: nouvelle méthodologie de suivi des transformations de la matière organique. PhD Thesis. Université Paul Cezanne Aix-Marseille III. Accessed 17 November 2015.

**Beffa T., Blanc M., Lyon P.F., Vogt G., Marchina M., Fisher J.L., Aragno M., 1996.** Isolation of thermos strains from hot composts (60-80°C). *JAEM*, 62: 1723-1727.

**Bernal, M. P., Navarro, M. A., Sanchez-Monedero, M. A., Roig, A., Cegarra, J., 1998.** Influence of sewage sludge compost stability and maturity on carbon and nitrogen mineralization in soil. *Biochem. Soil Biol.*, 30 (3): 305-313.

**Bernard R., 2006. L'eau et la vie. (éd). Dauphin. Paris: 13- 59 p. Berthe C., Redon E., Feuillade G., 2008.** Fractionation of organic matter contained in leachate resulting from two modes of land filling: An indicator of waste degradation. *J. Hazard. Mater.*, 54: 262-271.

**Bresson, L.M., Koch, C., Le Bissonais, Y., Barriuso, E., Lecomte, V., 2001.** Soil surface structure stabilization by municipal compost application. *Soil Sci. Soc. Am.*, 65: 1804-1811.

**BERNAL MP, LOPEZ-REAL JM, SCOTT KM.1993.** Application of natural zeolites for the reduction of ammonia emissions during the composting of organic wastes in a laboratory composting simulator. *Bioresour Technol*

**BERRAL M.T. et PARADELO R. 2011.** A review on the use of phytotoxicity as a compost quality indicator. *Dynamic soil, Dynamic Plant. Global science books. 2011*

**BERNAL MP, LOPEZ-REAL JM, SCOTT KM.1993.** Application of natural zeolites for the reduction of ammonia emissions during the composting of organic wastes in a laboratory composting simulator. *Bioresour Technol* BERRAL M.T. et PARADELO R. 2011. A review on the use of phytotoxicity as a compost quality indicator. *Dynamic soil, Dynamic Plant. Global science books. 2011*

**Barrington, S.C., D.; Trigui, M.; Knight, W., 2002.** Effect of carbon source on compost nitrogen and carbon losses. *Bioresource Technology*. 83, 189-194.

**Bernal, M.P., Paredes, C., Sanchez-Monedero, M.A., Cegarra, J., 1998.** Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes. *Bioresource Technology*. 63, 91-99.

**Cekmecelioglu, D., Demirci, A., Graves, R.E., Davitt, N.H., 2005.** Applicability of Optimised In-vessel Food Waste Composting for Windrow Systems. *Biosystems Engineering*. 91, 479-486.

**Cadorin P., 1995.** Calendrier lunaire de l'agriculteur, Edition de Vecchi. s. a. Paris

**COMPAORE. E, L. NANEMA. S., 2010-** Compostage et qualité du compost de déchets urbains solides de la ville de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso. *Revue TROPICULTURA*, 28, 4, 232-237.

**Chitsan, L., 2008.** A negative-pressure aeration system for composting food wastes. *Bioresour. Technol.*, 99: 7651–7656

**Duplessis J., 2002.** Le compostage facilité: guide sur le compostage domestique NOVA Envirocom,

**DUPRIEZ. N, LEENER. P., 1987-** Jardin et verger d’Afrique. Edition, Terre et vie, Belgique.

**DE BERTOLDI M., G. Vallini et A. Pera., 1982.** The biology of composting: a review. *Waste Management & Research* (1983)

**Damien A., 2004.** "Guide du traitement des déchets, 3ème édition." Paris, France.431

**Deportes, I., Benoit-Guyod, J. L., Zmirou, D. & Bouvier, M. C. 1998.** Microbial disinfection capacity of municipal solid waste (MSW) composting. *Journal of Applied Microbiology* 85, 238-246.

**Eiland, F., Leth, M., Klamer, M., Lind, A.M., Jensen, H.E.K., Iversen, J.J.L., 2001b.** C and N turnover and lignocellulose degradation during composting of Miscanthus straw and liquid pig manure. *Compost Sci. Util.* 9, 186-196.

