

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

UNIVERSITE SAAD DAHLAB BLIDA 1

FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

DEPARTEMENT DES BIOTECHNOLOGIES

## Thème

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE  
MASTER ACADEMIQUE EN SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

SPECIALITE: PHYTOPHARMACIE APPLIQUEE

Etude et évaluation chimique du compostage de différents  
types de matière organique sur quelques paramètres  
biologiques du ver du fumier (*Eisenia foetida*).

Présenté par: **BENHAMMOUDA Bouchra**

Mme. BABA AISSA K .	M.A.A	U.S.D.B.	Présidente
Mr. AROUN M.E.F.	M.C.B	U.S.D.B.	Promoteur
Mr. DJAZOULI Z.E.	Pr	U.S.D.B.	Co-promoteur
Mme. NEBIH D.	M.C.B	U.S.D.B.	Examinatrice
Mr. DJIDJIK A.	Ingénieur	I.T.A.F.V.	Invité

Année Universitaire 2016/2017



## *Remerciements*

*Avant tout, je remercie Dieu de m'avoir donné la santé, la patience, la force et le courage nécessaire pour réaliser ce travail.*

*Je tiens à témoigner toute ma gratitude et tout mon respect à mon promoteur Mr **Aroun M.E.F** et mon co-promoteur Mr **Djazouli Z.E.** pour leur compétence scientifique, leur encouragement, leur conseil et patience dans le suivi de la réalisation de ce mémoire*

*Je tiens à remercier également Mr **Djidjik A S.** Ingénieur d'État, Responsable du laboratoire d'agro-pédologie à I.T.A.F.V. pour son aide et sa précieuse participation dans la réalisation des analyses physico-chimiques des substrats.*

*Mes vifs remerciements s'adressent aux membres du jury; Mmes **Baba Aïssa K.** présidente et **Nebih D.** examinatrice qui ont bien voulu accepter de consacrer leur temps précieux pour juger ce travail*

*J'adresse également mes sincères remerciements Mme **Djemai Y,** Ingénieur de laboratoire "zoologie", pour son aide dans la réalisation de ce travail.*

*Et enfin je remercie de tout mon cœur toutes mes amies et mes proches qui m'ont aidé pendant les périodes difficiles.*



Dédicace :

*Je dédie ce travail aux êtres les plus chers a mon cœur :*

*A mes chers parents « ma mère ma fierté; mon père ma source de soutien » ; que nulle dédicace ne puisse exprimer mes sincères sentiments, pour leurs patience illimitée, leur encouragement contenu, leur aide , en témoignage de mon profond amour et respect pour leurs grands sacrifices*

*A ma belle-famille ; vous m'avez accueilli à bras ouverts dans votre famille. En témoignage de l'attachement ; de l'amour et de l'affection que je porte pour vous, je vous dédie ce travail avec tous mes vœux de bonheur, de santé et de prospérité*

*A mes chers sœurs : Amira et Yasmine ;*

*A mes belles -sœurs : Imen et, Israa*

*En témoignage de mon amour et de ma grande affection, je vous prie de trouver dans ce travail l'expression de mon estime et mon sincère attachement, je prie Dieu ; le tout puissant pour qu'il vous donne bonheur et prospérité*

*A mon fiancé Adel ; a qui je dois une grande part de la réussite de mes études grâce a son soutien et sa compréhension et a qui je souhaite tout le bonheur du monde*

*A ma belle-mère et A mon beau-frère yacine*

*A tous mes amis de la spécialité phytopharmacie appliquée*

*Bouchra*

**Etude et évaluation chimique du compostage de différents types de matière organique sur quelques paramètres biologique de ver du fumier (*Eisenia foetida*)**

**Résumé**

Les déchets organiques des secteurs domestique, service, agro-industriel, comme le marc de café, les coquilles d'œuf, le carton, le pain dur constituent une source de valorisation en lombriculture par le ver du fumier ou du terreau (*Eisenia foetida*) dont l'élevage a été mené dans 4 types de substrats constitués par des mélanges de ces différents composés organiques; E<sub>1</sub> (marc de café), E<sub>2</sub> (marc de café, coquille d'œuf, carton broyé, tourbe professionnelle, pain broyé ), E<sub>3</sub> (marc de café, coquille d'œuf, carton broyé, tourbe professionnelle), E<sub>4</sub> (marc de café, carton broyé, chapelure de pain), a pu mettre en évidence après 17 semaines de lombricompostage que la composition physico-chimique des 4 substrats diffère de celle du substrat brut non lombricomposté, et que le taux de croissance relatif, la fécondité globale et le poids par ver diffèrent dans les 4 substrats lombricompostés.

**Mots Clés** : Caractérisation physico-chimique, *Eisenia foetida*, lombricompostage; paramètres biologiques, substrat organique.

## **Study and chemical valuation of composting of different types of organic matter on some biological parameters of manure's worm (*Eisenia foetida*)**

### **Abstract**

The organic waste of domestic, service, agro-industrial field, as the grounds of coffee, the shells of egg, the cardboard, the hard bread constitute a source of promotion in lombriculture by the worm of manure or humus (*Eisenia foetida*) animal breeding of which was led in 4 types of substrate constituted by mixture of these different organic compounds; E<sub>1</sub> (grounds of coffee), E<sub>2</sub> (grounds of coffee, shell of egg, crushed cardboard, crushed bread, professional peat), E<sub>3</sub> (grounds of coffee, shell of egg, crushed cardboard, professional peat), E<sub>4</sub> (grounds of coffee, crushed cardboard, crushed bread), could show after 17 weeks of lombricomposting that the physicochemical composition of the 4 substrates differs from that of raw substrate no lombricomposted, and that the relating growth rate, total fecundity and weight by worm differ in 4 lombricomposted substrate.

**Key Words:** biological parameters, *Eisenia foetida*, lombricompostage, physicochemical characterization, organic substrate.

دراسة و التقييم الكمياني لتسميد مختلف انواع المواد العضوية على العوامل البيولوجية لدودة السماد

### (*Eisenia foetida*)

#### الملخص

تستخدم النفايات العضوية "المنزلية، الخدمات، بقايا الصناعات الفلاحية" مثل : تفل القهوة، قشور البيض، ورق المقوى المطحون و فتات الخبز كوسط لتربية دودة الارض و لهذا قمنا باستعمال اربع محيطات متكونة من هذه المركبات العضوية :E<sub>1</sub>: تفل القهوة، E<sub>2</sub> : تفل القهوة + فتات الخبز + قشور البيض مطحون+ ورق مقوى مطحون+ سماد عضوي، E<sub>3</sub>: تفل القهوة+ قشور بيض مطحون+ ورق مقوى مطحون+ سماد عضوي، E<sub>4</sub>: تفل القهوة+ ورق مقوى+ فتات الخبز حيث تمكنا من اثبات انه بعد 17 اسبوع من vermicompostage ان التركيبات الفزيوكيميائية للمحيطات الاربعة تختلف عن المحيط الخام الغير lombricomposté : تفل القهوة، وان القيمة النسبية للنمو "الخصوبة العامة، وزن الدودة" يختلف من محيط لآخر.

الكلمات المفتاحية: العوامل البيولوجية، محيط العضوي، lombricompostage، vermicompstage

Liste des abréviations	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Sommaire	

INTRODUCTION GENERALE.....	1
CHAPITRE I: Le marc de café source de lombricompostage.....	3
1. Le marc de café .....	3
1.1. Importance dans le monde et en l'Algérie .....	3
1.2. Propriétés et valorisations.....	4
1.2.1. Propriétés.....	4
1.2.1.1. Propriétés physiques.....	4
1.2.1.2. Propriétés chimiques.....	5
1.2.2. Valorisation .....	7
2. Source de lombricompostage.....	7
2.1. le ver du compost; <i>Eisenia foetida</i> / <i>E. fetida</i> .....	8
2.1.1. Origine et classification.....	8
2.1.1.1. Origine .....	8
2.1.1.2. Classification et description.....	8
2.1.2. Biologie .....	10
2.1.2.1. Cycle de vie.....	10
2.1.2.2. Maturité sexuelle.....	11
2.1.2.3. Ponte des cocons.....	12
2.1.2.4. Incubation.....	12
2.1.2.5. Fécondité.....	13
2.1.2.6. Durée de développement.....	13
2.2. Lombricompost.....	13
2.2.1. Compost solide .....	13
2.2.2. Le jus de lombricompost .....	14
2.2.3. Composition chimique .....	14
2.2.4. Rôle et intérêt .....	14
CHAPITRE II: Matériel et méthode .....	16
Objectif .....	16
1. Matériel .....	16
1.1. Le ver du fumier, <i>Eisenia foetida</i> .....	16
1.2. Les déchets organiques d'origine domestique .....	16
1.3. Salle d'élevage .....	17
1.4. Les Boîtes de lombricompostage .....	17
2. Méthodes .....	18
2.1. Plan de lombricompostage .....	18
2.2. Paramètres déterminés .....	18
2.2.1. Paramètres biologiques .....	18
2.2.2. Paramètres physico-chimiques .....	19

2.2.2.1. Mesure du pH .....	19
2.2.2.2. Humidité (%) .....	19
2.2.2.3. Carbone organique (%) .....	19
2.2.2.4. Matière organique (%) .....	20
2.2.2.5. Azote total (%) .....	20
2.2.2.6. Rapport C/N .....	20
2.2.2.7. Phosphore assimilable .....	20
2.2.2.8. Calcaire actif: .....	21
2.3. Exploitation des résultats .....	21
2.3.1. Evolution temporelle et comparée des différents paramètres biologiques et physico-chimiques des substrats .....	21
2.3.2. Analyse multivariée .....	22
CHAPITRE III : Résultats et discussion .....	23
1. Resultats .....	23
1.1. Analyse des paramètres physico-chimiques des 4substrats lombricompostés et du témoin (marc de café) .....	23
1.1.1. Paramètres physiques .....	23
1.1.1.1. pH .....	23
1.1.1.2. Humidité .....	24
1.1.2. Paramètres chimiques .....	24
1.1.2.1. Carbone organique .....	24
1.1.2.2. Azote total .....	25
1.1.2.3. Matière organique .....	25
1.1.2.4. Rapport C/N .....	26
1.1.2.5. Phosphore assimilable .....	26
1.1.2.6. Calcaire actif .....	27
2. Tendence physico-chimique des substrats lombricompostés .....	27
3. Etude comparée de la composition physico-chimique des substrats lombricompostés .....	28
3.1. Effet comparé de la composition physico-chimique .....	28
3.2. Richesse physico-chimique comparée des substrats lombricompostés.....	29
4. Variation de la composition physico-chimique avec le témoin, le marc de café et des différents substrats bio transformés .....	30
4.1. Variation de la composition physico-chimique des différents substrats lombricompostés par rapport au marc de café (témoin) .....	30
4.2. Richesse physico-chimique comparée des substrats lombricompostés par rapport au témoin, le marc de café .....	31
5. Effet des différents substrats lombricompostés sur la fécondité globale et le poids moyen d' <i>Eisenia foetida</i> .....	32
5.1. Etude comparée des différents substrats lombricompostés sur la fécondité globale et le poids moyen d' <i>Eisenia foetida</i> .....	32
5.2. Effet des substrats sur les paramètres biologiques .....	34
5.2.1. Effet temporel sur le poids des vers .....	34

5.2.2. Effet temporel sur la fécondité globale par ver .....	35
5.2.3. Taux de croissance relatif des vers .....	35
6. Tendence physico-chimique des substrats lombricompostés sur les paramètres biologiques d' <i>Eisenia foetida</i> .....	35
7. Discussion.....	37
7.1. Evolution temporelle et comparée des différents paramètres physico- chimiques et biologiques des substrats .....	37
7.2. Effets de la composition physico-chimiques des substrats sur la fécondité globale et le poids par individu d' <i>Eisenia foetida</i> .....	40
 CONCLUSION GENERALE .....	 43
Références bibliographiques	

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1 :</b>	Composition élémentaire du marc de café .....	3
<b>Tableau 2 :</b>	Les principaux composés du marc de café .....	3
<b>Tableau 3 :</b>	Quantification des différents polysaccharides du marc de café .....	4
<b>Tableau 4 :</b>	Les principaux minéraux du marc de café.....	4
<b>Tableau 5 :</b>	Composition des 4 substrats de lombricompostage.....	16
<b>Tableau 6 :</b>	Analyse physico-chimique.....	21
<b>Tableau 7 :</b>	Taux de croissance relatif des vers d' <i>Eisenia foetida</i> dans les 4 substrats.....	33

## Liste des figures

<b>Figure 1 :</b>	Grain de marc de café commercial observé au microscope électronique à balayage .....	2
<b>Figure 2 :</b>	Disposition des soies chez les vers de terre.....	7
<b>Figure 3 :</b>	Le ver de fumier, <i>Eisenia foetida</i> .....	8
<b>Figure 4 :</b>	Cycle de vie du ver <i>Lumbriscus terrestris</i> .....	8
<b>Figure 5 :</b>	Le ver du fumier; <i>Eisenia foetida</i> .....	14
<b>Figure 6 :</b>	Les éléments constituant des 4 substrats de lombricompostage.	15
<b>Figure 7 :</b>	Boîte d'élevage.....	15
<b>Figure 8 :</b>	pH des 4 substrats lombricompostés et du témoin (marc de café).....	21
<b>Figure 9 :</b>	Humidité des 4 substrats lombricompostés et du témoin (marc de café).....	22
<b>Figure 10 :</b>	Taux de carbone organique des différents substrats.....	23
<b>Figure 11 :</b>	Taux d'azote total des 4 substrats lombricompostés et du témoin (marc de café).....	23
<b>Figure 12 :</b>	Taux de matière organique des 4 substrats lombricompostés et du témoin (marc de café).....	24
<b>Figure 13 :</b>	Rapport C/N des 4 substrats lombricompostés et du témoin (marc de café).....	24
<b>Figure 14 :</b>	Quantité de phosphore assimilable des 4 substrats lombricompostés et du témoin (marc de café).....	25
<b>Figure 15 :</b>	Taux de calcaire actif des 4 substrats lombricompostés et du témoin (marc de café).....	25
<b>Figure 16 :</b>	Analyse comparée de la composition physico-chimique des substrats.....	26
<b>Figure 17 :</b>	Modèle GLM appliqué à la variation de la composition physico-chimique (b) des différents substrats lombricompostés (a).....	27
<b>Figure 18 :</b>	Composition physico-chimique comparée des 4 substrats lombricompostés.....	28

<b>Figure 19 :</b>	Variation comparée des paramètres physico-chimiques (b) des différents substrats (a) lombricompostés par rapport au marc de café .....	29
<b>Figure 20 :</b>	Composition physico-chimique comparée des 4 substrats lombricompostés par rapport au témoin, le marc de café.....	30
<b>Figure 21 :</b>	Effet des différents substrats lombricompostés (a) sur la fécondité globale et le poids moyen (b) d' <i>Eisenia foetida</i> .....	31
<b>Figure 22 :</b>	Effet comparé des différents substrats lombricompostés sur la fécondité globale et le poids moyen d' <i>Eisenia foetida</i> .....	23
<b>Figure 23 :</b>	Evolution temporelle pondérale d' <i>Eisenia foetida</i> en fonction des substrats.....	32
<b>Figure 24 :</b>	Evolution temporelle de la fécondité globale d' <i>Eisenia foetida</i> en fonction des substrats.....	33
<b>Figure 25 :</b>	Effet des paramètres physico-chimiques des substrats lombricompostés sur les paramètres biologiques d' <i>Eisenia foetida</i> .....	34

## Liste des abréviations

<b>C</b>	Carbone
<b>C/N</b>	Carbone/azote
<b>Ca</b>	Calcium
<b>Ca Co<sub>3</sub></b>	Calcaire actif
<b>Cb</b>	Carton broyé
<b>Cd</b>	Cadmium
<b>Cm</b>	Centimètre
<b>Co</b>	Coquille d'œuf
<b>Cp</b>	Chapelure de pain
<b>E</b>	Eisenia
<b>g</b>	Gramme
<b>G.L.M</b>	Modèle général linéaire
<b>H</b>	Hydrogène
<b>H</b>	Humidité
<b>K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub></b>	Bichromate de potassium
<b>kg</b>	Kilogramme
<b>M.O</b>	Matière organique
<b>Mc</b>	Marc de café
<b>mg</b>	Milligramme
<b>Mg</b>	Magnésium
<b>mm</b>	Millimètre
<b>N</b>	Azote
<b>N.P.K</b>	Azote, phosphore, potassium

<b>Ni</b>	Nickel
<b>NO<sub>3</sub></b>	Nitrate
<b>O</b>	Oxygène
<b>P</b>	Pseudomonas
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	Phosphore assimilable
<b>Pb</b>	Plomb
<b>PO<sub>4</sub></b>	Phosphate
<b>S</b>	Soufre
<b>SPG</b>	Spent coffee grounds
<b>Tp</b>	Tourbe professionnelle

# **INTRODUCTION GÉNÉRALE**

## Introduction générale

Dés 1992, le sommet de la Terre de Rio jetait les bases fondatrices du développement durable. Les êtres humains ont droit à une vie saine et productive avec la nature. La protection de l'environnement doit faire partie intégrante du processus de développement pour satisfaire aux besoins des générations présentes et futures (**Houot et al., 2003**).

Dans de nombreux pays, le recyclage des déchets a marqué une étape essentielle dans cette prise de conscience qui consiste à utiliser les déchets comme ressources. Les progrès techniques accomplis dans ce domaine ont vu naître de nouvelles solutions de valorisation et de recyclage dont le compostage, procédé ancestral connu de tous les agriculteurs, a lui aussi connu un regain d'intérêt en agriculture pour ses propriétés fertilisantes et d'amendements organiques pour des terres toujours plus sollicitées en terme de rendement, justifie pleinement sa valeur agronomique.

En Algérie, une multitude de ressources en matières organiques restent non exploitées par le procédé du compostage, en raison du manque de vulgarisation. Ce sont les sous-produits et les déchets organiques en grandes quantités d'origine ménagère, de services et agro-industriels disponibles durant toute l'année.

Les agriculteurs n'utilisent que des fumiers de bovin, d'ovin et des fientes de volailles non humifiés. Ces déchets d'origine animale peuvent être exploités avec des déchets domestiques, le marc de café, le carton, les coquilles d'œuf, le pain dur dans le cadre de la production de compost à partir de la lombriculture. En effet, ce procédé de compostage va permettre non seulement la production d'engrais biologique très riche en nutriments pour les plantes, mais également la culture d'une faune et d'une microflore qui vont assurer la décomposition des constituants organiques des sous produits, permettre après épandage du bioproduit d'augmenter la fertilité des sols cultivés et en même temps les préserver des différents types d'érosion.

