

Vermicompostage : Une alternative durable de valorisation des déchets organiques ménagers en maraîchage périurbain à Yaoundé (Cameroun)

Auteur : Liegui, Ginette Sandrine

Promoteur(s) : Cagnet, Stéphane

Faculté : Gembloux Agro-Bio Tech (GxABT)

Diplôme : Master de spécialisation en production intégrée et préservation des ressources naturelles en milieu urbain et péri-urbain

Année académique : 2018-2019

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/8344>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.

VERMICOMPOSTAGE : UNE ALTERNATIVE DURABLE DE VALORISATION DES DÉCHETS ORGANIQUES MÉNAGERS EN MARAÎCHAGE PÉRIURBAIN À YAOUNDÉ (CAMEROUN)

LIEGUI GINETTE SANDRINE

**TRAVAIL DE FIN D'ÉTUDES PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME EN MASTER
DE SPÉCIALISATION EN PRODUCTION INTÉGRÉE ET PRÉSERVATION DES RESSOURCES
NATURELLES EN MILIEU URBAIN ET PÉRIURBAIN**

ANNÉE ACADÉMIQUE 2018 – 2019

PROMOTEUR : M. STÉPHANE COGNET

Copyright : *Aux termes de la loi belge du 30 Juin 1994 relative au droit d’auteur, il est formellement interdit de procéder à la reproduction du présent document, par quelque procédé que ce soit sans l’autorisation de l’auteur et de l’autorité académique de Gembloux Agro-Bio Tech. Le contenu du présent document n’engage que l’auteur.*

REMERCIEMENTS

Ce travail a pu voir le jour grâce au soutien et aux efforts consentis par plusieurs personnes à qui j'exprime ici toute ma profonde gratitude.

- Ma reconnaissance va tout d'abord à l'endroit de l'Académie de Recherche de l'Enseignement Supérieur Belge (ARES) pour cette belle opportunité. Vous m'avez permis de réaliser mon rêve.

- Je remercie mon Promoteur Monsieur Stéphane COGNET pour avoir accepté d'assurer l'encadrement de ce travail, pour les remarques et les critiques constructives qui ont permis d'élaborer ce travail.

- Je remercie le Coordonnateur du Master PPRN, le Professeur Haïssam JIJAKLI pour toutes les facilitations mises à notre disposition pour la réussite de cette formation.

- J'exprime ma gratitude au corps professoral du Master PPRN, conjointement dispensé par Gembloux Agro-bio Tech et l'ISIA, pour leur volonté manifeste de nous transmettre les connaissances et la rigueur scientifique.

- Merci au Professeur KENGNE Ives Magloire de l'Université de Yaoundé 1 (Cameroun) pour tous les efforts consentis afin que je participe à cette formation.

- Je remercie le Docteur DJUMYOM WAFO Guy Valerie pour ses conseils et les échanges fructueux lors de la collecte des données et pour la relecture du document.

- Je remercie Monsieur Wanda Christian, Directeur du WRU Cabinet pour son soutien à la participation à ce Master.

- J'exprime ma profonde gratitude à toute l'équipe de PROTEGE-QV, pour le soutien et l'accompagnement durant mon stage.

- Un merci particulier à Monsieur NGANTSOP Christophe de PROTEGE-QV pour ses conseils, remarques et ses encouragements pendant la collecte des données.

- Je témoigne ma profonde gratitude à mes mamans NGALIEU Martine et MBOUMBI Marie-Claire.

- Un grand merci à ma sœur Sandra, à mon frère Alphonse et à mes tantes Florence et Carole

- Un merci particulier à M. TCHADJIÉ Léonel, pour son soutien moral et ses conseils.

- Merci à mes amie(s) : Théo, Moussa, Michael, Stéphane, Jean-Pierre, Rostand, Christelle, Alex, Paul, Carine, Arnold et Ornella pour votre aide pendant la collecte des données.