**FAO, 1993.** Le maïs dans la nutrition humaine. *Bulletin Alimentation et Nutrition*, N° 25, archives de documents de la FAO, département de l’agriculture.

**FAO, 2002.** Stratégie de croissance du secteur agricole et rural - Rapport final. [www.fao.org](http://www.fao.org)

**FAO, 2004.** L’eau, l’agriculture et l’alimentation. Archives de documents de la FAO, département du développement durable

**Finstein M. S., Morris M. L., 1975.** Microbiology of municipal solid waste. *Adv. Appl. Microbiol.*, 19: 113-151.

**Francou C., 2003.** Stabilisation de la matière organique au cours du compostage: influence de la nature du déchet et du procédé de compostage, recherche d’indicateurs pertinents. Thèse de l’Institut national Agronomique de Paris-Grignon

**Feller C. et Beare, 2004.** Influence of land use on the characteristics of humid substances. *European Journal of Soil Science* Volume 56, 343 - 352.

**Fukumoto, Y., Osada, T., Hanajima, D. & Haga, K. 2003.** Patterns and quantities of NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> emissions during swine manure composting without forced aeration-- effect of compost pile scale. *Bioresource Technology* 89, 109-114.

**FAO, 2005.** Méthodes de compostage au niveau de l'exploitation agricole, in: R. V.; Roy Misra, R. N.; Hiraoka, H. (Eds.), Documents de travail sur la Terre et les Eaux. Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, 36

**Fustec, E., Chauvet, E., Gas, G., 1989.** Lignin degradation and humus formation in alluvial soil and sediments. *Applied and Environmental Microbiology*. 55, 922-926

**Gajalakshmi, S.A., Abbasi S., 2008.** Solid Waste Management by Composting: State of the Art. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. 38, 311-400.

**Golueke, C.G., 1991.** Principles of composting, in: The JG Press Inc. (Eds.), The Staff of BioCycle Journal of Waste Recycling. *The Art and Science of Composting*. Pennsylvania, USA, pp. 14-27.

**Gomez-Brandon, M., Lazcano, C., Dominguez, J., 2008.** The evaluation of stability and maturity during the composting of cattle manure. *Chemosphere*. 70, 436-444.

**Gomez-Brandon, Aira M., Lores, M.; Dominguez, J, 2011.** "Changes in microbial community structure and function during vermicomposting of pig slurry." *Bioresource Technology* 102(5): 4171-4178.

**Gobat J.M., Aragno M., Matthey W. (1998).** Le sol vivant. Bases de la pédologie. Biologie des sol. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes. Collection Gérer l'Environnement N°14. Lausanne, Suisse. 519 pages.

**Godden B., 1986.** Etude du processus de compostage du fumier de bovin. Thèse de doctorat en Sciences Agronomiques, Université Libre de Bruxelles. Laboratoire de microbiologie, 136 p.

**Godden B., 1995.** La gestion des effluents d'élevage. Techniques et aspect du compostage dans une ferme biologique. *Revue de l'Ecologie*, 13: 37. Golueke C. G., 1977. The biological approach to solid waste management. *Compost Sci.*, 18: 4-9.

**Guittouny-larchevêque M., 2004.** Valorisation d'un compost de boues urbaines en garrigue pour le reboisement, comportement des jeunes arbres d'une plantation et modification de la dynamique de la végétation naturelle après amendement. Thèse de Doctorat, université de Provence, 227p.

**Hafidi M., 2011:** Biodégradation des déchets organiques par la filière du compostage; atouts et limites. Communication scientifique, Colloque scientifique sur la gestion et la valorisation des déchets solides des villes Africaines, Lomé (Togo), 30 mai au 1er juin 2011.

**Haug R. T., 1993.** The practical handbook of compost engineering. Lewis publishers, 752p. Hargreaves J. C., Adl M.S., Warman P.R., 2008. A review of the use of composted municipal solid waste in agriculture. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 123: 1-14.

**Hodges R. D., 1991.** Soil organic matter: its central position in organic farming. In: Advances in Soil Organic Matter Research: The impact on Agriculture and the Environment, Wilson, W.S. (Ed.), The Royal Society of Chemistry, Redwood Press, Witshire, Pp. 355-365.