C'est dans ce cadre que s'intègre l'objectif de notre travail qui vise à valoriser les différents déchets organiques d'origine ménagère, mais également de service et agro-industriel, comme le marc de café, le carton, les coquilles d'œuf et le pain dur comme substrat de lombricompostage par le ver du fumier, *Eisenia foetida*, afin de mettre en évidence:

dans une première partie l'efficacité du ver du fumier sur le processus de l'évolution finale de la composition physico-chimique du compostage de quatre différents substrats constitués de proportions variables de mélanges de déchets organiques d'origine ménagère qui sont le marc de café, le carton, les coquilles d'œuf, le pain dur avec la tourbe professionnelle, comparée à la composition physico-chimique du marc de café brut non lombricomposté.

Dans une deuxième partie, déterminer l'effet de ces différents substrats sur le taux de croissance relatif, la fécondité globale par ver et le poids corporel final des vers.

Ce mémoire est composé de trois parties: une première partie portant sur une synthèse bibliographique sur le marc de café comme source de lombricompostage, une deuxième partie, matériel et méthodes et une troisième partie portant sur une analyse des résultats et discussion.

**CHAPITRE I:**  
**LE MARC DE CAFE, SOURCE**  
**DE LOMBRICOMPOSTAGE**

## CHAPITRE I: Le marc de café, source de lombricompostage

### 1. Le marc de café

#### 1.1. Importance dans le monde et en Algérie

Le marc de café (en espagnol *poso de café* et en anglais *spent coffee grounds*, SPG), est issu d'une des boissons les plus populairement consommées dans le monde. C'est un déchet produit aussi bien à l'échelle domestique qu'industrielle. Sa gestion représente ainsi un défi majeur notamment pour les entreprises, près de la moitié de la production mondiale servant en effet à la fabrication de café soluble instantané (préparation de café ensuite lyophilisée ou atomisée pour se retrouver sous forme de poudre **(Anonyme, 2016)**).

Au cours de l'année caféière 2014/2015, la production a été estimée à environ 141,9 millions de sacs, tandis qu'une première estimation de la consommation mondiale de café au cours de l'année civile 2014 était de 149,3 millions de sacs, suggérant une résilience de la demande mondiale de café. Ceci représente un taux de croissance moyen de 2,3% au cours des quatre dernières années. Sur le plan de la répartition géographique de la consommation de café, l'Afrique et l'Asie ont enregistré la croissance la plus dynamique de 5% et 4,5% respectivement, alors qu'elles ne représentent que 7% et 19% du total mondial. La croissance la plus forte pendant cette période se situe dans les pays émergents, avec une moyenne de 4,6% depuis 2011, et une demande particulièrement forte en Russie, République de Corée, Algérie et Turquie **(Anonyme, 2015 a)**.

Par ailleurs, l'Algérie a importé, selon les chiffres du Centre national de l'informatique et des statistiques **(Anonyme, 2008)** des douanes, plus de 60 983 tonnes de café au cours du premier semestre 2008 pour 149,8 millions dollars, alors que les importations nationales de café avaient atteint 110 000 tonnes pour 220 millions de dollars durant toute l'année 2007 **(Anonyme, 2015 b)**.

Ainsi, selon les statistiques des douanes, notre pays a consacré, environ 300 millions de dollars américains pour importer 130 000 tonnes de café chaque année, dont 95% de Robusta et 5% d'Arabica, avec pour premiers fournisseurs le Vietnam, la Côte d'Ivoire, l'Indonésie et le Brésil.

Il est reconnu que le café est la boisson préférée des Algériens, qui en consomment annuellement plus de trois kilogrammes par personne.

En Algérie, le marc de café est généré par de nombreux établissements; les ménages, hôtels, restaurants, cafétérias et industries de fabrication de café. En effet,

une éventuelle récupération du marc de café devra permettre la mise en œuvre de nombreux projets dont les avantages sont d'ordres environnementaux et socio-économiques.

## 1.2. Propriétés et valorisations

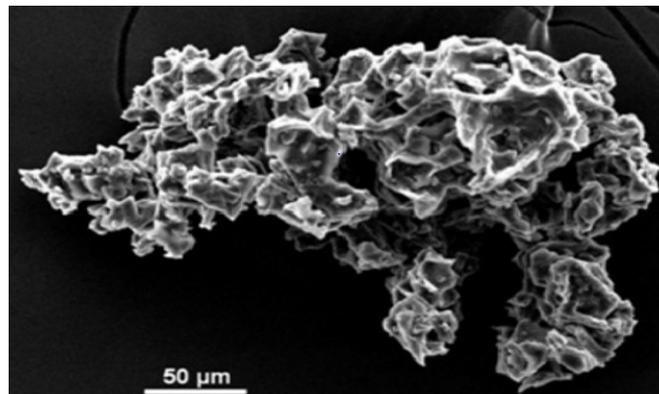
Le marc de café présente plusieurs propriétés physiques et chimiques. De ces propriétés découlent des possibilités de valorisation et d'utilisation de cette matière. Au regard des différentes utilisations possibles du marc de café, les impacts environnementaux, économiques et sociaux sont étudiés afin de pouvoir juger de la pertinence de récupérer le marc de café de manière spécifique.

### 1.2.1. Propriétés

Le marc de café possède plusieurs propriétés, soit physiques, chimiques et également bioactives. Celles-ci sont exposées ici.

#### 1.2.1.1. Propriétés physiques

Le marc de café possède un haut taux d'humidité variant entre 55 et 80 %. **(Gomez-de la Cruz et al., 2015)**. Plus l'humidité est grande plus la croissance microbienne est favorisée, donc des stratégies de conservations optimales sont nécessaire afin de récupérer une matière de qualité. Ces stratégies peuvent représenter des coûts économiques supplémentaires pour le transport. **(Cruz et al., 2009)**.



**Figure 1: Grain de marc de café commercial observé au microscope électronique à balayage (Chen et al., 2013)**

La morphologie des grains de marc de café prise par microscopie électronique à balayage illustré sur la figure 1 montre que le diamètre des grains de marc de café séchés varie entre 50 et 100  $\mu\text{m}$ . Cependant, ce diamètre augmente avec le taux d'humidité. En effet, lorsque le marc de café devient de plus en plus humide, l'adhésion entre les grains augmente et ces derniers forment des agglomérats de plus grande taille **(Chen et al., 2013)**.

La densité apparente du marc de café est environ de 0,42 g/cm<sup>3</sup> et la densité réelle est d'environ 1,16 g/cm<sup>3</sup>.

Leur porosité ne possède pas de micropores. Quelque soit le taux d'humidité et la taille des pores, elle est d'environ 10 µm. (Chen et al., 2103) Toutefois, cette porosité peut être augmentée si nécessaire en diminuant la cristallinité du marc de café en dégradant sa matrice cellulose-lignine. (Ballesteros et al., 2010). Enfin, la surface des grains est de charge négative (Shen et Gondal, 2013).

La majorité des études sur le marc de café montrent que son pouvoir calorifique est évalué en moyenne à 5000 kcal/kg de matière sèche. Cependant, des études affirment que ce pouvoir est de 5700 kcal/kg, similaire à celui du charbon et supérieur à ceux d'autres biomasses. Cependant, celui-ci diminue lorsque le taux d'humidité du marc de café augmente. Aussi, la température de combustion spontanée du marc de café est de 460 °C (Zuorro et Lavecchia, 2012).

### 1.2.1.2. Propriétés chimiques

Le carbone est l'élément majoritaire du marc de café comme le montre la composition chimique élémentaire reportée dans le tableau 1, mais le C/N peut varier entre 20 et 24.

**Tableau 1: Composition élémentaire du marc de café (Limousy et al., 2013)**

Éléments	Quantités
Carbone (C)	49.7%
Hydrogène (H)	s.d.
Azote (N)	2.3%
Oxygène (O)	s.d.
C/N	22

La composition du marc de café est essentiellement constitué de polysaccharides (tableau 3), de lipides, de protéines, de polyphénols et de minéraux (Zamora et al., 2015), dont la proportion des principaux composés sont reportés dans le tableau 2.

**Tableau 2: Les principaux composés du marc de café (Mantell, 1975)**

Éléments	Quantités
Glucides	45,3 %
Lipides	9,3-16,2 %
Protéines	14 %
Minéraux	6800 mg/kg de matière sèche
Polyphénols	13-18 mg acide gallique éq.

**Tableau 3: Quantification des différents polysaccharides du marc de café (Ballesteros et al., 2014).**

Composés chimiques	Quantité (g/100g de matière sèche)
Cellulose	12.40
Hémicellulose	39.90
Lignine	23.90

Les glucides sont les éléments les plus abondants dans le marc de café (Mantell, 1975). En effet, il est riche polysaccharides représentés par la cellulose et l'hémicellulose (Kondamudi et al., 2008), mais également en lignine (Ballesteros et al., 2014) (tableau 3) qui peut constituer un facteur limitant à cause de sa stabilité et sa non biodégradabilité.

Les taux de lipides varient entre 9,3 % et 16,2 %, parfois aux alentours de 20 %. Aussi, les lipides du marc de café sont composés de 84,4 % de triglycérides. Ceux-ci sont représentés par l'acide linoléique, l'acide palmitique, l'acide oléique et l'acide stéarique (Melo et al., 2014). Ces lipides contiennent aussi des stérols, dont le sitostérol (10-14 %), le stigmastérol (4-5 %) et le campestérol (3-4 %) (Vega et al., 2015).

Le marc de café contient également entre 6,7 et 14 % de protéines. Cependant, il se peut que ces estimations soient surévaluées à cause de la présence d'autres composés contenant de l'azote tel que la caféine, ainsi que plusieurs acides aminés. En effet, 17 acides aminés sont présents dans le marc de café, dont neuf essentiels qui représentent presque 50 % des acides aminés présents, dont une forte concentration aminés à chaîne latérale ramifiée (Vega et al., 2015).

Les minéraux sont aussi présents dans le marc de café. Ils sont très riches en Potassium, Phosphore et Magnésium (Mussatto et al., 2011) (tableau 4).

**Tableau 4: les principaux minéraux du marc de café (Mussatto et al., 2011)**

Minéraux	Quantités (mg/kg)
Potassium	8824 ± 4662
Phosphore	1534 ± 503
Magnésium	2201 ± 1341
Calcium	349 ± 122
Fer	46 ± 21
Manganèse	27 ± 10
Cuivre	25 ± 12

Le marc de café peut être valorisé dans différents secteurs économiques en Algérie, étant donné l'importance de la consommation en café, la quantité et la richesse en éléments bioactifs de ses résidus.

### 1.2.2. Valorisation

Le marc de café peut être utilisé dans de multiples voies de valorisation et d'utilisations. Parmi celles-ci se retrouvent les productions d'éthanol, de biodiesel, de combustibles pour les fours industriels et de granules de combustion pour les fours résidentiels (**Gomez-de la Cruz et al., 2015**). Il peut être utilisé dans l'industrie alimentaire, dans la production de biomatériaux, dans la production de charbon actif, dans le traitement des eaux usées des industries et de l'eau potable. Le marc de café peut aussi être utilisé comme substrat pour la culture de micro-organismes, comme compost (**Carassou, 2015**) et engrais riche en azote (**Hollingsworth et al., 2005**).

Le marc de café possédant un bon ratio C/N peut être utilisé comme fertilisant. Ainsi, trois méthodes de compostage avec du marc de café ont été comparées par **Adi et Noor, en 2009**; soit le vermicompostage, le compostage en cuve et le compostage en andain. Le compostage en cuve présente des résultats plus rapides, mais montre une plus grande perte en azote. Le compostage en andain montre une plus grande augmentation en azote à hauteur de 75 % et le vermicompostage est fortement suggéré d'agir en cocompostage en mélangeant le marc de café avec d'autres matières organiques pour augmenter la quantité de nutriments, car d'après **Liu et Price, (2011)**, l'utilisation du marc de café seul augmente la mortalité des vers de terre.

## 2. Source de lombricompostage

Les lombrics sont les vers qui transforment les fumiers et autres matières organiques décomposables ou du «Lombricompost». Ce sont des vers décomposeurs non fouisseurs, c'est-à-dire qu'ils restent toujours sur la surface du sol (**Anonyme, 2014**).

Les vers les plus efficaces et productifs dans la dégradation de déchets organiques sont *Eisenia andrei*, "le ver rouge de Californie"; *E foetida*, "le ver Tigré"; *Eponychium excavatus*, "ver oriental du compost" et *Eudrilus eugeniae* "le ver africain du compost" (**Edwards et Bholen, 1996**).

Le marc de café peut être décomposé par le vermicompostage et aider à améliorer la qualité du vermicompost produit par *Lumbricus rubellus* pendant 49 jours (**Adi et Noor (2009)**). Mais, d'après **Edwards (1995)** et **Allen (2016)**, les espèces épigées sont écologiquement associées aux substrats organiques, comme le compost et le fumier. Ils dégradent la litière superficielle en matière organique. Parmi ces espèces, quatre sont principalement utilisées en lombriculture: *Eisenia foetida* (Savigny), *E. andrei* (Bouché), *Peronyx excavatus* (Perrier) et *Eudrilus eugeniae* (Kinberg) se trouvent souvent dans les tas de fumier vieilli.

## 2.1. le ver du compost; *Eisenia foetida*/ *E. fetida*

Les travaux d'**Alwaneen (2016)** réalisé en Arabie saoudite dans le but d'une gestion efficace et pour atténuer les problèmes de pollution environnementale résultant de l'élimination des déchets laitiers crus, ont pu montrer que le vermicompostage par *Eisenia foetida* est celui qui est le plus efficace dans le traitement de la communauté des Bactéries pathogènes des déchets laitiers. Les bactéries identifiées par Yadav et *al.* (2013) dans le processus de compostage sont *Klebsiella*, *Bacillus pumilus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *P. restrictum* et *Aspergillus niger*.

Le ver de fumier (*Eisenia foetida*), comme les autres vers épigés décompose la matière organique, aidé des bactéries et des champignons, conduisant à la libération d'éléments simples (azote, phosphore, potassium, etc.) directement assimilables par les plantes. ces Microorganismes et vers jouent un rôle complémentaire dans la dégradation de la matière organique morte. Par ailleurs, le brassage de la terre que réalisent les vers, s'accompagne de la formation d'humus (matière organique étroitement mêlée à la terre) (**Bouché, 1984**).

### 2.1.1. Origine et classification

#### 2.1.1.1. Origine

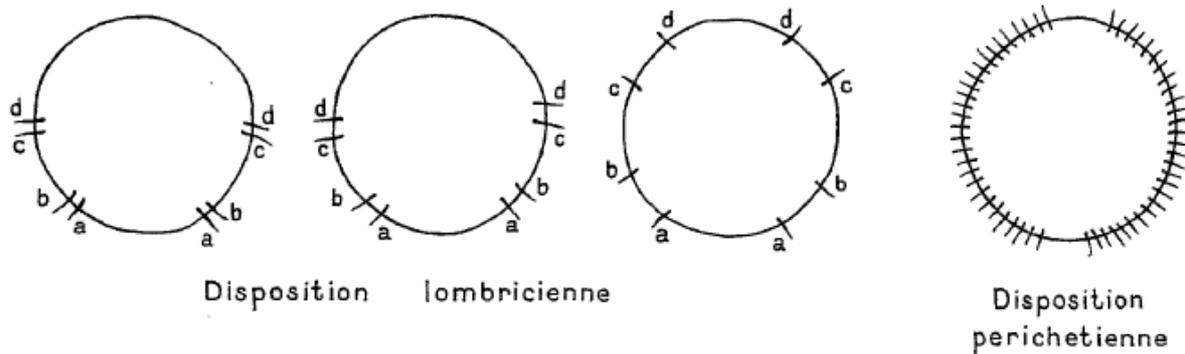
Les ancêtres du ver du fumier actuel vivaient dans l'eau. Ils n'ont pu conquérir la terre ferme qu'à partir du moment où la végétation était présente parce qu'ils se nourrissent essentiellement de matière végétale en décomposition (**Buch, 1991**). Leur histoire remonte vraisemblablement au Précambrien, il y a environ, 700 millions d'années (**Bouché, 1984**).

#### 2.1.1.2. Classification et description

Les vers de terre sont des invertébrés, animaux qui appartiennent à l'embranchement des Annélides. Ces vers segmentés dont la principale caractéristique évolutive est un corps formé d'une série d'anneaux. Ces anneaux très apparents à la surface du corps correspondent à autant de cavités internes séparées, qui permettent d'effectuer des mouvements efficaces pour l'enfouissement dans le sol ou la vase et la nage. Les vers de terre appartiennent à l'ordre des Oligochètes. Il comprend des vers terrestres et aquatiques et dont les soies sont de très petite taille. La famille des Lombricidés est la plus importante des Oligochètes et probablement la plus récente en terme évolutif de la classe. Elle se compose essentiellement de vers terrestres. Elle comprend environ 220 espèces dont 19 sont communes en Europe et se sont répandues à travers le monde, principalement par l'action de l'homme (**Morin, 1999**). Cette famille se reconnaît au clitellum débutant en

arrière du 15e segment et aux pores des spermiductes antérieurs au clitellum (**Bachelier, 1978**).

La famille des Lombricidés se divise en plusieurs genres dont celui d'*Eisenia* qui comprend l'espèce *E. foetida* (**Edwards et Bohlen, 1996**). Ce genre se reconnaît aux Pores des réceptacles séminaux, si présents, situés latéralement entre les soies d et c ou dorsalement au-dessus de la ligne de soies d (Fig. 2) (**Bachelier, 1978**).



**Figure 2: Disposition des soies chez les vers de terre (Bachelier, 1978)**

Les travaux de **Bazri (2015)** ayant porté sur l'étude de la biodiversité des lombriciens et leurs relations avec les propriétés du sol dans différents étages bioclimatiques, dans l'est algérien ont montré l'existence de 18 espèces réparties en trois catégories écologiques, parmi lesquelles les espèces épigées *Eisenia foetida* /*E. fetida* (Savigny, 1826), *Dendroba enabyblica* (Rosa, 1893), *Allolobophora chlorotica* (Savigny, 1826) et *Eiseniella tetraedra* (Savigny, 1826) représentent 22 %, par rapport aux endogées 45 % et les anéciques 22 %.

Le ver de fumier, *Eisenia foetida* (Fig. 3) est de petite taille. D'après **Herrera (2003)** à 9 mois, l'adulte mesure de 8 à 10 centimètres de longueur. Alors que d'après **Buch, (1991)**, cette espèce se reconnaît facilement à sa couleur rosée et à ses anneaux clairs, presque jaunes et sa longueur comprise entre 6 à 8 cm. Tandis que d'après **Bachelier (1978)**, à l'âge adulte, *E. foetida* mesure entre 32 mm et 130 mm, et précise que pour une même espèce, la longueur des vers peut varier du simple au double, selon de nombreux facteurs physiques, dont l'humidité du sol.



Figure 3: Le ver de fumier, *Eisenia foetida* (Morin, 1999)

## 2.1.2. Biologie

### 2.1.2.1. Cycle de vie

Le cycle de vie des lombriciens comprend quatre étapes fondamentales (cocon, juvénile, sub-adulte et adulte) (Fig. 4). Tous les vers de terre sont hermaphrodites. Un échange de spermatozoïdes a lieu lors d'un accouplement, qui se produit généralement à la surface du sol ou dans le solum, lorsque les conditions sont favorables. Quelques jours plus tard, le clitellum (partie renflée formant une bague sur le corps d'un ver de terre adulte) glisse le long de la partie antérieure du ver et le cocon, encore appelé œuf ou zygote, contenant des gamètes mâles et femelle, est émis dans le sol sous forme d'une capsule fermée aux deux extrémités (Pelosi, 2008).