Merci à tous mes promotionnaires, particulièrement à Armelle, John, Marcelin et Prosper pour la solidarité, la chaleureuse ambiance et le soutien mutuel.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS.....	ii
TABLE DES MATIÈRES	iii
LISTE DES FIGURES.....	v
LISTE DES TABLEAUX.....	v
LISTE DES ABRÉVIATIONS	vi
RÉSUMÉ	vii
ABSTRACT	viii
INTRODUCTION	1
I. REVUE BIBLIOGRAPHIQUE	3
I.1. Définitions des concepts	3
I.2. Généralités sur les déchets solides ménagers	4
I.2.1. Production des déchets ménagers dans les pays en développement (PED).....	4
I.2.2. Composition des déchets dans les pays en développement	5
I.2.3. Gestion des déchets ménagers au Cameroun.....	6
I.2.4. Contraintes liées à la gestion des déchets à Yaoundé	6
I.2.5. Traitement et valorisation des déchets organiques ménagers dans les pays en développement	7
I.2.6. Cadres juridique, institutionnel et organisationnel de gestion des déchets au Cameroun.....	7
I.3. Généralités sur le compostage.....	8
I.3.1. Méthodes de compostage	8
I.3.2. Description du processus de compostage	10
I.4. Généralités sur le vermicompostage	11
I.4.1. Processus de vermicompostage	11
I.4.2. Systèmes de vermicompostage	12
I.4.3. Paramètres influençant le vermicompostage	13
I.4.4. Combinaison compostage et vermicompostage.....	15
I.4.5. Comparaison entre compostage classique et vermicompostage	16
I.4.6. Qualité du vermicompost	16
I.4.7. Stabilité et maturité du vermicompost.....	16
I.4.8. Intérêt écologique et agronomique du vermicompost	18
I.5. Biologie, écologie, rôles et types de vers appropriés pour le vermicompostage	19
I.5.1. Biologie des vers de terre	19
I.5.2. Écologie des vers de terre.....	19
I.5.3. Rôles des vers de terre.....	20
I.5.4. Vers de terre appropriés pour le vermicompostage.....	20
I.6. Agriculture urbaine à Yaoundé	21
I.6.1. Fonctionnement de l'agriculture maraîchère à Yaoundé.....	21

I.6.2.	Utilisation des engrais chimiques et amendements organiques dans le maraichage à Yaoundé	22
I.6.3.	Atouts et contraintes liées à la production maraîchère dans la ville de Yaoundé	23
II.	PHASE EXPERIMENTALE	24
II.1.	Présentation de la zone d'étude	24
II.1.1.	Caractéristiques géographiques de la ville de Yaoundé	24
II.1.2.	Localisation du site d'étude	25
II.2.	Matériel et méthodes	26
II.2.1.	Démarche méthodologique et planification des activités	26
II.2.2.	État des lieux de l'utilisation des amendements organiques dans le bas-fond maraîcher de Nkolbisson	27
II.2.3.	Mise en place de l'essai de vermicompostage et suivi des paramètres de maturité	27
II.2.4.	Détermination de la qualité agronomique et de la phytotoxicité du vermicompost obtenu	31
II.2.5.	Analyses statistiques des données	33
III.	RÉSULTATS ET DISCUSSION	34
III.1.	Présentation des résultats	34
III.1.1.	État des lieux de la gestion des déchets et de l'utilisation des amendements organiques dans le bas-fond maraîcher de Nkolbisson	34
III.1.2.	Évolution des paramètres de maturation au cours du vermicompostage	39
III.1.3.	Qualité agronomique et phytotoxicité du vermicompost obtenu	44
III.2.	Discussion des résultats	47
IV.	CONCLUSION ET PERSPECTIVES	51
IV.1.	Conclusion	51
IV.2.	Perspectives	52
	RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	53
	ANNEXES	viii