**He, L., Huang, G.H., Lu, H., 2011.** Greenhouse gas emissions control in integrated municipal solid waste management through mixed integer bilevel decision-making. *Journal of Hazardous Materials.* 193, 112-119.

**ITAB (2001).** Guide des matières organiques. Tome 1. Deuxième édition 2001 p 22-23.

**Inbar, Y., Chen, Y., Hadar, Y., 1989.** Solid-state Carbon-13 Nuclear Magnetic Resonance and Infrared Spectroscopy of Composted Organic Matter. *Soil Science Society of America Journal.* 53, 1695- 1701.

**Ishii, K., Takii, S., 2003.** Comparison of microbial communities in four different composting processes as evaluated by denaturing gradient gel electrophoresis analysis. *Journal of Applied Microbiology.* 95, 109-119.

**Kaboré, T.W.T., Houot, S., Hien, E., Zombré, P., Hien, V., Masse, D., 2010.** Effect of the raw materials and mixing ratio of composted wastes on the dynamic of organic matter stabilization and nitrogen availability in composts of Sub-Saharan Africa. *Bioresour. Technol.* 101, 1002-1013.

**Koledzi K. E., Baba G., Tchangbedji G., Agbeko K., Matejka G., Feuillade G., Bowen J., 2011.** Experimental study of urbans waste composting and evaluation of it's agricultural valorization in Lomé (Togo). *Asian J. Appl. Sci.,* 4 (4):378-391.

**Koledzi K. E., 2011.** Valorisation des déchets solides urbains dans les quartiers de Lomé (Togo): Approche méthodologique pour une production durable de compost. Mémoire de Thèse de Doctorat, 224p.

**Liang C., Das, K.C., Mc Clendon R.W., 2003.** The influence of temperature and moisture contents regimes on the aerobic microbial activity of a biosolids composting blend. *Bioresour. Technol.,* 86: 131-137.

**Miller F. C., Harper E.R., and Macaulay B.J., 1989:** Field examination of temperature and oxygen relationships in mushroom composting stracks-consideration consideration of stack oxygenation based on utilization. *Aust. J. Exp. Agri.,* 29: 741-750

**MUSTIN M. 1987.** Le Compost, gestion de la matière organique. Ed Francois Dubusc.954p.

**Morel, J.L.G., A.; Nicolardot B.; Benistant, D.; Catroux, G.; Germon, J. C., 1986.** Etude de l'évolution des caractéristiques physico-chimiques et de la stabilité biologique des ordures ménagères au cours du compostage. *Agronomie.* 6, 693-701.

**Ndegwa, P.M., Thompson, S.A., 2001.** Integrating composting and vermicomposting in the treatment and bioconversion of biosolids. *Bioresource Technology*. 76 (2), 107-112.

**Oudart, D., Paul, E., Robin, P., Paillat, J.M., 2012.** Modeling organic matter stabilization during windrow composting of livestock effluents. *Environmental Technology* 33 (19), 2235-2243.

**Paredes, C., Bernal, M.P., Cegarra, J., Roig, A., 2002.** Bio-degradation of olive mill wastewater sludge by its co-composting with agricultural wastes. *Bioresource Technology*. 85, 1-8.

**Pagliai M.N., Vignozzi N., Pellegrini S., 2004.** Soil structure and the effect of management practices. *Soil Till. Res.*, 79: 131-143.

**Poincelot, R.P., 1975.** Biochemistry and methodology of composting. Connecticut Experiment Station Bull. 727, 1 - 38.

**Rabia A., Faiza S., Tasneem A. A., 2007.** Association of fungi, bacteria and actinomycetes with different composts. *Pak. J. Bot.*, 39 (6): 2141-2151.

**Sanchez-Monedero, M.A., Roig, A., Cegarra, J., Bernal, M.P., 1999.** Relationships between watersoluble carbohydrate and phenol fractions and the humification indices of different organic wastes during composting. *Bioresource Technology*. 70, 193-201.

**Sierra, J., Desfontaines, L., Faverial, J., Loranger-Merciris, G., Boval, M., 2013.** Composting and vermicomposting of cattle manure and green wastes under tropical conditions: carbon and nutrient balances and end product quality. *Soil Res.* 51, 142-151.