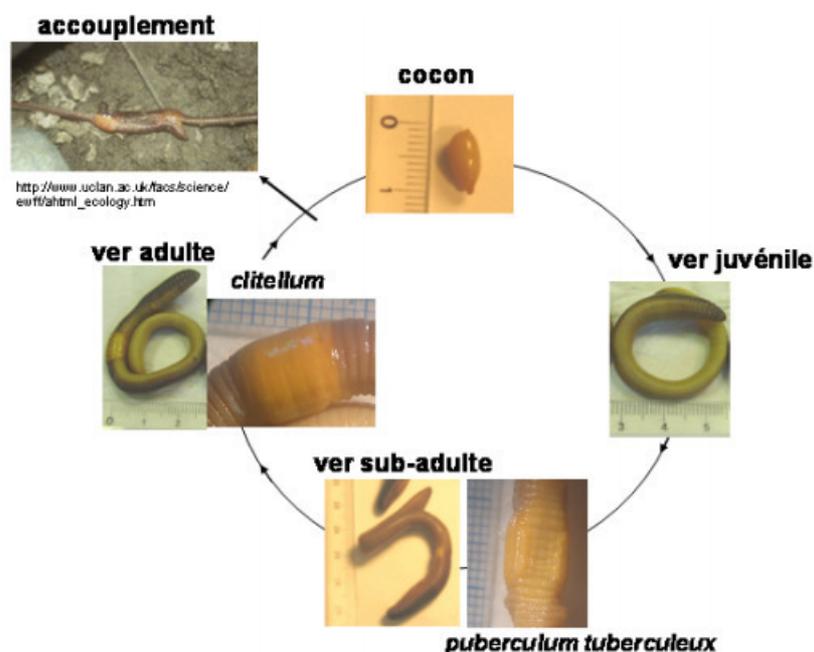


Figure 4: Cycle de vie du ver *Lumbriscus terrestris* (Pelosi, 2008)

Les cocons sont résistants aux conditions défavorables comme la sécheresse ou une modification de la température (**Edwards et Bohlen, 1996**). **Parmelee et Crossley (1988)** et **Edwards et al. (1995)** suggèrent qu'ils peuvent être, pour certaines espèces comme *E. foetida*, les seules formes de vie existantes pendant les mauvaises périodes. Le dessèchement du sol provoque la déshydratation du cocon, ce qui peut retarder le développement embryonnaire (**Gerard, 1967**).

Les vers adultes produisent plusieurs cocons par an, en fonction de leur âge (**Svendson et al., 2005**) et des conditions dans lesquelles ils se trouvent (**Lee, 1985**). Une synthèse de plusieurs études par **Satchell (1967)** montre que les espèces épigées sont capables d'en produire entre 42 et 106 par an. Un ou plusieurs vers immatures, appelés juvéniles, éclosent quelques temps plus tard. **Hartenstein et al. (1979)** trouvent un nombre maximum de 11 vers par cocon pour *E. foetida*.

Le ver juvénile va progressivement acquérir des caractères sexuels secondaires externes liés à l'accouplement comme le puberculum tuberculeux ou les pores sexuels. Il sera alors au stade sub-adulte. Un clitellum, organe lié au processus de ponte, va ensuite se former et permettre au ver de devenir sexuellement mature pour pouvoir se reproduire à son tour; le ver est alors adulte (**Pelosi, 2008**).

Suivant le groupe fonctionnel, les stratégies d'allocation de l'énergie varient entre les types r et k. La stratégie de type r concerne les espèces à durée de vie courte donc plus spécifiquement les épigées, telle que *Eisenia foetida* qui allouent tout d'abord leur énergie à la reproduction et à la croissance. A l'inverse, les stratégies k, principalement les endogés et les anéciques, privilégient la survie à la reproduction et à la croissance car ils ont une durée de vie plus longue. La durée du cycle de vie, ainsi que la fécondité et la survie des vers dépendent fortement de l'espèce considérée mais aussi des conditions du milieu (**Satchell, 1980**).

L'espérance de vie d'*Eisenia foetida* dans des conditions contrôlées varie, selon les auteurs, de un et cinq ans d'après **Reynolds (1977)** et **Edwards (2004)**, et de 1 à 4 ans (**Desarrollo, 2011**). Alors que d'après **Herrera (2003)**, elle est en moyenne de 3 ans, et peut même atteindre 16 ans.

Dans des conditions optimales, *E. foetida* donne 4 générations de lombrics par année, à raison d'une génération tous les 3 mois. La longévité est de 4 à 5 ans. (**Neuhauser et al., 1980 b**).

#### 2.1.2.2. Maturité sexuelle

Le temps de maturation varie en fonction des conditions de milieu (température, humidité, nourriture). Au champ, un ver épigé devient mature généralement en 1 an (**Lakhani et Satchell, 1970**) alors qu'il ne lui suffira que de quelques mois pour atteindre la maturité sexuelle en conditions de laboratoire (**Lowe et Butt, 2002**). Elle

est déterminée en observant la première apparition de tubercules pubertalis, des crêtes glandulaires dans ou près de la marge ventrale du clitellum, et la présence du clitellum, qui est un anneau de tissu glandulaire plus perceptible à la maturité du ver (**Fender, 1985**).

La maturité sexuelle d'*Eisenia foetida* est atteinte en 80 jours avec le développement du Clitellum. Mais, selon la nature, la température et l'humidité du substrat, elle peut avoir lieu plus précocement (**Venter et Reinecke, 1988**).

### 2.1.2.3. Ponte des cocons

Parmi les résultats disponibles, certains reposent sur des résultats obtenus sur des périodes relativement courtes. Ainsi, **Evans et Mc Guild (1948)** ont obtenu une production moyenne de cocon de 3,8 /semaine/individu, alors que **Edwards et al. (1984)**, **Efroymsone et al. (1997)** rapportent 2 à 5 cocons, **Neuhauser et al. (1980)**, 2 cocons et **Graff (1982)** 3 cocons. **Venter et Reinecke, (1988)** ont obtenu un taux moyen de 0,35 cocons par jour, une durée moyenne d'incubation de 23 jours à 25 °C et 75 % d'humidité. Alors que d'après **Das et al., (2002)**, à maturité ce ver produit en moyenne, un cocon tous les trois jours. Mais, **Bostrom (1988)** mentionne que la qualité et la nature du substrat de nourriture peut influencer la production de cocons. Ainsi, **Siddique et al. (2005)** montrent que la production de cocon est significativement plus élevée dans le fumier de vache que dans les feuilles sèches, alors que dans le fumier d'ovins / caprins, aucun cocon n'a été observé tout au long de l'expérience.

Selon **Neuhauser et al. (1980 a)**, un adulte d'*Eisenia foetida* produit des cocons entre les 30<sup>ème</sup> et 40<sup>ème</sup> semaines, avec un pic de production entre les 9<sup>ème</sup> et 11<sup>ème</sup> semaines et éventuellement durant l'année entière.

### 2.1.2.4. Incubation

La durée d'incubation d'*E. foetida* dépend des conditions climatiques (**Holmstrup et al., 1996**) et des conditions de vie de l'adulte qui a produit ce cocon (**Phillipson et Bolton, 1977**). La durée moyenne d'incubation des cocons à 25° C est de 23 jours (**Venter et Reinecke, 1988**). Alors qu'elle est de 3 semaines d'après **Reinecke et Viljoen, (1991)**.

Les jeunes sortent rapidement des cocons après réhumidification, alors que normalement ils en sortent après 2 à 3 semaines (**Barret, 1947-1948 in kuhnelt, 1961**).

### 2.1.2.5. Fécondité

La fécondité d'*E. foetida* par cocon obtenu par **Schuldt et al. (2005)** varie selon les substrats, de 0 à 9 vermisseaux, de 2 à 4 et même de 2 à 20 vermisseaux. Alors que **Venter et Reinecke (1988)** donnent une moyenne de 2,7 vermisseaux par cocon et **Neuhauser et al. (1980 b)** une moyenne de 1 et 4 vermisseaux par cocon. **Kuhnelt (1961)** rapporte que les résultats de **Barret (1947, 1948)** montrent que les cocons d'*E. foetida* élevé dans des boîtes en bois remplies d'un mélange à parts égales de fumier de cheval, de sol tamisé et de tourbe terreuse renferment de 1 à 20 jeunes.

### 2.1.2.6. Durée de développement

La maturité sexuelle d'*E. foetida* a lieu 40 à 60 jours après l'éclosion, à 25 °C et 75 % d'humidité (**Venter et Reinecke, 1988; Edwards et Bohlen, 1992**).

La croissance d'*E. foetida* peut être favorisée par certaines conditions environnementales. Pour un développement optimal, la température, la teneur en eau et le pH du milieu de croissance doivent se situer respectivement entre 15 et 25°C, 75 et 85% et entre 6,5 et 8 (**Mitchell, 1983**). **Edwards et al. (1988)**, mentionnent qu'une température de 25°C et une humidité de 85% permettent une croissance optimale d'*E. foetida*.

## 2.2. Lombricompost

Le lombricompost est le produit de l'altération ou l'humification de la matière organique sous l'action combinée des animaux, entre autres des lombricidés, des bactéries et des champignons (**Huber et Schaub, 2011**). C'est un compost solide composé de matières organiques décomposées et de déjections de ver, qui par égouttage produit un liquide, le jus de lombricompost. Ce substrat est de haute qualité, notamment en raison de son excellente structure granulaire (**Saint pierre et al., 1999**).

Les lombriciens excrètent différentes substances : mucus cutané, urine, excrétion digestive et défécation. Ce sont les défécations qui sont appelées lombrimix. Elles sont constituées de nutriments et de petits cailloux. Ce lombrimix digéré par les microorganismes servira de nouveau de nourriture aux vers de terre. Pendant quelques jours la respiration microbienne augmente, puis diminue. Cette activité produit du mucus microbien (polysaccharides). Les déjections de surface, turricules, durcissent en grumeaux (**Bouché, 1986**).

### 2.2.1. Compost solide

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

vivants, depuis les bactéries microscopiques jusqu'aux vers de terre (**Smeesters, 1993**).

**Bouché (1986)**, précise que les substances organiques ingérées par les vers de terre sont transformées d'une part en Carbone dont 22,5 % sont convertis en CO<sub>2</sub> pour la digestion, 27,5 % assimilés et 50 % déféqués et d'autre part en Azote dont 16,5 % sont assimilés et 83,5 % excrétés sous la forme d'urine (5%) et de mucus (95%). De plus, l'azote assimilé puis excrété par le ver de terre met entre 30 jours pour être à 90% assimilé par les plantes et le sera entièrement au bout du cycle de l'azote.

### 2.2.2. Le jus de lombricompost

C'est un excellent engrais naturel pour les plantes. C'est un liquide de couleur foncée, concentré qui ruisselle et s'accumule dans le fond du bac du lombricomposteur (**Ndegwa et Thompson, 1999**).

Le jus de compost est riche en microorganismes bénéfiques en particulier des champignons, tels que les Actinomycètes et Rhizobium, des bactéries comme *les Azotobacter et Nitrobacter*. Une augmentation de 90% de la respiration dans un vermicompost frais indique une augmentation correspondante de la population en microorganismes (**Scheu, 1987**). Dans ce domaine, **Edwards (1999)** affirme que le lombricompost pourrait être 1000 fois plus actif que le compost classique sur le plan de l'activité microbienne. Il s'agit de micro-organismes qui stimulent la croissance des plantes, transforment les éléments nutritifs, en les rendant plus facilement assimilables.

### 2.2.3. Composition chimique

Le jus de lombricompost contient des macroéléments nutritifs N.P.K .sous forme NO<sub>3</sub>, PO<sub>4</sub> .Il contient 2 à 3% d'azote, 1,85 à 2,25% de potassium et 1,55 à 2,25% de phosphore, des oligo-éléments, des microorganismes bénéfiques au sol comme les bactéries fixatrices d'azote et les champignons mycorhiziens (Singh et *al.*, 2008), et des micronutriments qui présentent des effets bénéfiques sur la croissance et le rendement des plantes, disponibles sous forme de Ca, K, Mg et S. Il contient une grande proportion des substances humiques sous forme des acides fulviques et humiques qui fournissent de nombreux sites de réaction chimique aux organismes microbiens, connus d'améliorer la croissance des plantes et la suppression des maladies par les activités des bactéries (*Bacillus*), des levures (*Sporobolomyces* et *Cryptococcus*) et des champignons (*Trichoderma*), ainsi que des antagonistes chimiques tels que les phénols et les acides aminés (**Nagavalemma et al., 2004**).

### 2.2.4. Rôle et intérêt

L'utilisation des biofertilisants, entre autre du lombricompost, permet de mieux comprendre le rôle de cette substance naturelle sur la performance de la production

végétale et dans la résistance contre les bio agresseurs. C'est un fertilisant organique naturellement stable sans odeur. Des études ont également montré que le traitement foliaire des plants avec du lombricompost est associé au développement de certaines réponses défensives dans les tissus des plantes hôtes (**Pajot, 2010**). Il contient des particules de silice disponibles pour les plantes, avec lesquelles elles renforcent leur épiderme et repoussent ainsi les insectes nuisibles. Ainsi que des mucosités antibactériennes qui peuvent guérir les plantes malades. Cela en fait un bon insecticide préventif (**Sloane; 2003**).

Les nutriments minéraux solubles, les acides organiques et les régulateurs de croissance du lombricompost solide et liquide ont un effet positif sur le développement de la racine initiale et la croissance des plantes, à la fois par application foliaire et application au sol (**Arancon et al., 2007**).

Le compost solide présente une structure granulaire stable, sous la forme d'agrégats, constitués par un mélange de particules de terre et de matière organique, moins sensible à l'érosion éolienne, favorisant l'aération, l'infiltration et la rétention de l'eau de pluie (**Gates, 1972**).

# **CHAPITRE II: MATERIEL ET METHODES**

## CHAPITRE II: Matériel et méthodes

### Objectif

Le but de notre travail est d'étudier le comportement du ver du fumier par un essai de lombricompostage afin de valoriser quelques déchets domestiques d'origine organique dans la production de compost. Dans cet objectif, un élevage a été mené au laboratoire pendant 17 semaines (du 24 novembre 2016 à 03 avril 2017), suivi d'une étude de quelques paramètres bio-pondérales et d'une caractérisation physico-chimique des différents substrats finaux.

Dans l'objectif de vérifier d'une part l'impact du lombricompostage des déchets ménagers organiques sur les paramètres biologiques du ver du fumier et de caractériser d'autre part l'impact de l'activité des vers sur la composition physico-chimique des substrats bio compostés  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $E_3$ ,  $E_4$  par rapport au substrat non biocomposté, le marc de café.

### 1. Matériel

#### 1.1. Le ver du fumier, *Eisenia foetida*

Le ver du fumier, *Eisenia foetida* (Fig. 5) a été prélevé à partir d'un élevage en masse réalisé à partir d'un compostage de déchets organiques ménagers, entretenu dans la salle d'élevage du laboratoire de Phytopharmacie appliquée du département des Biotechnologies.



Figure 5: le ver du fumier; *Eisenia foetida*

#### 1.2. Les déchets organiques d'origine domestique

Les éléments organiques d'origine domestique (Fig. 6) utilisés dans la composition des différents mélanges des 4 substrats de lombricompostage sont le marc de café (Mc) mélangé dans des proportions variables de coquille d'œuf broyée (Co), de carton broyé (Cb), de chapelure de pain broyé (Cp) et de tourbe professionnelle (Tp).



**Figure 6: les éléments constitutants des 4 substrats de lombricompostage**

### **1.3. Salle d'élevage**

C'est une chambre de 5 mètres carrés de superficie dont la température varie entre 12,6°C et 21,9°C et l'humidité relative de l'air comprise entre 41% et 84%.

### **1.4. Les Boites de lombricompostage**

Elles sont en polystyrène transparent (Fig.7), dont les dimensions extérieures sont de 70 mm de hauteur, 69 mm de diamètre de base et 84 mm de diamètre d'ouverture, couvertes d'un tulle à maille très fine afin d'assurer l'aération du matériel d'élevage et d'éviter la fuite des vers et dont l'intervalle des températures des différents substrats lombricompostés est compris entre 15°C et 23°C durant toute la période de notre suivi.



**Figure 7: boîte d'élevage**

## 2. Méthodes

### 2.1. Plan de lombricompostage

Chacune des 3 répétitions des 4 mélanges reportés dans le **tableau 5**; E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>, E<sub>3</sub> et E<sub>4</sub> d'un poids de 100 g, contient des proportions de marc de café (**Mc**) mélangé à des proportions variables de coquille d'œuf broyée (**Co**), de carton broyé (**Cb**), de chapelure de pain broyé (**Cp**) et de tourbe professionnelle (**Tp**) sont mis dans les boîtes en polystyrène contenant chacune un couple de ver adulte reconnaissable à la présence d'un clitellum, organe lié au processus de ponte et de maturité sexuelle.

**Tableau 5: composition des 4 substrats de lombricompostage**

Substrat	Répétition	Poids des substrats (g)	Mc (g)	Co (g)	Cb (g)	Cp (g)	Tp (g)
E <sub>1</sub>	1	100	100	0	0	0	0
	2	100	100	0	0	0	0
	3	100	<b>100</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
E <sub>2</sub>	1	100	70	5	10	10	5
	2	100	70	5	10	10	5
	3	100	<b>70</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>5</b>
E <sub>3</sub>	1	100	80	5	10	0	5
	2	100	80	5	10	0	5
	3	100	<b>80</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>0</b>	<b>5</b>
E <sub>4</sub>	1	100	80	0	10	10	0
	2	100	80	0	10	10	0
	3	100	<b>80</b>	<b>0</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>0</b>

### 2.2. Paramètres déterminés

#### 2.2.1. Paramètres biologiques

La détermination du poids initial et final par adulte de ver du fumier à la fin du test de lombricompostage a été réalisée par des pesées par une balance électronique à précision, alors que celle de la fécondité globale par adulte a été faite par un simple comptage à l'œil nu du nombre total de cocons pondus tout le long de l'essai.

Nous avons également suivi le taux de croissance relatif des vers dans les 4 substrats d'élevage en utilisant l'équation de **Martin (1986)**:

$$\text{Taux de croissance relatif} = \ln \frac{P_t}{P_0} \times 100$$

**P<sub>0</sub>**: poids moyen des vers de terre au début de l'exposition.

**P<sub>t</sub>** : poids moyen des vers de terre après la durée d'exposition

## 2.2.2. Paramètres physico-chimiques

A la fin du traitement de lombricompostage par le ver du fumier des différents substrats à base de marc complété, nous avons réalisé une analyse des paramètres physiques: pH et humidité (H%), et des paramètres chimiques: le carbone (%C), l'azote (N%), le rapport C/N, la matière organique (% M.O), le phosphore assimilable (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ppm) et le calcaire actif (Ca CO<sub>3</sub> %) des 4 substrats bio compostés ou humifiés (E<sub>1</sub>), (E<sub>2</sub>), (E<sub>3</sub>), (E<sub>4</sub>) et du témoin, le substrat non bio transformé, le marc de café (Mc).