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Un tas de compost Indore	8
Figure 2. Processus de compostage en fosse	9
Figure 3. Andains de compost	10
Figure 4. Compostage en récipient clos	10
Figure 5. Carte de la zone d'étude	24
Figure 6. Localisation du bas fond maraîcher de Nkolbisson	25
Figure 7. Planification des activités sur le terrain	26
Figure 8. Vers de terre utilisés	28
Figure 9. Dispositif expérimental	29
Figure 11. Superficies et cultures pratiquées	35
Figure 12. Quantités de fumure utilisées en fonction des superficies	37
Figure 13. Coûts des amendements organiques	38
Figure 14. Évolution de la température au cours du pré-compostage	39
Figure 15. Évolution de la température pendant le vermicompostage	40
Figure 16. Évolution du pH et de la conductivité électrique pendant le vermicompostage	41
Figure 17. Évolution de l'ammonium et l'azote total pendant le vermicompostage	42
Figure 18. Évolution de la matière organique et du carbone organique pendant le vermicompostage	43
Figure 19. Evolution du rapport C/N et de la teneur en eau pendant le vermicompostage	44

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Production spécifique des déchets dans les PED	4
Tableau 2. Composition des déchets dans les PED	5
Tableau 3. Caractéristiques socio-économiques des maraîchers de Nkolbisson	34
Tableau 4. Types de déchets produits par les maraîchers et leur mode d'évacuation (n=20)	36
Tableau 5. Types d'amendements organiques, d'engrais chimiques utilisés et difficultés d'approvisionnement	37
Tableau 6. Connaissances du vermicompostage et avis des maraîchers	38
Tableau 7. Caractéristiques physico-chimiques et teneurs en éléments nutritifs du vermicompost	45
Tableau 8. Taux de germination des graines de laitue dans des différents mélanges de sable et de compost	46

LISTE DES ABRÉVIATIONS

ADEME :	Agence de l'Environnement et de le Maîtrise de l'Energie
AFNOR :	Association Francaise de Normalisation
ANOVA :	Analyse de variance
BUCREP :	Bureau Central de Recensement et d'Etude de la population au Cameroun
CE :	Conductivité électrique
CEFREPADE :	Centre Francophone de Recherche Partenariale sur l'Assainissement, les Déchets et l'Environnement
COT :	Carbone organique total
CRESA :	Centre Régional d'Enseignement Spécialisé en Agriculture du Cameroun
CUY :	Communauté Urbaine de Yaoundé
FAO :	<i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i>
FCFA :	Franc de la Communauté Financière Africaine
GCP :	Groupeements des Compostières Professionnelles romandes
GIC :	Groupeement d'Initiative Commune
Hab :	Habitant
HYSACAM :	Socité d'Hygiène et de Salubrité du Cameroun
INS :	Institut National de la Statistique du Cameroun
IRAD :	Institut de Recherche Agricole pour le Développement du Cameroun
MOT :	Matière organique totale
MS :	Matière sèche
PED :	Pays En Développement
PMF :	Poids de Matière Fraiche
PMS :	Poids de Matière Sèche
SNDC :	Stratégie Nationale de Gestion des Déchets au Cameroun
TE :	Teneur en eau
TKN :	<i>Total Kjeldahl Nitrogen</i>

RÉSUMÉ

La gestion des déchets ménagers représente depuis quelques décennies un réel défi pour les métropoles africaines, à l'instar de Yaoundé, la capitale du Cameroun à cause de la croissance démographique exponentielle que connaît la ville. Dans l'optique de trouver des stratégies écologiques et durables pour une meilleure gestion, le présent travail de recherche avait pour objectif de proposer une solution durable de valorisation des déchets organiques ménagers par un processus de vermicompostage en zone périurbaine de la ville de Yaoundé.