**Steger, K., Sjogren, A.M., Jarvis, A., Jansson, J.K., Sundh, I., 2007.** Development of compost maturity and Actinobacteria populations during full-scale composting of organic household waste. *Journal of Applied Microbiology*. 103, 487-498.

**Strom, P.F., 1985.** Effect of temperature on bacterial species diversity in thermophilic solid-waste composting. *Applied and Environmental Microbiology*. 50, 899 - 905.

**Soudi B., 2009.** Le compostage des déchets de culture sous serre et du fumier, (MADRPM/DERD Eds), 89p

**Tiquia, S.M., 2005.** Microbiological parameters as indicators of compost maturity. *Journal of Applied Microbiology*. 99, 816 - 828.

**Toundou O., Tozo K., Amouzouvi K.A.A., Lankondjoa K., Tchangbedji G., Kili K., Gnon B., 2014.** Effets de la biomasse et du compost de *Cassia occidentalis* L. sur la croissance en hauteur, le rendement du maïs (*Zea mays* L.) et la teneur en NPK d'un sol dégradé en station expérimentale. *ESJ*, 10 (3): 294-308

**Varadarachi, C., Ghosh, K., 1984.** On humus formation. *Plant and soil*. 77, 305-313.

**Woodbury I.L., 1992.** Applying compost to crops. *Biocycle*, 32: 70-72. Wong J. W. C., Ma K. K., Fang M. M., Cheung C., 1999. Utilization of manure compost for organic farming in Hong-Kong. *Bioresour. Technol.*, 67: 43-46.

**Waksman, S.A., Cordon, T.C., 1939.** Thermophilic actinomycetes and fungi in soils and composts. 47 (1).

**Yu X.Y., Ying G.G., Kookana R.S., 2009.** Reduced plant uptake of pesticides with biochar addition to soil. *Chemosphere*, 76: 665-675.

**Yulipriyanto, H., 2001.** Emission d'effluents gazeux lors du compostage de substrats organiques en relation avec l'activité microbologique (nitrification/dénitrification). Université de Rennes, Rennes, pp. 210.

**Zbytniewski, R.A., Buszewski, B., 2005.** Characterization of natural organic matter (NOM) derived from sewage sludge compost. Part 2: multivariate techniques in the study of compost maturation. *Bioresource Technology*. 96, 479-484.

Znaïdi, I.E.A., 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. C.I.H.E.A.M Méditerranien Agronomic Institute of Bari. Accessed 17 September 2015.

### **Abstract**

The objective of composting is to improve the physico-chemical and biological quality of manure to make it a valued product that can be used in agriculture.

. From this work, we followed the composting process for a period of one month from February to March to assess the quality of compost produced, By analyzing the following parameters: Humidity, pH, We opted for windrow composting to verify the performance of this mode, and report on the management of the fermentation area space.

**Key Word** : composting process, agriculture, fermentation area space

### **résumé**

L'objectif du compostage est d'améliorer la qualité physique- chimiques et biologique des déchets verts pour en faire un produit valorisé et utilisable en agriculture.

A partir de ce travail, Nous avons effectué un suivi du processus de compostage pendant une durée de un mois allant de février à Mars afin d'évaluer la qualité du compost produit,

On a mesuré les paramètres suivants : L'humidité, le pH, et la température.

Nous avons opté pour le mode de compostage par andains afin de vérifier le rendement de ce mode, et rendre compte de la gestion de l'espace de l'aire de fermentation.

**Mot Clé** : déchets verts , agriculture, compost, compostage par andains, fermentation

### **ملخص:**

الهدف من التسميد هو تحسين الجودة الفيزيائية و الكيميائية و البيولوجية للسماد لكي

يمكننا استخدامه في الزراعة في هذا العمل تابعنا عملية التسميد لمدة شهر من فيفري الى

مارس (نضرا للظروف ) قمنا بقياس درجة الحرارة ; الحموضة و الرطوبة.

**الكلمات المفتاحية:** النفايات الخضراء ، فلاحه، السماد ، تسميد ، تخمير