### 2.2.2.1. Mesure du pH

Le pH des différents substrats est établi à partir de la concentration des ions H<sup>+</sup> à l'état dissocié dans la suspension du substrat. Il est mesuré par la méthode potentiométrique sur une suspension de rapport substrat/liquide de 1/5 (**Norme AFNOR: X 31-103 pHeau**).

### 2.2.2.2. Humidité (%)

Les échantillons de substrat sont séchés à l'étuve à 105°C ± 5°C jusqu'à masse constante. Une nuit, soit environ 15 heures, suffit généralement. La différence entre le poids avant et après séchage exprime la teneur en eau de l'échantillon initial (**Procédure N° POPS08 - NF ISO 11465**).

### 2.2.2.3. Carbone organique (%)

Le dosage du carbone organique d'après la **méthode Anne** qui consiste à oxyder à chaud le carbone organique du substrat par du bichromate de potassium (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) en milieu sulfurique. Le bichromate de potassium doit être en excès. La quantité réduite est en principe proportionnelle à la teneur en carbone organique. Le bichromate en excès est dosé par un réducteur; le sel de Mohr (sulfate de fer et d'ammonium).

- Libération de l'oxygène



- Oxydation du carbone



Dosage de l'excès de K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> par le sel de Mohr en faisant passer le fer de l'état bivalent (Fe<sup>2+</sup>) à l'état trivalent (Fe<sup>3+</sup>).



$$\%C = \frac{(n' - n) \times 0,615}{P}$$

Où:

n' = volume de témoin (exemple carbone)

n = volume de l'échantillon

P = prise d'essai

#### 2.2.2.4. Matière organique (%)

La teneur en matière organique des différents substrats est déterminée d'après la méthode Anne par le biais du taux de carbone organique par la formule suivante:

$$\% MO = \% C \times 1.72$$

#### 2.2.2.5. Azote total (%)

L'azote total est déterminé par la méthode Kjeldahl **AFNOR: X31-111** réalisée en deux étapes:

- La minéralisation de l'échantillon de masse égale à 1 g par l'acide sulfurique concentré en présence d'un catalyseur (sulfate de cuivre + sulfate de sodium) pendant 2 heures,
- une distillation et un titrage de l'ammoniac libéré se fait en dernière étape à l'aide d'une solution d'acide sulfurique de concentration égale à 0.02 Normale.

L'azote total Kjeldahl est donné par :

$$\% N = V_{\text{TITRATION}} \times 0.195 \times \text{Masse de prise de l'essai}$$

#### 2.2.2.6. Le rapport C/N

Le rapport carbone/azote ou C/N mesure les proportions relatives en carbone et en azote, nutriments essentiels dans les substrats. Dans le cas où le C/N est très bas, le substrat est riche en azote, s'il est élevé, il est riche en lignine. Ce rapport décroît constamment au cours du compostage, par le fait que les micro-organismes consomment plus de carbone (principal constituant des molécules organiques) que d'azote (**Devisscher, 1997**).

#### 2.2.2.7. Phosphore assimilable

Le dosage du phosphore assimilable est réalisé par la **méthode d'Olsen**. Elle utilise un réactif constitué de  $\text{NaHCO}_3$  à 0,5 mol/l tamponnée à pH 8,5 par NaOH dans un rapport d'extraction de 1/20 (m/v).

Le dosage du phosphore extrait s'effectue par spectrophotométrie à 825 nm après développement de la coloration d'un complexe phosphomolybdique selon le protocole décrit par Duval.

La procédure utilisée est décrite dans la **norme F ISO 11263**.

La prise d'essai est de 2,5 g de substrat broyé à 2 mm.

La spectrophotométrie est une méthode analytique quantitative et qualitative qui consiste à mesurer l'absorbance ou la densité optique d'une substance chimique donnée, généralement en solution. Plus l'échantillon est concentré, plus il absorbe la lumière dans les limites de proportionnalité énoncées par la loi de Beer-Lambert.

La densité optique des échantillons est déterminée par un spectrophotomètre préalablement étalonné sur la longueur d'onde d'absorption de la substance à étudier.

### 2.2.2.8. Calcaire actif: Ca CO<sub>3</sub>(%) actif

Le dosage du calcaire actif a été réalisé d'après la **Norme NF X 31- 106**. Elle repose sur le titrage par oxydo-réduction qui utilise le permanganate de potassium et l'oxalate d'ammonium. Le calcium se combine aux oxalates pour précipiter sous forme d'oxalate de calcium. Donc, il s'agit d'une extraction:



L'oxalate précipité est éliminé par filtration. L'oxalate en excès est dosé par le permanganate de potassium en milieu sulfurique. Une persistante coloration violette de KMnO<sub>4</sub> indique qu'il n'y a plus d'oxalate à oxyder. Donc, c'est le point d'équivalence.

$$\% \text{CaCO}_3 = (N-n) \times 0,005 \times 100/10 \times 100/1 \quad \Longrightarrow \quad \% \text{CaCO}_3 + 5 (N-n)$$

N= nombre de KMnO<sub>4</sub> utilisé pour l'essai à blanc

n= nombre de KMnO<sub>4</sub> utilisé pour l'échantillon

(N-n) ml= quantité de carbonate de calcium précipité, c'est-à-dire la quantité d'oxalate d'ammonium qui a réagi avec le calcaire actif.

## 2.3. Exploitation des résultats

### 2.3.1. Evolution temporelle et comparée des différents paramètres biologiques et physico-chimiques des substrats

Les valeurs de l'évolution temporelle du poids moyen par individu et de la fécondité globale par ver, sous l'effet des différents substrats d'élevage, ainsi que la composition physico-chimique des différents substrats lombricompostés par rapport au substrat de base le marc de café sont présentées par des graphes et des histogrammes sous Excel.

Afin de déterminer les effets des différents paramètres physico-chimiques «pH, Azote total, calcaire actif, phosphore assimilable, carbone organique et matière organique sur les paramètres biologiques «poids moyen par individu et fécondité globale par individu», nous avons eu recours à l'analyse de la variance à un facteur (G.L.M), et à deux facteurs (ANOVA). Les tests statistiques ont été réalisés à l'aide des logiciels PAST vers 1.37 (**Hammer et al., 2001**) et SYSTAT vers 12 (**SPSS, 1999**) sur la base des variables à trois répétitions. Les différences entre variables sont considérées significatives à  $P < 5\%$  et marginalement significatives à  $P < 9\%$ .

### 2.3.2. Analyse multivariée

Dans le cas de variables quantitatives, les relations multivariées sont étudiées à l'aide d'une analyse en composantes principales (A.C.P). Ainsi, nous avons analysé globalement les variables (effet paramètres physico-chimiques et biologiques). Le test a été réalisé à l'aide des logiciels PAST vers 1.37 (**Hammer et al., 2001**).

# **CHAPITRE III:**

## **RESULTATS ET DISCUSSION**

## CHAPITRE III: Resultats et discussion

### 1. RESULTATS.

#### 1.1. Analyse des paramètres physico-chimiques des 4 substrats lombricompostés et du témoin (marc de café).

Tableau 6: Analyse physico-chimique

Substrats	pH	H (%)	MO (%)	CO (%)	NT (%)	C/N	CaCO <sub>3</sub> (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (ppm)
Mc	6,22	57,77	71,71	41,21	0,56	73,6	3,38	193,45
E <sub>1</sub>	7,63	73,78	59,39	34,13	0,84	40,6	10,14	138,28
E <sub>2</sub>	7,08	71,00	69,03	39,67	0,88	45,3	23,66	195,37
E <sub>3</sub>	7,15	69,18	67,43	38,75	0,77	50,3	14,37	176,95
E <sub>4</sub>	7,04	61,56	58,32	33,52	1,12	24,9	16,9	125,19

H: Humidité, MO: Matière organique, CO: Carbone organique, NT: Azote total, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: Phosphore assimilable, CaCO<sub>3</sub>: Calcaire actif, substrat: Mc: marc de café, E<sub>1</sub>: (Mc), E<sub>2</sub>: (Mc, Co, Cb, Cp, Tp), E<sub>3</sub>: (Mc, Co, Cb, Tp), E<sub>4</sub>: (Mc, Cb, Cp)

#### 1.1.1. Paramètres physiques

##### 1.1.1.1. pH

Les résultats du pH des 4 substrats lombricompostés E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>, E<sub>3</sub>, E<sub>4</sub> et de celui du substrat témoin non lombricomposté, le marc de café (Mc) reportés sur la figure 8 et le tableau 6 montrent que le marc de café présente un pH légèrement acide par rapport à ceux des substrats lombricompostés qui sont neutres, variant entre 7,04 (E<sub>4</sub>) et 7.63 (E<sub>1</sub>).

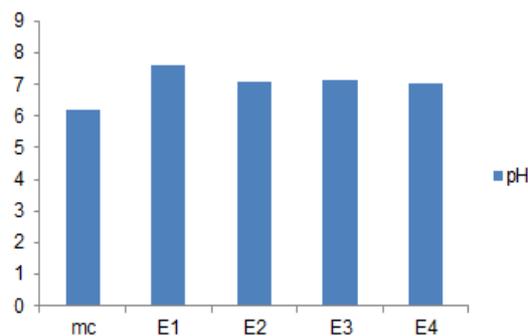
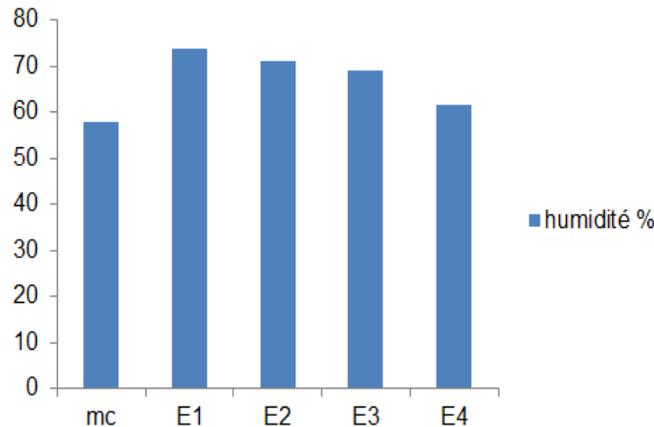


Figure 8: pH des 4 substrats lombricompostés et du témoin (marc de café)

### 1.1.1.2. Humidité

Les résultats de l'humidité finale des 4 substrats lombricompostés E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>, E<sub>3</sub>, E<sub>4</sub> et de celle du substrat témoin non lombricomposté, le marc de café (Mc) reportés dans le tableau 7 et la figure 9 montrent que le marc de café présente une humidité inférieure à celle des substrats lombricompostés qui est comprise entre 61,56 % (E<sub>4</sub>) et 73,78 % (E<sub>1</sub>).



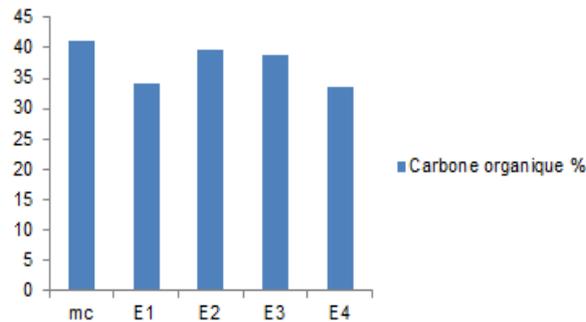
**Figure 9: Humidité des 4 substrats lombricompostés et du témoin (marc de café)**

### 1.1.2. Paramètres chimiques

La composition chimique des différents substrats lombricompostés par rapport à celle du substrat non composté sont les taux de carbone organique, d'azote total, de matière organique, le calcaire actif, le rapport C/N et le phosphore assimilable.

#### 1.1.2.1. Carbone organique

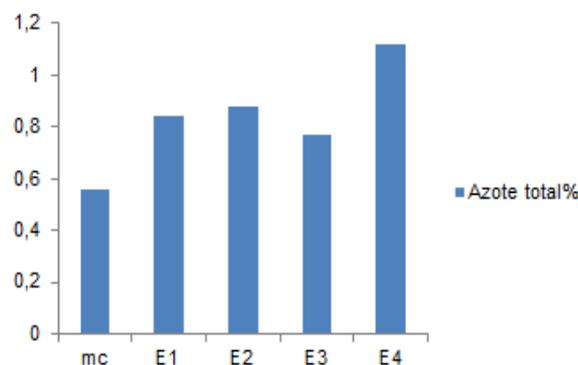
Les résultats du taux de carbone organique des 4 substrats lombricompostés E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>, E<sub>3</sub>, E<sub>4</sub> et de celui du substrat témoin non lombricomposté, le marc de café (Mc) reportés dans le tableau 6 et la figure 10 montrent que le marc de café présente un taux de carbone organique supérieur à celui des substrats lombricompostés, dont celui des substrats E<sub>4</sub> (33,52 %) et E<sub>1</sub> (34,13 %) sont les faibles par rapport à ceux des substrats E<sub>2</sub> (39,67 %) et E<sub>3</sub> (38,75 %).



**Figure 10: Taux de carbone organique des différents substrats**

### 1.1.2.2. Azote total

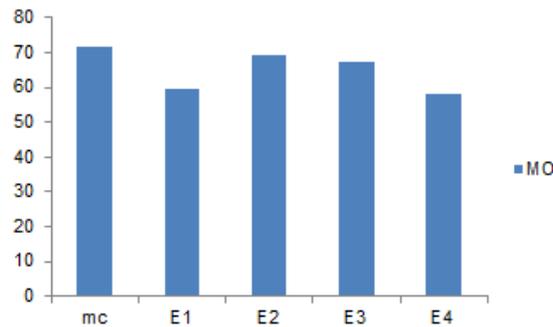
Les résultats du taux d'azote total des 4 substrats lombricompostés E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>, E<sub>3</sub>, E<sub>4</sub> et de celui du substrat témoin non lombricomposté, le marc de café (Mc) reportés dans le tableau 6 et la figure 11 montrent que le marc de café présente un taux d'azote total inférieur (0,56 %) à ceux des substrats lombricompostés, dont celui du substrat E<sub>4</sub> (1,12%) est plus élevé que ceux des substrats E<sub>2</sub> (0,88 %), E<sub>1</sub> (0,84 %) et le E<sub>3</sub> (0,77 %).



**Figure 11: Taux d'azote total des 4substrats lombricompostés et du témoin (marc de café)**

### 1.2.2.3. Matière organique

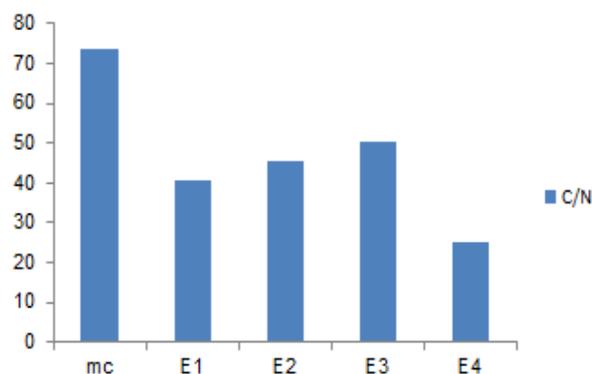
Les résultats du taux matière organique des 4 substrats lombricompostés E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>, E<sub>3</sub>, E<sub>4</sub> et de celui du substrat témoin non lombricomposté, le marc de café (Mc) reportés dans le tableau 6 et la figure 12 montrent que le marc de café présente un taux supérieur (71,71 %) à ceux des substrats lombricompostés, dont ceux des substrat E<sub>2</sub> (69,03 %) et E<sub>3</sub> (67,43 %) sont plus élevés que ceux des substrats E<sub>1</sub> (59,37 %) et E<sub>4</sub> (58,32 %).



**Figure 12: Taux de matière organique des 4 substrats lombricompostés et du témoin (marc de café)**

#### 1.1.2.4. Rapport C/N

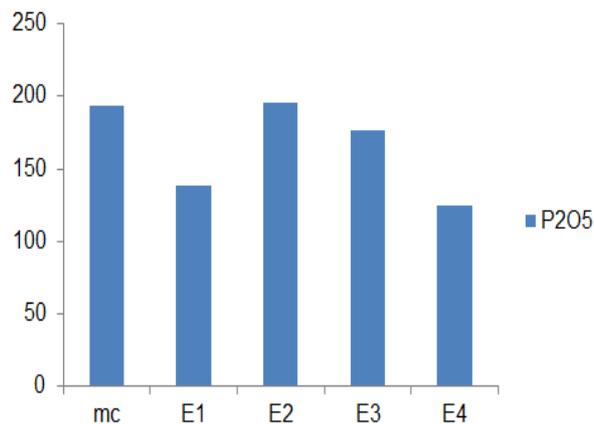
Les résultats du rapport C/N des 4 substrats lombricompostés E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>, E<sub>3</sub>, E<sub>4</sub> et de celui du substrat témoin non lombricomposté, le marc de café (Mc) reportés dans le tableau 6 et la figure 13 montrent que le marc de café présente un rapport C/N supérieur (73,6 %) à ceux des substrats lombricompostés, dont ceux des substrats E<sub>1</sub> (40,6 %), E<sub>2</sub> (45,3 %) et E<sub>3</sub> (50,3 %) sont plus élevés que celui du substrat E<sub>4</sub> (24,9%).



**Figure 13: Rapport C/N des 4 substrats lombricompostés et du témoin (marc de café)**

#### 1.1.2.5. Phosphore assimilable (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)

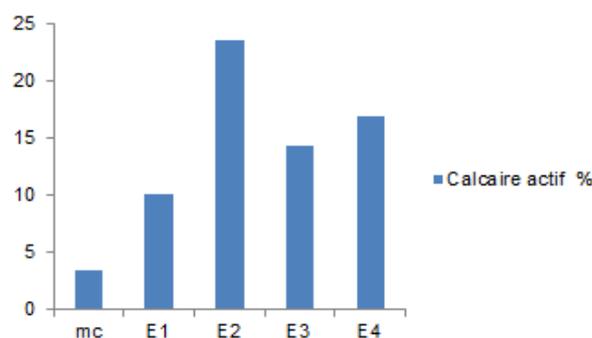
Les résultats de la quantité de phosphore assimilable des 4 substrats lombricompostés E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>, E<sub>3</sub>, E<sub>4</sub> et de celui du substrat témoin non lombricomposté, le marc de café (Mc) reportés dans le tableau 6 et la figure 14 montrent que le substrat lombricomposté E<sub>2</sub> présente une quantité de phosphore assimilable supérieure (195,37 ppm) à celle du marc de café (193,45 ppm) et des autres substrats lombricompostés, dont celles des substrats E<sub>3</sub> (176,95 ppm) et E<sub>1</sub> (138,28 ppm) sont plus élevées que celle du substrat E<sub>4</sub> (125,19 ppm).



**Figure 14: Quantité de phosphore assimilable des 4 substrats lombricompostés et du témoin (marc de café)**

#### 1.1.2.6. Calcaire actif

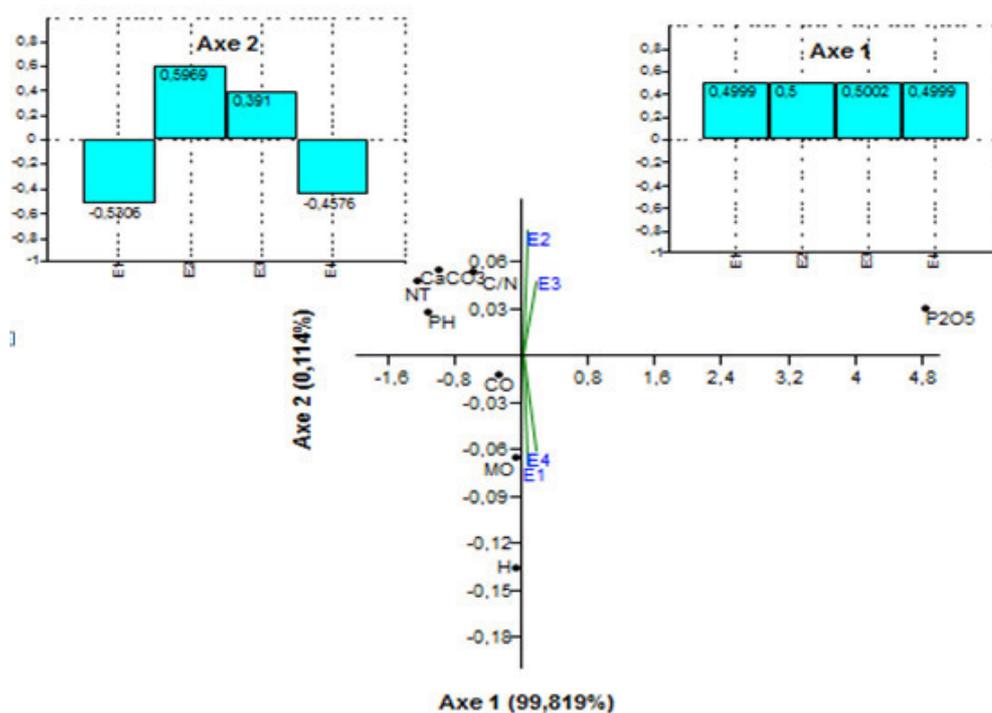
Les résultats du taux de calcaire actif des 4 substrats lombricompostés E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>, E<sub>3</sub>, E<sub>4</sub> et de celui du substrat témoin non lombricomposté, le marc de café (Mc) reportés dans le tableau 6 et la figure 15 montrent que le marc de café présente un taux de calcaire actif inférieur (3,38 %) à ceux des substrats lombricompostés, dont celui du substrat E<sub>2</sub> (23,66%) est plus élevé que ceux des substrats E<sub>4</sub> (16,9%), E<sub>3</sub> (14,37 %) et le E<sub>1</sub> (10,14 %).



**Figure 15: Taux de calcaire actif des 4 substrats lombricompostés et du témoin (marc de café)**

## 2. Tendances physico-chimiques des substrats lombricompostés

L'analyse en composantes principales, effectuée avec le logiciel PAST, à partir de la composition physico-chimique des 4 substrats lombricompostés (E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>, E<sub>3</sub>, E<sub>4</sub>) est satisfaisante pour l'ensemble des paramètres étudiés dans la mesure où plus de 80% de la variance est exprimée sur les 2 premiers axes (Fig. 16).



**Figure 16: Analyse comparée de la composition physico-chimique des substrats.**

La projection de la composition physico-chimique des 4 substrats lombricompostés en vecteurs sur l'axe 1 (99,82 %) montre que les 4 substrats sont corrélés positivement à la quantité de phosphore assimilable. Cette tendance est vérifiée par les valeurs positives du coefficient de corrélation de Pearson.

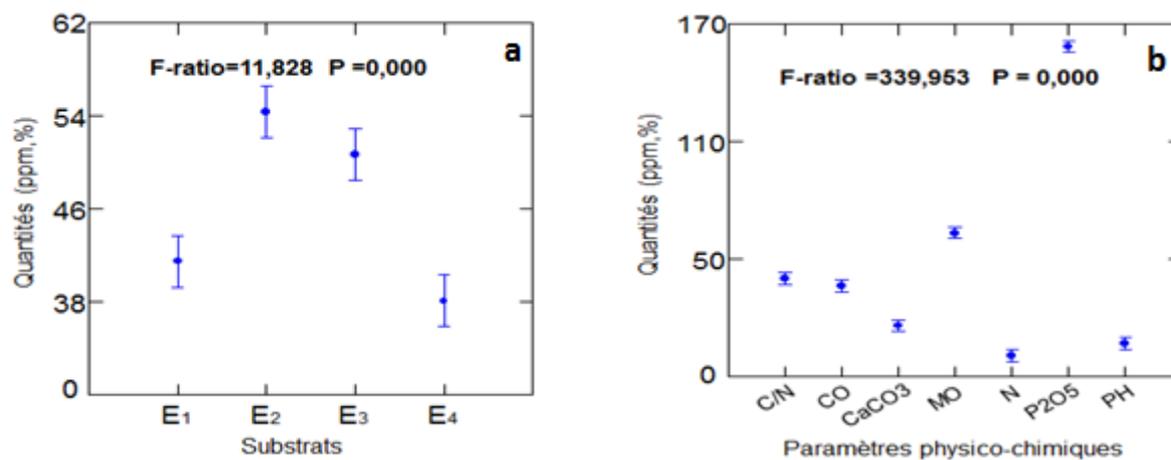
La projection des mêmes données sur l'axe 2 (0,11 %), montre que la composition physico-chimique des 4 substrats lombricompostés évolue différemment en deux groupes ( $E_1$ ,  $E_4$ ) et ( $E_2$ ,  $E_3$ ) faisant ressortir une corrélation négative de l'effet de la composition en matière organique, carbone organique et humidité des substrats ( $E_1$ ,  $E_4$ ) par rapport au pH, au rapport C/N, au calcaire actif et à l'azote total des substrats ( $E_2$ ,  $E_3$ ).

### 3. Etude comparée de la composition physico-chimique des substrats lombricompostés

#### 3.1. Effet comparé de la composition physico-chimique

Nous avons utilisé le modèle général linéaire (G.L.M), de manière à étudier la variation de la composition physico-chimique des 4 substrats lombricompostés. Les résultats consignés dans la figure 17 montrent que le lombricompostage influence de façon très significative la composition physico-chimique des 4 substrats ( $E_1$ ,  $E_2$ ,  $E_3$ ,  $E_4$ ) (Fig. 17 a). En effet, la composition physico-chimique des substrats  $E_2$  et  $E_3$

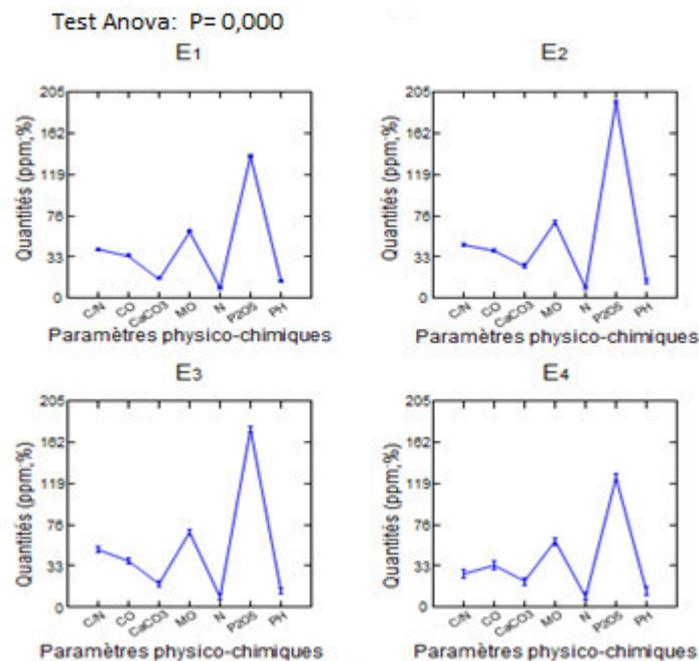
différent fortement de celle des substrats  $E_1$  et  $E_4$ . Cette différence s'explique par les valeurs des probabilités associées (F.ratio = 11,828,  $p = 0,000$ ,  $p < 0,001$ ). De même, les résultats comparés de la composition physico-chimique des substrats démontrent une différence hautement significative dans leur richesse en composants (F.ratio = 339,953,  $p = 0,000$ ,  $p < 0,001$ ) (Fig. 17 b). Le phosphore assimilable constitue l'élément le plus abondant par rapport aux autres composants, dont la matière organique présente un taux plus élevé que celui en carbone organique qu'en azote total qui est le constituant le moins abondant. Ces derniers déterminent pour l'ensemble des substrats lombricompostés un rapport C/N inférieur à 50. Alors que leur taux en calcaire actif varie de 10,14 % à 23,66 %, et leur pH est neutre.



**Figure 17: Modèle GLM appliqué à la variation de la composition physico-chimique (b) des différents substrats lombricompostés (a).**

### 3.2. Richesse physico-chimique comparée des substrats lombricompostés

Les résultats de l'analyse ANOVA (figure 18) montrent des différences hautement significatives entre la composition physico-chimiques des différents substrats lombricompostés ( $p=0,000$ ;  $p<0,001\%$ ). En effet, le phosphore assimilable est le composant le plus abondant dans les 4 substrats. Cependant, c'est le substrat  $E_2$  qui est le plus riche en phosphore assimilable et dont le taux est supérieur à celui des substrats  $E_3$ ,  $E_1$  et  $E_4$  qui est le plus pauvre. Par contre les taux de matière organique, de carbone organique et de calcaire actif se rapprochent dans les 4 substrats, sont plus élevés par rapport au taux d'azote total qui est très faible. Le rapport C/N est à peu près similaire pour les substrats  $E_1$ ,  $E_2$  et  $E_3$ , et supérieur à celui du substrat  $E_4$ . Le pH des 4 substrats diffèrent peu. Celui du marc de café est légèrement acide, alors que ceux des substrats lombricompostés sont neutres, compris entre 7,04 et 7,63.



**Figure 18: Composition physico-chimique comparée des 4 substrats lombricompostés**

#### 4. Variation de la composition physico-chimique avec le témoin, le marc de café et des différents substrats bio transformés

##### 4.1. Variation de la composition physico-chimique des différents substrats lombricompostés par rapport au marc de café (témoin)

Nous avons utilisé le modèle général linéaire (G.L.M), de manière à étudier la variation de la composition physico-chimique des 4 substrats lombricompostés par rapport au témoin non lombricomposté, le marc de café. Les résultats consignés dans la figure 19 montrent que le lombricompostage influence de façon très significative la composition physico-chimique des 4 substrats (E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>, E<sub>3</sub>, E<sub>4</sub>) (Fig. 19 a) par rapport au substrat d'origine le marc de café (MC). Cette différence s'explique par les valeurs des probabilités associées (F.ratio = 9,920;  $p = 0,000$ ,  $p < 0,001$ ). En effet, la composition physico-chimique des substrats lombricompostés est très variable par rapport au marc de café. Le substrat E<sub>2</sub> diffère peu du témoin, le marc de café et du substrat E<sub>3</sub>. Par contre, ces derniers présentent une composition physico-chimique très différente de celle des substrats E<sub>2</sub>, et plus particulièrement de celle du E<sub>4</sub>. De même, les résultats comparés de la composition physico-chimique des 5 substrats démontrent une différence hautement significative dans leur richesse en composants (F.ratio = 369,855,  $p = 0,000$ ,  $p < 0,001$ ) (Fig. 19 b). Le phosphore assimilable constitue l'élément le plus abondant par rapport aux autres composants, dont la matière organique présente un taux plus élevé que celui en carbone organique, en calcaire actif et en azote total qui est le constituant le moins abondant.

Les taux de carbone organique et d'azote total déterminent pour l'ensemble des substrats lombricompostés et le marc de café un rapport C/N inférieur à 50.

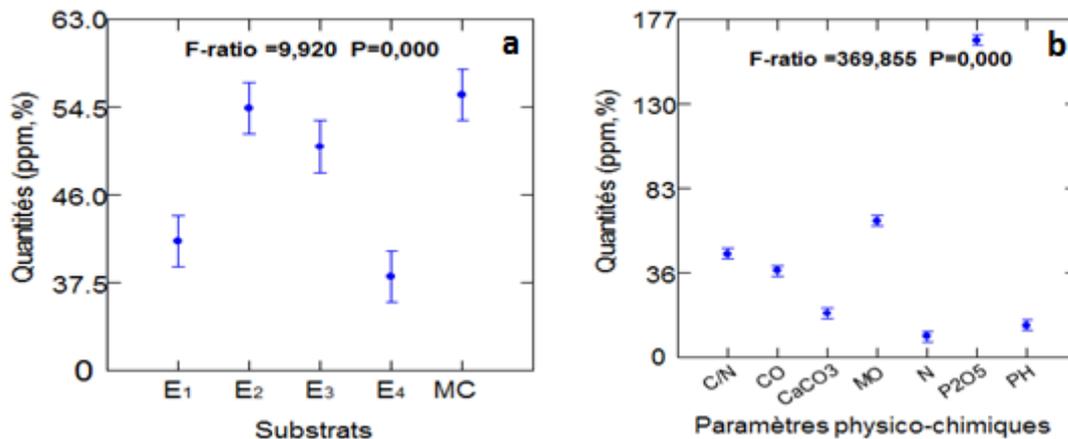
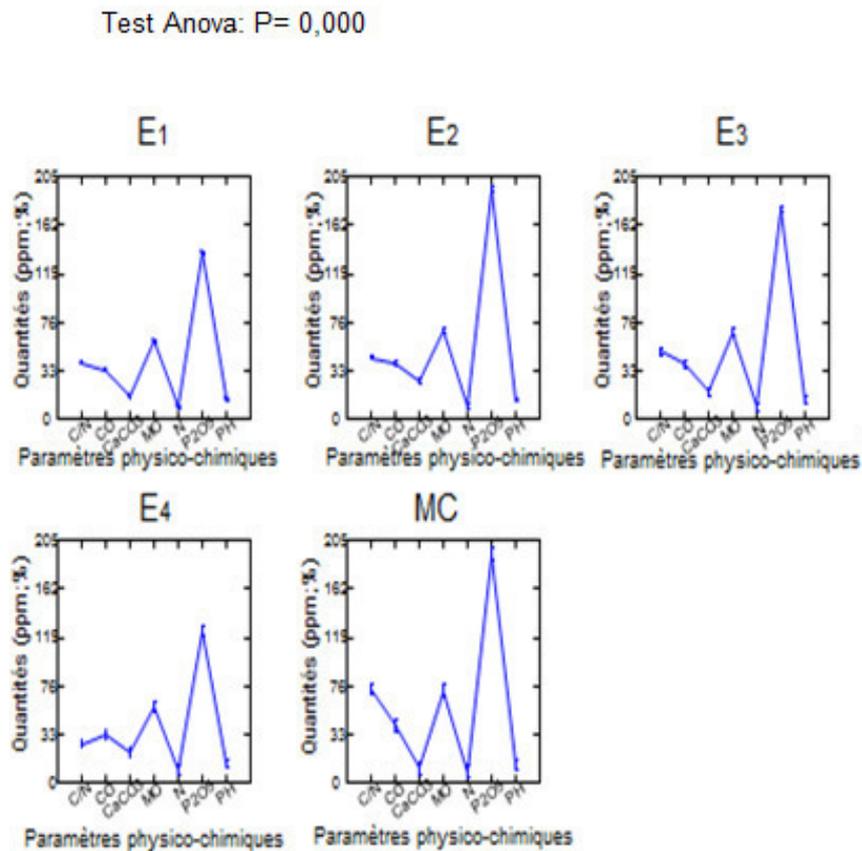


Figure 19: Variation comparée des paramètres physico-chimiques (b) des différents substrats (a) lombricompostés par rapport au marc de café

#### 4.2. Richesse physico-chimique comparée des substrats lombricompostés par rapport au témoin, le marc de café

Les résultats de l'analyse ANOVA (figure 20) montrent des différences hautement significatives entre la composition physico-chimiques des différents substrats lombricompostés par rapport au substrat d'origine le marc de café ( $p=0,000$ ;  $p < 0,001\%$ ). En effet, le phosphore assimilable est le composant le plus abondant dans les 5 substrats. Mais, le substrat lombricomposté E<sub>2</sub> et le substrat témoin (MC) dont les taux sont identiques et sont les plus riches par rapport à celui du E<sub>3</sub>. Par contre, ceux du E<sub>1</sub> et du E<sub>4</sub> qui se rapprochent sont les plus pauvres. Les taux de matière organique sont les plus faibles dont les substrats E<sub>1</sub> et E<sub>4</sub>, par rapport à ceux du E<sub>3</sub> et du E<sub>2</sub> qui se rapprochent de celui du témoin, le marc de café. Le taux de carbone organique est le plus élevé dans le substrat non lombricomposté, le marc de café par rapport à ceux de tous les substrats lombricompostés (E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>, E<sub>3</sub>, E<sub>4</sub>) qui se raccordent. Les taux d'azote total sont les plus bas parmi tous les composés, dans tous les substrats aussi bien les lombricompostés que le marc de café. Le rapport C/N le plus élevé est celui du marc de café par rapport à ceux des autres substrats lombricompostés E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>, E<sub>3</sub>, qui sont presque identiques, mais plus élevés que celui du E<sub>4</sub>. Le taux de calcaire actif est également le plus bas dans le marc de café par rapport à celui de tous les substrats lombricompostés, mais dont ceux des substrats E<sub>2</sub> et E<sub>4</sub> sont les plus élevés. Alors que le pH diffère très légèrement entre le témoin, le marc de café et ceux des substrats lombricompostés.



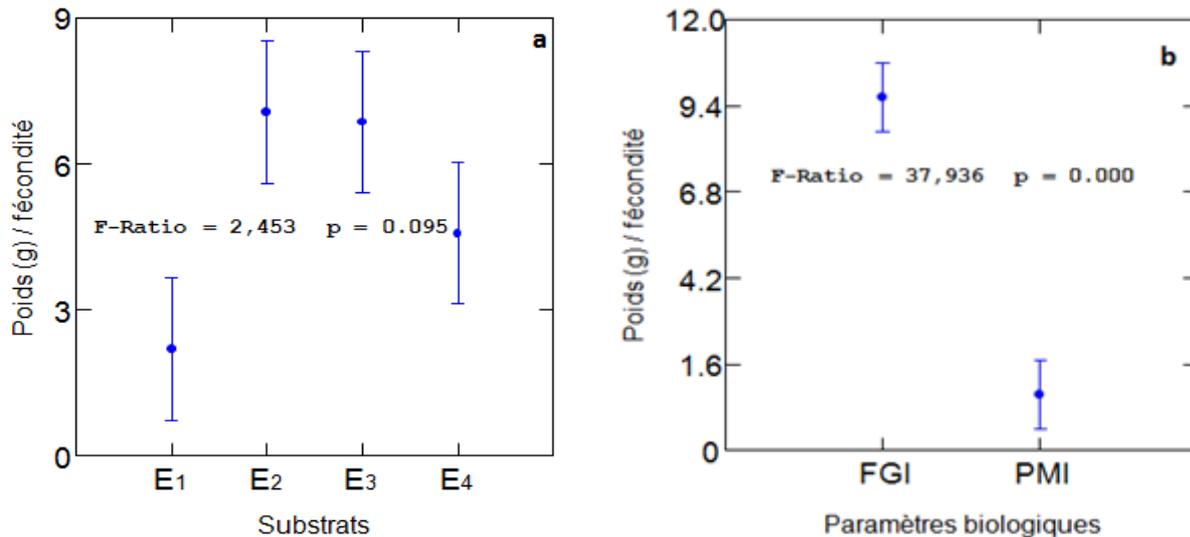
**Figure 20: Composition physico-chimique comparée des 4 substrats lombricompostés par rapport au témoin, le marc de café**

## 5. Effet des différents substrats lombricompostés sur la fécondité globale et le poids moyen d'*Eisenia foetida*

### 5.1. Etude comparée des différents substrats lombricompostés sur la fécondité globale et le poids moyen d'*Eisenia foetida*

Nous avons utilisé le modèle général linéaire (G.L.M), de manière à étudier l'effet de la variation de la composition physico-chimique des 4 substrats lombricompostés sur les paramètres biologiques d'*Eisenia foetida* (Fig. 21a), qui sont la fécondité globale en cocons par individu et le poids moyen par individu (Fig. 21 b) à la fin de la phase de lombricompostage qui a duré pendant une période de 17 semaines s'étalant du 24 novembre 2016 à 03 avril 2017. Les résultats consignés sur la Figure 21 montrent qu'il existe un effet marqué marginale du lombricompostage des 4 substrats sur les 2 paramètres biologiques du ver du fumier, *E. foetida* (F.ratio = 2,453,  $p = 0,095$ ,  $p > 0,090$ ). Cependant, il ressort de ces résultats que l'effet des substrats  $E_2$  et  $E_3$  se différencie beaucoup plus de ceux des substrats  $E_4$  et  $E_1$  qui est le moins performant. Cette différence s'explique par les

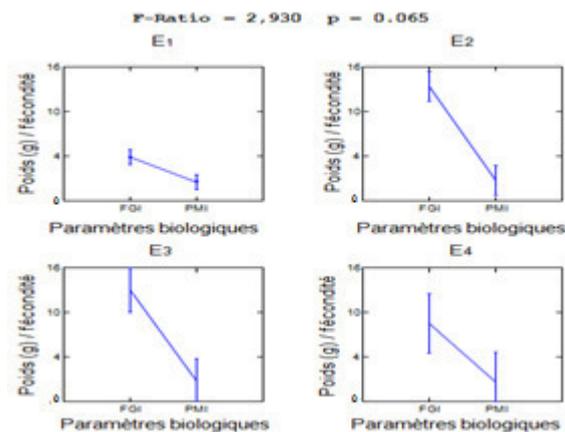
valeurs des probabilités associées (F. ratio = 37,936;  $p = 0,000$ ,  $p < 0,001$ ) qui démontrent que quelque soit la composition du substrat lombricomposté, le ver du fumier utilise ses ressources nutritionnelles beaucoup plus pour sa reproduction que pour sa masse corporelle. Mais, ces deux paramètres biologiques sont plus importants dans les substrats E<sub>2</sub>, E<sub>3</sub> que dans le E<sub>4</sub> et les moins prononcés dans le E<sub>1</sub>.



**Figure 21: Effet des différents substrats lombricompostés (a) sur la fécondité globale et le poids moyen (b) d'*Eisenia foetida***

FGI: fécondité globale/individu; PMI: poids moyen/individu

L'analyse de la variance type ANOVA montre clairement la présence d'une différence marginale des différents substrats lombricompostés sur les paramètres biologiques du ver du fumier *E. foetida*, qui sont la fécondité globale en cocons par individu et le poids moyen par individu (Fig. 22) (F. ratio = 2,930,  $p = 0,065$ ,  $p > 0,050$ ). L'examen de la fluctuation des paramètres biologiques à travers le graphique de l'analyse de la variance fait ressortir que la fécondité globale en cocons par individu est la plus importante dans les substrats E<sub>2</sub> et E<sub>3</sub> que dans le E<sub>4</sub>, par rapport au substrat E<sub>1</sub> qui est le moins performant. L'étude du poids moyen par individu issu du compostage des 4 substrats montre qu'il est le plus important et à peu près semblable chez les individus issus des substrats E<sub>2</sub>, E<sub>3</sub> et E<sub>4</sub> par rapport à ceux issus du substrat E<sub>1</sub>.



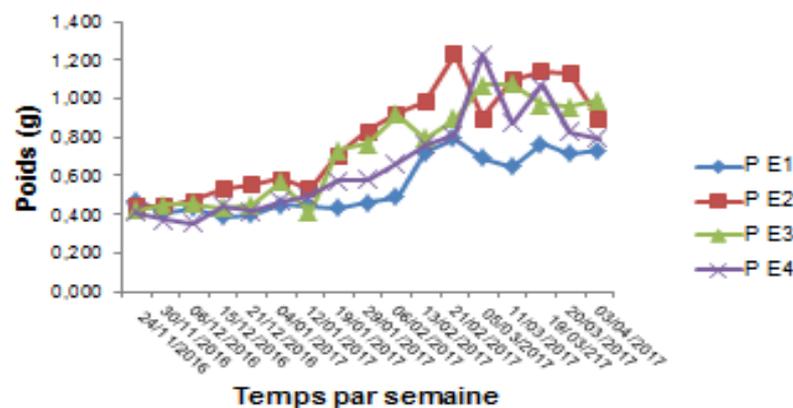
**Figure 22: Effet comparé des différents substrats lombricompostés sur la fécondité globale et le poids moyen d'*Eisenia foetida***

FGI: fécondité globale/individu; PMI: poids moyen/individu

## 5.2. Effets des substrats sur les paramètres biologiques

### 5.2.1. Effet temporel sur le poids des vers

Les résultats graphiques reportés sur la figure 23 montrent que les vers ne commencent à augmenter de poids moyen qu'à partir de la 7<sup>ème</sup> semaine du lombricompostage des 4 substrats.



**Figure 23: Evolution temporelle pondérale d'*Eisenia foetida* en fonction des substrats**

Ils n'atteignent leur poids moyen maximum qu'entre la 12<sup>ème</sup> et la 14<sup>ème</sup> semaine du lombricompostage. Cependant, il ressort que les substrats E<sub>2</sub> (Mc, Co, Cb, Cp, Tp), E<sub>3</sub> (Mc, Co, Cb, Tp), et à un degré moindre le substrat E<sub>4</sub> (Mc, Cb, Cp) qui permettent une augmentation pondérale des vers par rapport à celle du substrat E<sub>1</sub> (Mc).

### 5.2.2. Effet temporel sur la fécondité globale par ver

Les résultats graphiques reportés sur la figure 24 montrent que la fécondité globale par ver reste nulle durant les 10 premières semaines du lombricompostage des substrats E<sub>1</sub> (Mc) et E<sub>2</sub> (Mc, Co, Cb, Cp, Tp). Elle ne commence à augmenter qu'à partir de la 11<sup>ème</sup> semaine et n'atteint le maximum qu'à la 13<sup>ème</sup> semaine pour les substrats E<sub>3</sub> (Mc, Co, Cb, Tp), E<sub>2</sub> (Mc, Co, Cb, Cp, Tp), E<sub>4</sub> (Mc, Cb, Cp) et qu'à la 15<sup>ème</sup> semaine pour le substrat E<sub>1</sub> (Mc). Cependant, elle est plus importante dans le substrat E<sub>2</sub>, que dans les substrats E<sub>3</sub>, E<sub>4</sub> et la moins importante dans le substrat E<sub>1</sub>.

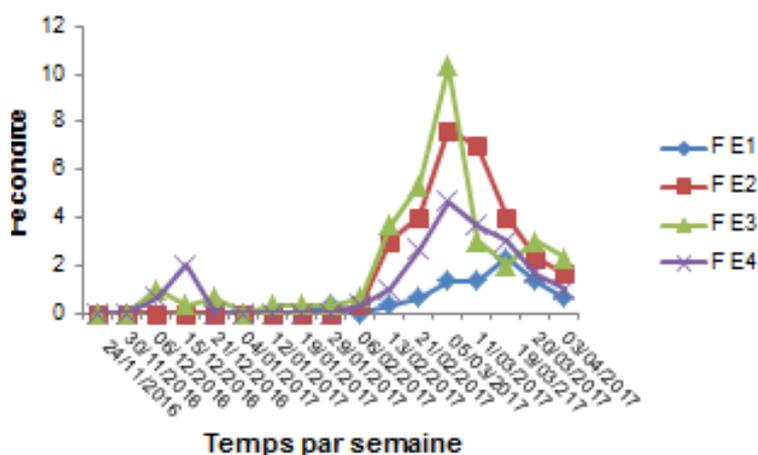


Figure 24: Evolution temporelle de la fécondité globale d'*Eisenia foetida* en fonction des substrats

### 5.2.3. Taux de croissance relatif des vers

Les résultats du taux de croissance relatif du poids final des vers dans les 4 substrats de compostage reportés dans le tableau 7 montrent qu'il est le plus important dans le substrat E<sub>2</sub> (Mc, Co, Cb, Cp, Tp), que dans le E<sub>3</sub> (Mc, Co, Cb, Tp) et le E<sub>4</sub> (Mc, Cb, Cp). Alors qu'il est le plus faible dans le substrat E<sub>1</sub> (Mc).

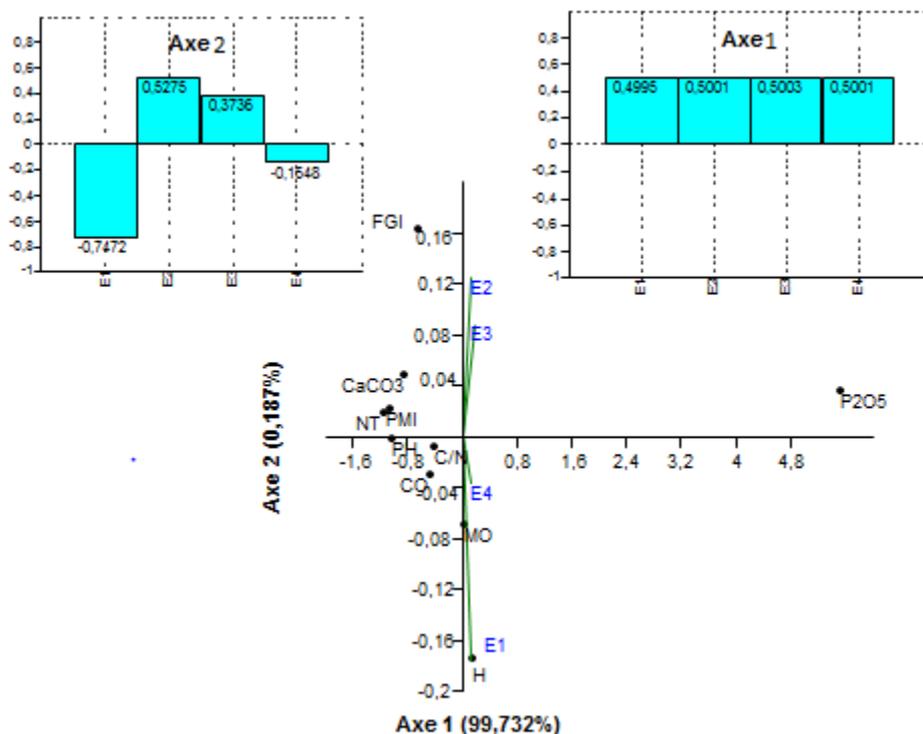
Tableau 7: Taux de croissance relatif des vers d'*Eisenia foetida* dans les 4 substrats

Substrat	E <sub>1</sub> (Mc)	E <sub>2</sub> (Mc, Co, Cb, Cp, Tp)	E <sub>3</sub> (Mc, Co, Cb, Tp)	E <sub>4</sub> (Mc, Cb, Cp)
T.C.R. (%)	44,39	83,28	68,48	66,21

## 6. Tendence physico-chimique des substrats lombricompostés sur les paramètres biologiques d'*Eisenia foetida*

L'analyse en composantes principales, effectuée avec le logiciel PAST, sur l'effet de la composition physico-chimique des 4 substrats lombricompostés (E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>,

E<sub>3</sub>, E<sub>4</sub>) sur le poids moyen et la fécondité moyenne par individu d'*E. foetida* est satisfaisante dans la mesure où plus de 80% de la variance est exprimée sur les 2 premiers axes (Fig. 25).



**Figure 25: Effet des paramètres physico-chimiques des substrats lombricompostés sur les paramètres biologiques d'*Eisenia foetida***

La projection de l'effet de la composition physico-chimique des 4 substrats lombricompostés sur le poids moyen et la fécondité moyenne par individu en vecteurs sur l'axe 1 (99,73%) montre que les 4 substrats sont corrélés positivement à la quantité de phosphore assimilable, à un degré moindre au taux de matière organique et à l'humidité. Cette tendance est vérifiée par les valeurs positives du coefficient de corrélation de Pearson.

La projection des mêmes données sur l'axe 2 (0,18%), montre que la composition physico-chimique des 4 substrats lombricompostés évolue différemment en deux groupes (E<sub>1</sub>, E<sub>4</sub>) et (E<sub>2</sub>, E<sub>3</sub>) faisant ressortir une corrélation négative des substrats (E<sub>1</sub>, E<sub>4</sub>) avec la composition en matière organique, carbone organique, à un degré au rapport C/N, à l'humidité et au pH par rapport au phosphore assimilable, au calcaire actif, à l'azote total corrélés positivement à la fécondité globale et au poids moyen par individus dans les substrats (E<sub>2</sub>, E<sub>3</sub>).

## 7. Discussion

A l'état actuel, où l'utilisation massive des pesticides et des engrais chimiques ne répond plus aux attentes des producteurs, étant donné les effets néfastes résiduels de ces derniers sur l'homme et la biodiversité en général. Une prise de conscience comme à émerger et consiste à développer de nouvelles stratégies agricoles visant à la préservation de la biodiversité, tout en maintenant une haute productivité.

A cet effet, Les recours aux bioproduits notamment les biofertilisants et les stimulateurs de la défense des plantes par le lombricompostage constituent une approche très intéressante dans la production intégrée durable. Dans ce cadre, la valorisation des résidus ménagers et domestiques comme le marc de café, les coquilles d'œuf, le papier carton et le pain dur peuvent constituer une alternative par le lombricompostage afin d'obtenir un bioproduit en deux types: solide et liquide qui peuvent donner aux plantes la richesse en élément minéraux et les moyens de se défendre elles-mêmes, ou renforcer leurs propres moyens de défense.

Dans ce cadre, les résultats de cette étude nous ont permis d'évaluer l'effet du lombricompostage de différentes proportions de marc de café, de coquilles d'œuf broyées, de papier carton et de chapelure de pain dur sur la composition physico-chimique finale des différents substrats et de comparer leurs effets sur la fécondité globale et le poids moyen du vers du fumier, *Eisenia foetida*.

### 7.1. Evolution temporelle et comparée des différents paramètres physico-chimiques et biologiques des substrats

Les résultats du lombricompostage des différents substrats par rapport au témoin non lombricomposté, le marc de café enregistrés au laboratoire pendant 17 semaines, nous ont permis de déterminer l'évolution des paramètres physico-chimiques: «Humidité, pH, taux de matière organique, de carbone organique, d'azote total, de calcaire actif, de phosphore assimilable et du rapport C/N», ainsi que leur effet sur les paramètres biologiques «fécondité globale et poids moyen du vers du fumier ».

Ces résultats démontrent bien que le compostage des différents substrats par le ver du fumier provoque une certaine bioévolution et biotransformation de la composition physico-chimique des différents substrats et des paramètres biologiques par rapport à ceux du substrat non composté, le marc de café. Ainsi, nous constatons une augmentation de l'humidité des différents substrats compostés par rapport à celle du témoin non composté. En effet, il est précisé par **Joliet (1994)** qu'un bon compostage doit présenter un taux d'humidité compris entre 50 à 70%. C'est ce qui est vérifié par tous les substrats composté et non composté. Cependant, Il est à remarquer que le taux d'humidité des substrats varie en fonction de leur diversité ou richesse en composants organiques. Ainsi, le substrat marc de café brut lombricomposté ( $E_1$ ) s'avère le plus hydrophobe par rapport aux substrats compostés

E<sub>2</sub> (marc de café, coquille d'œuf, carton broyé, pain broyé, tourbe professionnelle), E<sub>3</sub> (marc de café, coquille d'œuf, carton broyé, tourbe professionnelle), E<sub>4</sub> (marc de café, carton broyé, pain broyé) et au marc de café non composté qui possède le plus faible taux d'humidité. Il apparaît de ces résultats que quelque soit la richesse des composants apportés au marc de café, le lombricompostage favorise la rétention en eau des substrats. Mais, à condition de remuer les mélanges et d'arroser les substrats. En effet, il est noté par **Joliet (1994)** que l'arrosage et/ou retournement permettent l'aération, diminuent l'excès d'eau, le tassement et la perte ou l'absence de structure, qu'on peut déduire de l'observation ou de la présence de mauvaises odeurs. D'autre part, le retournement a pour objectif d'homogénéiser le tas, et donc le processus de fermentation. En effet, **Devisscher (1997)** rapporte que l'eau contenue dans la matière organique mise en compostage est nécessaire à la vie des micro-organismes. Elle joue également un rôle prépondérant dans le transport des particules, assurant ainsi un meilleur contact entre les fractions organiques et la flore microbienne. Pendant le compostage aérobie, la teneur en eau varie: elle augmente à cause des réactions chimiques d'oxydation de la matière organique, avec un dégagement de gaz carbonique et d'eau, comme elle diminue à cause simultanément de l'élévation de la température par évaporation et de l'aération par perte de vapeur d'eau par aération forcée ou par retournement, mais d'après **Culot et Lebeau (1999)**, elle ne doit jamais diminuer en dessous de 45 %, car elle ralentit le compostage. En dessous de 25 %, elle inhibe la décomposition de la matière organique (**Ramdani, 2015**). Donc, l'humidité ne doit ni être un facteur limitant car elle est indispensable aux micro-organismes, ni être trop importante car l'eau saturerait progressivement, dans ce cas, les espaces lacunaires et pourrait étouffer le tas, en empêchant la diffusion de l'oxygène vers les micro-organismes, qui s'asphyxient progressivement. Pour assurer un bon déroulement du compostage, il va donc être nécessaire d'assurer un taux optimal l'humidité, qui va être défini, pour un substrat donné, par le taux maximal d'espaces lacunaires qui n'entraîne pas d'inhibition de l'activité des micro-organismes. Comme, elle demeure également d'après **Bachelier (1978)** un facteur primordial pour la faune du sol. Son insuffisance, aussi bien que son excès peuvent être néfastes aux animaux. Pratiquement, les animaux rencontrent toujours dans les cavités du sol une humidité relative de 75 à 95 %. Les Protozoaires sont plus nombreux en surface qu'en profondeur et ils dépendent beaucoup de l'humidité, de la température et de la richesse en matières organiques du milieu. La longueur des vers peut varier du simple au double et, pour une même espèce, être influencée par de nombreux facteurs physiques, dont l'humidité du sol. D'une manière générale, les vers de terre recherchent l'humidité et craignent plus la sécheresse qu'une immersion temporaire.

Le suivi du pH durant la phase de lombricompostage démontre qu'il y a une augmentation du pH de tous les substrats par rapport au substrat brut non composté (témoin) qui est celui présentant le pH le plus faible, très légèrement acide par rapport à ceux lombricompostés dont les pH sont neutres. Le pH du marc de café non lombricomposté légèrement acide, est due à sa richesse en carbone organique

par rapport à tous les substrats lombricompostés, plus particulièrement aux substrats E<sub>4</sub> et E<sub>1</sub>. Mais, cette gamme de pH comprise entre 6,22 et 7,63 est très proche de celle qui est précisée par **Usuki (1955)** cité par **Bachelier (1978)** pour *E. foetida* dont la tendance préférentielle est pour les sols très organiques ou les composts à pH élevés, de l'ordre de 7 à 8. Mais, cette faible variation des pH des différents substrats lombricompostés par rapport au non lombricomposté démontre d'après **Godden (1986)** et **Gobat et al. (1998)** une faible activité des microorganismes responsables de la variation du pH, qui également permet peu le développement d'une activité microbienne nécessaire pour la fermentation des substrats. Mais, cette neutralité des pH apparaît d'après **Bachelier (1978)** favorable aux flores bactériennes fixatrices d'azote et aux cellulolytiques. Sur le processus du lombricompostage, **Bachelier (1978)** précise que le pH n'a pas d'influence majeure sur le procédé de compostage puisque la plage optimale se situe autour de la neutralité, entre 6,5 et 8,5. Mais, le pH des milieux de compostage peut varier énormément, il va dépendre des substrats: initialement, on constate alors une baisse du pH. Cette acidification est due à la production d'acides organiques par la dégradation des sucres simples et à la production de CO<sub>2</sub> en début de compostage.

Les principaux paramètres de suivi de la qualité du compost à connaître d'après **Devisscher (1997)** sont la teneur en carbone organique, azote, potasse, phosphore et le degré de maturité du compost qui peut être estimé par le rapport C/N.

Il apparaît d'après les résultats obtenus que le lombricompostage a entraîné une modification de la composition chimique des différents substrats par rapport au substrat témoin non lombricomposté, le marc de café. Nous constatons une augmentation du taux en azote total et carbonate de calcium, par contre une diminution du taux en matière organique, carbone organique, du poids en phosphore assimilable et du rapport C/N.

En effet, la diminution du taux en matière organique et en carbone total est due comme le montrent déjà en 1952 **Joshi et Kelkar** à la présence d'une certaine activité bactérienne nitrifiante active dans les tubes digestifs des vers ou dans leur excréta qui favorise la décomposition de la matière organique tout en augmentant la teneur en azote et une diminution du rapport C/N des substrats lombricompostés par rapport au marc de café, mais qui reste supérieur à 20. En effet, cela démontre que malgré la diminution de ce rapport, le taux d'azote reste assez faible et que la décomposition de la matière organique est assez lente. Ainsi, il est démontré par **Morel et al. (1986)** que la diminution du pH correspond à une évolution des matières organiques vers des formes plus stables et plus humifiées. Cependant, selon les substrats, nous remarquons une certaine variabilité de l'ordre de grandeur de ce rapport dont dépend le taux d'humification. En effet, le substrat E<sub>4</sub> est celui qui est le plus humifié. Mais, il est signalé par **Anonyme (2014)** que plus le rapport C/N d'un produit est élevé, plus il se décompose lentement et plus l'humus obtenu est stable. Cependant, il ressort que le C/N de notre substrat non composté, le marc de café est très élevé par rapport à celui avancé par **Zamora et al. (2015)** de 22. Ce résultat

montre bien que le marc de café que nous avons utilisé comme élément majeur de tous les substrats à lombricomposter n'est pas pur, il est très riche en carbone et pauvre en azote. Ce qui nous laisse envisager l'hypothèse qu'il a été enrichi en substrat carbonaté pendant sa phase de torréfaction.

Par contre, les teneurs en phosphore assimilable variables d'un substrat à l'autre atteignent des taux plus faibles à la fin du lombricompostage, à l'exception de celui du substrat E<sub>2</sub> (marc de café, coquille d'œuf, carton broyé, pain broyé, tourbe professionnelle) dont le mélange est le plus complet et qui présente un taux plus élevé par rapport à celui du substrat non lombricomposté qui se rapproche également de celui du E<sub>3</sub> (marc de café, coquille d'œuf, carton broyé, tourbe professionnelle). En effet, il est précisé par **Morel et al. (1986)** que les teneurs en phosphore diminuent régulièrement en fonction du temps pendant le compostage. Il semblerait que le complément en tourbe professionnelle est le facteur responsable de l'enrichissement excessif et de la lenteur de la diminution de la teneur en phosphore des substrats E<sub>2</sub> et E<sub>3</sub> par rapport aux substrats E<sub>1</sub> (marc de café) et E<sub>4</sub> (marc de café, carton broyé, pain broyé) qui ne contiennent pas ce composant dans le mélange.

La plupart des éléments surajoutés au marc de café dans les différents substrats montrent à la fin du lombricompostage une augmentation variable de leur teneur en azote total et en carbonate de calcium par rapport de marc de café non lombricomposté. Cependant, comparé au substrat témoin le marc de café, il apparaît que c'est le substrat E<sub>4</sub> (marc de café, carton broyé, pain broyé) qui s'enrichit le plus en azote total comparé par ordre décroissant aux substrats E<sub>2</sub> (marc de café, coquille d'œuf, carton broyé, pain broyé, tourbe professionnelle), E<sub>1</sub> (marc de café) et E<sub>3</sub> (marc de café, coquille d'œuf, carton broyé, tourbe professionnelle). Il ressort de ces résultats comme le précisent **Zhang et al. en 2010** que plus le substrat s'enrichit en azote total, plus il favorise la croissance fongique nécessaire à la dégradation de la cellulose. Cependant, ces auteurs affirment qu'une carence en azote est un facteur limitant pour la dégradation de la cellulose. Il semblerait que l'ajout de pain broyé soit à l'origine de l'apport complémentaire d'azote protéique aux substrats E<sub>2</sub> et E<sub>4</sub>. Comme, il s'avère également que les autres compléments en coquille d'œuf broyée, carton broyé soient à l'origine de l'augmentation du taux d'azote total dans tous les bioproduits finaux lombricompostés par rapport au substrat brut lombricomposté (E<sub>1</sub>), le marc de café.

## **7.2. Effets de la composition physico-chimiques des substrats sur la fécondité globale et le poids par individu d'*Eisenia foetida***

Les résultats de l'effet de la nature des différents compléments organiques issus des déchets ménagers utilisés dans l'élevage du ver du fumier, *E. foetida* afin d'évaluer la fécondité globale, le poids moyen et le taux de croissance relatif par individu et de déterminer son impact sur la qualité physico-chimique du compostage des différents substrats, nous ont permis de constater que la fécondité globale, le poids moyen et le taux de croissance par individu sont supérieurs dans tous les substrats par rapport

à ceux obtenus dans le substrat brut, le marc de café. Cependant, ces résultats font ressortir que durant la première phase du compostage l'augmentation du poids des vers reste très peu marquée dans tous les substrats, et que les pontes très rares dans les substrats E<sub>3</sub> et E<sub>4</sub>, sont absentes dans les substrats E<sub>1</sub> et E<sub>2</sub>. Ce n'est que durant la deuxième phase du compostage, après une période assez longue d'adaptation et de biotransformation des conditions de température, d'humidité, mais également de l'évolution de la qualité nutritionnelle des différents substrats, que les paramètres de croissance pondérale et de ponte d'*E. foetida* ne commencent à augmenter dans l'ensemble des substrats. En effet, ces résultats démontrent que durant la première phase du compostage, les vers ont utilisé leurs ressources nutritionnelles uniquement pour répondre à leur besoins d'entretien et de subsistance. Il est à noter que dans le cas du substrat brut, le marc de café, nous avons pu même observer durant la première phase du compostage le phénomène de l'amputation ou de la fragmentation de l'extrémité du corps des vers, processus qui semble due aux conditions défavorables nutritionnelles du substrat non complétement qui pourrait constituer un inconvénient à la disponibilité des nutriments nécessaires aux besoins d'entretien des vers, ou à la température, à l'humidité ou au manque d'aération du substrat. En effet, il est reconnu par **Kulwinder et Gurinder (2014)** que les sols contaminés par le Cadmium (Cd), le plomb (Pb) et le Nickel (Ni) provoquent 15 à 55% d'adultes d'*E. foetida* à corps fragmenté, comme ils affectent la densité, la viabilité de la production des cocons, la croissance, le développement. Alors que **Davies et al. (2003)** notent qu'ils provoquent la mort des vers et **Spurgeon et al. (2005)** montrent qu'ils diminuent la taille des populations. Mais, **Bachelier (1978)**, précise qu'après amputation les vers de terre sont en effet aussi bien capables de régénérer la partie antérieure que la partie postérieure de leur corps, selon l'emplacement de la coupure. Le nombre de segments régénérés est généralement inférieur au nombre de segments enlevés. Mais, que la présence de la corde nerveuse ventrale est essentielle à la régénération. De même, le manque d'oxygène ou son excès la bloquent. Le pH alcalin (7,63) de ce substrat ne constitue pas un facteur limitant, puisqu'il est démontré par de nombreux auteurs dont **Usuki (1955)** cité par **Bachelier(1978)** qu'*E. foetida* préfère des sols très organiques ou des composts à pH élevés, de l'ordre de 7 à 8, comme les vers peuvent très bien vivre dans des sols acides de pH 4,5 à 6. Comme, il semblerait que le substrat par sa composition initiale n'a pas rapidement contribué à répondre aux besoins nutritionnels des vers et à les coloniser par des microorganismes (champignons et bactéries) nécessaires à leur métabolisme et dont les sous produits d'excrétion permettent la colonisation du substrat et en même temps permettre le début de sa fermentation. Ainsi, il est démontré par **Miles en 1963** que ces microorganismes constituent une part essentielle de l'alimentation et de la croissance normale d'*E. foetida*. Les substrats complémentés ont permis aux vers de se maintenir indemnes malgré leur faible degré de fermentation et minéralisation. En effet, les trois substrats complémentés présentent une gamme de pH neutre de 7,08 (E<sub>2</sub>), 7,15 (E<sub>3</sub>) et 7,04 (E<sub>4</sub>), assez élevés, mais qui s'avèrent assez proches de ceux de **Fayolle (1982)** qui précise qu'*E. foetida* est une espèce neutrophile, qui préfère un pH entre 6 et 7, mais

qui peut relativement supporter des pH allant de 4 à 9. Le processus de la fermentation paraît également inhibé par les températures de nos différents substrats assez basses, comprises entre 15°C et 18,6°C très proches de la température ambiante de la salle d'élevage (12,6°C et 21,9°C), mais qui corroborent avec celles données par **Grant (1955)** de 15,7°C à 23,2°C et de **Graff (1953)** comprises entre 18°C et 20°C favorables à l'élevage d'*E. foetida*. De même, les conditions de température, d'humidité et de pH du milieu de vie de ce ver notées par **Mustin (1987)** comprises respectivement entre 15°C et 25°C, 75 et 85%, 6,5 et 8 sont très proches de celles de tous les substrats que nous avons entretenus, comprises respectivement entre 15°C et 18,6°C, 61,56 et 73,78%, 7,04 et 7,63.

Le degré de décomposition des différents substrats complétés ou de maturité de leur compost peut s'expliquer par leur rapport C/N. Plus ce dernier est faible, plus le compost des différents substrats est mature et plus il est favorable au développement des vers, ce qui n'est pas vérifié par les résultats que nous avons obtenus. En effet, ces derniers montrent que plus le substrat est complété, plus il augmente aussi bien le poids des vers, leur fécondité que leur taux de croissance. De là, le substrat E<sub>2</sub> (Mc, Co, Cb, Cp, Tp) s'avère le plus performant par ordre décroissant par rapport aux substrats E<sub>3</sub> (Mc, Co, Cb, Tp), E<sub>4</sub> (Mc, Cb, Cp) et E<sub>1</sub> (Mc). Malgré que le E<sub>4</sub> présente le C/N (24,29) le plus faible et qu'il est le plus décomposé. Ce qui est vérifié par sa teneur en carbone voisine de celle des autres substrats et surtout de sa richesse élevée en azote par rapport aux autres substrats.

L'enrichissement décroissant de la teneur en Calcium des différents composés organiques lombricompostés des substrats E<sub>2</sub>, E<sub>4</sub> et E<sub>3</sub> par rapport au marc de café composté (E<sub>1</sub>) et non composté semble être dû à la diversité décroissante de leurs composants organiques qui par la dégradation enzymatique du système digestif des vers permet l'enrichissement des turriculés (excréments) en Calcium, mais également en nitrates et en formes disponibles de Phosphore, Potassium, Calcium et Magnésium comme le montre **Koledzi, (2011)**. Mais, l'augmentation des taux de Phosphore excepté pour le substrat E<sub>2</sub> n'est pas vérifiée par nos résultats. Ce passage des nutriments favorise le développement pondéral, la fécondité et la croissance des vers, mais également la croissance des bactéries et notamment des actinomycètes dont la teneur dans les déjections des vers de terre est six fois supérieure à celle du substrat d'origine (**Anonyme, 2005**). Ces résultats démontrent que les matières organiques ne sont pas décomposées par les vers et microorganismes, mais par leur système enzymatique. En même temps, les déjections des vers sont utilisées par les microorganismes (**Koledzi, 2011**).

# **CONCLUSION GÉNÉRALE**

## Conclusion générale

Dans l'objectif de la production d'un compost à partir de marc de café complétement, nous pouvons préconiser le substrat E<sub>4</sub> (marc de café, carton broyé, chapelure de pain) à C/N 24,90, si nous envisageons l'obtention à courte durée du produit. Par contre, à long terme, nous préconisons l'utilisation du substrat E<sub>3</sub> (marc de café, coquille d'œuf, carton broyé, tourbe professionnelle) à C/N 50,30 afin d'obtenir un produit plus stable. D'autre part, le compostage des différents substrats organiques a permis après une période d'adaptation à *E. foetida* d'utiliser ses ressources nutritionnelles pour augmenter sa croissance pondérale, sa fécondité et son taux de croissance relatif qui sont beaucoup plus favorisés par les substrats E<sub>2</sub> (Mc, Co, Cb, Cp, Tp), que par le E<sub>3</sub> (Mc, Co, Cb, Tp), le E<sub>4</sub> (Mc, Cb, Cp) et le marc café (E<sub>1</sub>).

En perspective, il faudrait continuer l'étude afin de connaître la nature et la qualité finale des différents acides humiques issus du lombricompostage des différents substrats étudiés et de leur intérêt à l'utilisation en tant que bio fertilisants. Comme il faudrait également mettre en évidence d'un point de vue quantitatif et qualitatif (diversité) la microflore annélidienne intestinale, les conditions adéquates de son développement, son impact sur le cycle de développement des vers et sur le cycle de l'évolution de la matière organique et des éléments minéraux, des produits à composter, qui en complément d'analyses physico-chimiques, permettent de gérer les différentes phases du lombricompostage.

**RÉFÉRENCES  
BIBLIOGRAPHIQUES**

## Références bibliographiques

**Adi, A.J. & Noor, Z.M., 2009.** Waste recycling: Utilization of coffee grounds and kitchen waste in vermicomposting. *Bioresource Technology*, vol. 100, pp. 1027-1030. [www.elsevier.com/locate/biortech](http://www.elsevier.com/locate/biortech) (Page consultée le 12 Février 2017)

**Allen, J., 2016.** Vermicomposting Guide H-164. Las Cruces, N.M, 4 p.

**Alwaneen, W. S., 2016.** Cow Manure Composting by Microbial Treatment for Using as Potting Material: An Overview. *Pak. J. Biol. Sci.*, 19 (1): 1-10. DOI: 10.3923/pjbs.2016.1.10.

**Anonyme, 2005.** Réacheminement et compostage des déchets organiques en régions rurales: Étude de faisabilité d'un programme amélioré de recyclage et de compostage (FHMV 3231)). F.A.O., 86 p.

**Anonyme, 2008.** Statistiques du commerce extérieur de l'Algérie. Centre National de l'Informatique et des Statistiques. Ministère des Finances Générale, Direction Des Douanes, 18 p.

**Anonyme, 2014.** Recycler les déchets ménagers pour la lombriculture. Lombriculture et agriculture biologique. Fiche technique de lombricompostage. <http://www.bimtt.mg/DocWeb/LombriCompost.pdf>. (Page consultée le 22 Février).

**Anonyme, 2015 a.** Le marché du café s'établi à un niveau inférieur mais la demande reste soutenue. Rapport sur le marché du café. Organisation Internationale du Café, 6 p. [http://www.ico.org/trade\\_statistics.asp](http://www.ico.org/trade_statistics.asp). (Consulté le 12/02/2016)

**Anonyme, 2015 b.** Statistiques du commerce extérieur de l'Algérie, (Période : Les sept premiers mois 2015) Centre National de l'Informatique et des Statistiques. Ministère des Finances Générale, Direction Des Douanes, 17 p.

**Anonyme, 2016.** United States Department of Agriculture Foreign Agricultural Service.[Enligne]. [<http://www.fas.usda.gov/>] (Consulté le 12/02/2016)

**Arancon, N.Q., Edwards, C.A., Dick, R. & Dick, L., 2007.** Vermicompost tea production and plant growth impact bio cycle, pp 48, 51,52.

**Bachelier, G., 1978.** La faune des sols.Son écologie et son action. Initiations - documentations techniques, No 38. O .R .S .T .O .M .Paris, 335p.

**Ballesteros, L.F., Teixeira, J.A & Mussatto, S.I., 2010.** Chemical, Functional, and Structural Properties of Spent Coffee Grounds and Coffee Silverskin.*Food Bioprocess Technol*, vol. 7, pp. 3493-3503.

**Barbara, C.E., 1965.** L'utilisation du marc de café. Revue << Café, Cacao, Thé >>. Vol. IK, n°3 ;pp 206-217.

**Bazri, K.E., 2015.** Etude de la biodiversité des lombriciens et leurs relations avec les propriétés du sol dans différents étages Bioclimatiques, dans l'est algérien. *Thèse de Doctorat en sciences. Option Aménagement des milieux naturels. Université Constantine 1.* 143 p.

**Bostrom, U., 1988.** Growth and cocoon production by the earthworm *Aporrectodea caliginosa* in soil mixed with various plant materials. *Pedobiologia*, **32**: pp.77-80.

**Bouché, M., 1984.** Les vers de terre. *La Recherche* 15(156):pp.796-804.

**Bravo, J., Juaniz, I., Monente, C., Caemmerer, B., Kroh, L.W., De Pena, M.P. & Cid, C., 2012.** Evaluation of Spent Coffee Obtained from the Most Common Coffeemakers as a Source of Hydrophilic Bioactive Compounds. *Journal of agricultural and food chemistry*, vol. 60, p. 12565-12573. <http://pubs.acs.org/journal/jafcau> (Page consultée le 12 juin 2017).

**Buch, W., 1991.** Le ver de terre au jardin. Arts Graphiques Européens. 124 p.

**Carassou, F., 2015.** Une récupération spécifique du marc de café aurait-elle une plus-value pour la communauté ? Cas de l'île de Montréal. *Maîtrise en environnement Université de Sherbrooke.* 94p.

**Chen, K.I., Lo, Y.C., Liu, C.W., Chou, C.C., & Cheng, K.C., 2013.** Enrichment of two isoflavone aglycones in black soymilk by using spent coffee grounds as an immobiliser for b-glucosidase. *Food Chemistry*, vol. 139, pp. 79-85. [www.elsevier.com/locate/foodchem](http://www.elsevier.com/locate/foodchem) (Page consultée le 2 février 2017).

**Cruz, R., Cardoso, M.M., Fernandes, L. & Oliveira, M., 2009.** Espresso Coffee Residues: A Valuable Source of Unextracted Compounds. *Journal of agricultural and food chemistry*, vol. 60, pp. 7777-7784. . <http://pubs.acs.org/journal/jafcau> (Page consultée le 09 décembre 2016).

**Culot M., & Lebeau, S., 1999.** Le compostage. Une technique méconnue de gestion de déchets. *Bulletin d'information AIGX*, 5, 17p.

**Das, P.K., Jena, M.K. & Mohanty, S., 2002** Online edition of India's National Newspaper 'THE HIND'. Bhubaneswar.

**Davies, N. A., Hodson, M. E. & Black, S. 2003.** The influence of time on lead toxicity and bioaccumulation determined by the OECD earthworm toxicity test. *Environmental Pollution*, 21;pp. 55-61.

**Desarrollo, Y., (2011).** Ciclo biológico de *Eisenia foetida* (lombriz roja), Inversa Compostaje y Lombricultura, 2 p.

**Devisscher, S., 1997.** Propriétés et valorisation du Compost. Mém. D.E.S.S., univ. Picardie, 60 p.

**Edwards, C.A., Burrows, I., Fletcher, K.E. & Jones, B.A., 1984.** The use of earthworms for composting farm wastes. Rothamsted Experimental Station, Harpenden, U.K.

**Edwards, C. A. & Bohlen, P. J., 1992.** "The effects of toxic chemicals on earthworms". *Rev. Environ. Contam. Toxicol.*, vol. 125, pp. 23-100.

**Edwards, C.A. & Bohlen, P.J., 1992.** The effects of toxic chemicals on earthworms. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 125, pp.23-99

**Edwards, C. A., Bohlen, P. J., Linden, D. R. & Subler, S., 1995.** Earthworms in agroecosystems. In: Hendrix, P. F. (eds), *Earthworm ecology and biogeography in North America*. Lewis Publishers, Boca Raton, FL, pp. 185-213.

**Edwards, C.A., 1995.** Historical overview of vermicomposting. *Biocycle*, pp56-58.

**Edwards, C. A. & Bohlen, P. J., 1996.** *Biology and Ecology of Earthworms* 3rd ed. Chapman and Hall, London, 426 p.

**Edwards, C.A., 1999.** « Interview with Dr Clive Edwards », *Casting call*, ed. Peter Bogdanov, Vermico, Merlin (Oregon), Vol.4, n 1.

**Edwards, C.A., 2004.** *Earthworm Ecology*, 2nd ed, CRC Press LLC. 441 p.

**Efroymson, R. A., Will, M. E. & Suter, G. W., 1997.** "Toxicological benchmarks for contaminants of potential concern for effects on soil and litter invertebrates and heterotrophic process". Rapport Es/ErTm-126/R2. Oakridge National Laboratory, Oakridge, Tennessee, USA

**Evans, A.C., & McGuild, W.J., 1948.** Studies on the relationships between earthworms and soil fertility. *Ann. App. Biol.* 35: pp.471-484.

**Fayolle, L., 1982.** Etude de l'évolution du système déchets-lombriciens-micro-organismes: perspectives appliquées. Thèse Doc. Ing. Université Claude Bernard, Lyon. 130p

**Fender, W.M., (1985).** Earthworms of the western United States. Part 1. Lumbricidae. *Megadrilogica* 4, pp.93-129.

**Gates, G.E., 1972.** Burmese Earthworms, an introduction to the systematics and biology of Megadrileoligochaetes with special reference to South-East Asia. *Transactions of the American Philosophical Society*. 62(7):pp. 1-326.

**Gerard, B. M., 1967.** Factors affecting earthworms in pastures. *J. Anim. Ecol.* 36,pp. 235-252.

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

**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.

**Gomez-de la Cruz, F.J., Cruz-Peragon, F., Casanova-Pelaez, P.J. & Palomar-Carnicero, J.M., (2015).** A vital stage in the large-scale production of biofuels from spent coffee grounds: The drying kinetics. *Fuel Processing Technology*, vol. 130, pp. 188-196. [www.elsevier.com/locate/fuproc](http://www.elsevier.com/locate/fuproc) (Page consultée le 6 juin 2015).

**Graff, O., 1953.** *Die Regenwürmer Deutschlands.* Schriftenreihe der Forschungsanstalt f. Landwirtschaft, Braunschweig-Volkenrode, 7, 81 p.

**Graff, O., 1982.** Vergleich der Regenwurmarten *Eisenia foetida* und *Eudrilus eugeniae* hinsichtlich ihrer Eignung zur Proteingewinnung aus Abfallstoffen. *Pedobiol.* 23:pp. 277-282.

**Grant, W.C., 1955.** Temperature relationships in the megascolecida earthworm. *Pheretima hupeiensis.* *Ecology* 36, 3,pp. 412-417.

**Hammer, O., Harper, D.A.T. & Ryan, P. D., 2001.** PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*4(1): 9pp. [http://palaeo-electronica.org/2001\\_1/past/issue1\\_01.htm](http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm). consulté le 21 Mars 2017.

**Hartenstein, H., Neuhauser, E. F. & Kaplan, D. L., 1979.** Reproductive potential of the earthworm *Eisenia fetida*. *Oecol.* 43,pp. 329-340.

**Herrera, J. A. P., (2003).** Cinética de la lombriz de tierra *Eisenia fetida* (Edwards y Bholen, 1996) en la generación de humus para la producción de nopal verdura. Maestro en ciencias en producción agrícola. Facultad de Agronomía, universidad autónoma de nuevo león. 100 p.

**Hollingsworth, R. G. & al., 2005.** La caféine agit à la fois comme répulsif et comme produit toxique contre les escargots et limaces. *Annals of applied Ecology* 142:pp. 91-97.

**Holmstrup, M., Ostergaard, I. K., Nielsen, A. & Hansen, B. T., 1996.** Note on the incubation of earthworm cocoons at three temperatures. *Pedobiol.* 40,pp. 477-478.

**Huber, G. & Schaub, C., 2011.** La fertilité des sols: l'importance de la matière organique. Service Environnement-Innovation. Agricultures et territoires. Chambre d'agriculture du Bas Rhin. 42 p.

**Joliet, B., 1994.** Le compostage: principes et modalités. *Fourrages 140*, pp. 421-430.

**Joshi, N.V. & Kelkar, B.V., 1952.** The role of earthworms in soil fertility. *Indian J. agric. Sci.*, XXII, 2, pp. 189-196.

**Koledzi, K. E., 2011.** Valorisation des déchets solides urbains dans les quartiers de Lomé (Togo): approche méthodologique pour une production durable de compost. Thèse de doctorat, Science, Technique et Santé. Université de Limoges, 185 p.

**Kondamudi, N., Mohapatra, S.K. & Misra, M., 2008.** Espresso Coffee Residues: A Valuable Source of Unextracted Compounds. *Journal of agricultural and food chemistry*, vol. 56, pp. 11757-11760. <http://pubs.acs.org/journal/jafcau> (Page consultée le 12 février 2017).

**Kuhnelt, W., 1961.** *Soil biology*. Faber & Faber éd. (Lond.), 397 p.

**Kulwinder, K. & Gurinder, K. S., 2014.** Effects of metal contaminated soils on *Eisenia fetida* (Savigny) at Ludhiana (Punjab), India. *Journal of Applied and Natural Science* 6 (2): pp.519-523.

**Lakhani, K. H. & Satchell, J. E., 1970.** Production by *Lumbricus terrestris* (L.). *J. Anim. Ecol.* 39, pp. 473-492.

**Liu, K. & Price, G.W., 2011.** Evaluation of three composting systems for the management of spent coffee grounds. *Bioresour. Technol.*, vol. 102, pp. 7966-7974. [www.elsevier.com/locate/biortech](http://www.elsevier.com/locate/biortech) (Page consultée le 12 Février 2017).

**Lowe, C. N. & Butt, K. R., 2002.** Growth of hatchling earthworms in the presence of adults: interactions in laboratory culture. *Biol. Fertil. Soils* 35, 204-209.

**Mantell, C.L., (1975).** *Solid waste: origin, collection, processing, and disposal*, s.d., John Wiley et Sons Inc., (A Wiley-Interscience publication) 1127 p..

**Martin, N.A., 1986.** Toxicity of pesticides to *Allolobophora caliginosa* (Oligochaeta: lumbricidae). *New Zealand journal of agricultural research*, 29 (4), pp. 699-706.

**Melo, M.M.R., Barbosa, H.M.A, Passos, C.P. & Silva, C.M., 2014.** Supercritical fluid extraction of spent coffee grounds: Measurement of extraction curves, oil characterization and economic analysis. *The Journal of Supercritical Fluids*, vol. 86, pp. 150-159. [www.elsevier.com/locate/supflu](http://www.elsevier.com/locate/supflu) (Page consultée le 12 février 2017).

**MILES, H.B., 1963.** Soil Protozoa and Earthworm nutrition. *Soil Sci.*, 95, 6, pp.407-409.

**Morel, P., Guckert, A., Nicoladot, B., Benistant, D., Catroux, G. & German, D., 1986.** Etude de l'évolution des caractéristiques physico-chimiques et de la stabilité biologique des ordures ménagères au cours du compostage. *Agronomie*, 6 (8), pp. 693-701.

**Morin, R., 1999.** « Exploitation et élevage des vers de terre pour le marché des appâts vivants ». Document d'information DADD-20. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation. 12 p. <http://www.mapaq.gouv.qc.ca/Fr/Peche>.

**Mussatto, S.I., Carneiro, L.M., Silva, J.P.A., Roberto, I.C. & Teixeira, J.A., 2011.** A study on chemical constituents and sugars extraction from spent coffee grounds. *Carbohydrate Polymers*, vol. 83. [www.elsevier.com/locate/carbpol](http://www.elsevier.com/locate/carbpol) (Page consultée le 12 février 2017).

**Mustin, M., 1987.** Le Compost, Gestion de la Matière Organique, F. Dubusceds, Paris, 957 p.

**Nagavallema, K.P., Wani, S.P., Lacroix, S., Padmaja, V.V., Vineela, C., Babu., Rao, M. & Sahrawat, K.L., 2004.** Vermicomposting: Recycling wastes into valuable organic fertilizer. Global Theme on Agrecosystems Report no. 8. Patancheru 502 324, Andhra Pradesh, India: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics. p. 20. Families.800 pp.,

**Ndegwa, P.M., Thompson, S.A. & Das, K.C., 1999.** Effects of Stocking Density and Feeding Level on Vermicomposting of Biosolids. *Bioresource Technology* 71(1) :pp. 5-12.

**Neuhauser, E.F., Hartenstein, R. & Kaplan, D.L., 1980 b.** Growth of the earthworm *Eisenia fetida* in relation to population density and food rationing. *Oikos* 35:pp. 93-98.

**Neuhauser, E.F., Kaplan, D.L., Malecki, M.R. & Hartenstein, R., 1980 a.** Materials supportive of weight gain by the earthworm *Eisenia fetida* in waste systems. *Agric: Wastes* 2:pp. 43-60.

**Pajot, E., 2010.** Les Stimulateurs des Défenses Naturelles en Production Végétale : Mythe ou Réalité ?», XVI Rencontres Professionnelles. EP ValinovVegepolys. Rittmo.

**Parmelee, R. W. & Crossley, D. A. J., 1988.** Earthworm production and role in the nitrogen cycle of a no-tillage agroecosystem on the Georgia Piedmont. *Pedobiol.* 32,pp. 351-361

**Pelosi, C., 2008.** Modélisation de la dynamique d'une population de vers de terre *Lumbricus terrestris* au champ. Contribution à l'étude de l'impact de systèmes de culture sur les communautés lombriciennes. Thèse de Docteur de l'Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement (Agro Paris Tech). 95 p.

**Phillipson, J. & Bolton, P. J., 1977.** Growth and cocoon production by *Allolobophora rosea* (Oligochaeta: Lumbricidae). *Pedobiol.* 17, pp. 70-82.

**Ramdani, N., 2015.** Transformation de la matière organique au cours du co-compostage de boues de stations d'épuration et de déchets verts: Approche expérimentale pour une production durable de compost. Thèse de doctorat en chimie industrielle, Université d'Oran 1, 197 p.

**Reinecke, A.J. & Viljoen, S.A., 1991.** A comparison of the biology of *Eisenia fetida* and *Eisenia andrei* (Oligochaeta). *Biology and Fertility of Soils*. Volume 11, Issue 4, pp 295–300.

**Reynolds, J. W., 1977.** The Earthworms (Lumbricidae and Sparganophilidae) of Ontario Royal Ontario Museum. Toronto, Ontario.

**Saint-pierre, M.A., Laverdere M.R., Page F. & Cote L., 1999.** Transformation de Fientes de poulets et de résidus de scieries par le lombricompostage. *Biocycle*. 1.65-69.

**Satchell, J. E., 1967.** Lumbricidae. In: Burges, A. et Raw, F. (eds), *Soil Biology*. Academic Press, London, pp. 259-322.

**Satchell, J. E., 1980.** 'r' worms and 'K' worms: a basis for classifying lumbricid earthworm strategies. In: Dindal, D. L. (eds), *Soil biology as related to land use practices*. Proc. 7th Intl Références bibliographiques 85 Colloq. Soil Zool. Syracuse, Environmental Protection Agency, Washington D. C., pp. 848- 854.

**Scheu, S., 1987.** Microbial Activity and Nutrient Dynamics in Earthworms *Cats.J.of Biological Fertility Soils*, 5 :pp.230-234.

**Schuldt, M., Rumi y Diego, E. A. & Gregoric, G., 2005.** Determinación de "edades" (clases) en poblaciones de *Eisenia fetida* (Annelida, Lumbricidae) y sus implicancias reprobológicas *Rev. Museo La Plata, Zoología* 17 (170):pp 1-10.

**Shen, K. & Gondal, M.A., 2013.** Removal of hazardous Rhodamine dye from water by adsorption onto exhausted coffee ground. *Journal of Saudi Chemical Society*. [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com) (Page consultée le 12 février 2017).

**Siddique, J., Khan, A.A., Hussain, I. & Akhter, S., 2005.** Growth and reproduction of earthworm (*Eisenia fetida*) in different organic media. *Pakistan J. Zool.*, vol. 37(3), pp. 211-214.

**Singh, R., Sarma, R., Satyendra K., Gupta R. & Patil R., 2008.** Vermicompost substitution influences growth, physiological disorders, fruit yield and quality of strawberry (*Fragaria x ananassa* (Duch.)). *Biorecourse Technology* 99,pp. 8502-8511

**Sloane, N.J.A., 2003.** The on-line encyclopedia of integer sequences. *Notices Am. Math. Soc.* 50, pp. 912–915.

**Smeesters, E., 1993.** Le compostage domestique : comment transformer vos déchets organiques en mine d'or pour le jardin. Ed : Versicolores INC, bibliothèque nationale du Québec. 44p.

**Spurgeon, D. J., Ricketts, H., Svendsen, C., Morgan, A. J. & Kille, P. 2005.** Hierarchical responses of soil invertebrates (earthworms) to toxic metal stress. *Environmental Science and Technology*, 39:pp. 5327-34.

**Svendsen, T. S., Hansen, P. E., Sommer, C., Martinussen, T., Grønvold, J. & Holter, P., 2005.** Life history characteristics of *Lumbricus terrestris* and effects of the veterinary antiparasitic compounds ivermectin and fenbendazole. *Soil Biol. Biochem.* 37,pp. 927-936.

**Vega, R.C., Pina, G.L., Castaneda, H.A.V. & Oomah, D., 2015.** Spent coffee grounds: A review on current research and future prospects. *Food Science and Technology*, vol. 45, pp. 24-36. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2015.04.012> (Page consultée le 12 février 2017).

**Venter, J.M. & Reinecke, A.J., 1988.** The life-cycle of the compost worm *Eisenia fetida* (Oligochaeta), *South African Journal of Zoology*, 23:3,pp. 161-165, DOI: 10.1080/02541858.1988.11448096.

**Watanabe, H. & Tsukamoto, J., 1976.** Seasonal change in size class and stage structure of Lumbricid *Eisenia foetida* population in a field compost and its practical application as the decomposer of organic waste matter. *Rev. 8 col. Biol. Sol*, 13, 1, pp.141-146.

**Yadav, A., Gupta, R. & Garg, V.K., 2013.** Organic manure production from cow dung and biogas plant slurry by vermicomposting under field conditions. *Int. J. Recycling Organic Waste Agric.*, Vol. 2. 10. 1186/2251-7715-pp.2-21.

**Zamora, A.J., Pastoriza, S. & Henares, J.A.R., 2015.** Revalorization of coffee by-products. Prebiotic, antimicrobial and antioxidant properties. *LWT - Food Science and Technology*, vol. 61, pp. 12-18. [www.elsevier.com/locate/lwt](http://www.elsevier.com/locate/lwt) (Page consultée le 12 février 2017)

**Zhang, J., Zeng, G., Chen, Y., Yu, M., Yu, Z., Li, H., Yu, Y., Huang, H., 2010.** Effects of physic-chemical parameters on the bacterial and fungal communities during agricultural waste composting. *Journal of Bioresour. Technol.* 102,pp. 2950-2956.

**Site internet :**

**Anonyme, 2014. le marc de café. <http://www.sunset.com/garden/earth-frie>.**  
consulté le 27 Juin 2017.