Cette étude a été menée de mars à juin 2019 dans le bas-fond de Nkolbisson. La démarche méthodologique a consisté à conduire une enquête auprès des producteurs maraîchers du site, de collecter les déchets dans les ménages en milieu urbain et de mettre en place un essai de vermicompostage précédé d'un précompostage de trois semaines. Ainsi, trois traitements ont été établis (T1 : 25 kg de pré-compost + 400 vers de terre, T2 : 50 kg de pré-compost + 400 vers de terre et T3 : 75 kg de pré-compost + 400 vers de terre) et répétés chacun trois fois. Les paramètres de maturation (MOT, COT, pH, CE, Ntotal, N-NH₄⁺ et rapport C/N) ont ensuite été suivis de manière hebdomadaire. À la fin du processus (46 jours), la qualité agronomique du vermicompost final a été déterminée par des analyses physico-chimiques et un test de phytotoxicité a été conduit en laboratoire.

Pendant le précompostage, la température maximale moyenne était de 54,3±5,4 °C. Cette température a considérablement diminué la fin du vermicompostage dans tous les trois traitements. Les valeurs obtenues sont de l'ordre de 21,6±0,3 °C (T1) ; 22,3±0,2 °C (T2) et 22,9±0,2 °C (T3). Le pH du vermicompost final est compris entre 8,53±0,35 et 8,60±0,22 et la conductivité électrique entre 916±49 et 1077±31,8 µS/cm. Les rapports C/N sont de 11,04±0,31 (T1), 11,68±0,46 (T2) et 11,96±0,53 (T3). Les valeurs moyennes des autres paramètres de maturation enregistrées à la fin du compostage sont respectivement de : 26,36±1,07 % (T1), 25,82±1,26 % (T2) et 27,19±1,15 % (T3) pour la MOT; de 13,17±0,53 % (T1), 12,91±0,63 % (T2), et 13,60±0,58 % (T3) pour le COT et enfin de 270,33±24,01 mg/kg (T1), 311,33±22,72 mg/kg (T2) et 351,7±23,44 mg/kg (T3) pour le N-NH₄⁺. L'analyse des teneurs en éléments nutritifs dans le vermicompost obtenu a montré une augmentation significative dans tous les traitements par rapport au précompost. Ainsi, les teneurs en azote sont de 1,19±0,02 % (T1), 1,11±0,07 % (T2) et 1,13±0,04 % (T3). Celles du phosphore sont de 19,36±5,84 mg/kg (T1), 21,64±6,52 mg/kg (T2) et 11,05±2,63 mg/kg (T3). Le potassium a enregistré des valeurs de 5979,3±81,93 mg/kg (T1), 4152±35,9 mg/kg (T2) et 5206,67±50,57 mg/kg (T3). Les valeurs de calcium et de magnésium dans les trois traitements sont respectivement de 526,67±50,33 mg/kg (T1), 730±45,83 mg/kg (T2) et 320±34,64 mg/kg (T3) ; puis 521,33±15,27 mg/kg (T1) 312±20,25 mg/kg (T2) 226,67±30,55 mg/kg (T3). Le test de phytotoxicité a montré des taux de germination supérieurs à 50 %, toutefois le vermicompost T2 (76,67±5,77 %) est celui qui a montré des taux de germination de le plus élevé dans le substrat 75% sable +25% T2 suivi du vermicompost T3 (75,00 ±14,14) dans 75% sable + 25% T3.

Mots-clés : Vermicompostage, déchets organiques, valorisation, maraîchage, Nkolbisson

ABSTRACT

For several decades, household waste management has been a real challenge for African cities, like Yaounde, the capital of Cameroon, because of the exponential population growth in the city. With a view to finding sustainable and ecological strategies for better management, the present research work aimed to propose a sustainable solution for the recovery of household organic waste by a vermicomposting process in the peri-urban area of the city of Yaounde.

This study was conducted from March to June 2019 in the lowland of Nkolbisson. The methodological approach consisted in conducting a survey of the market gardeners of the site, collecting waste in urban households and setting up a vermicomposting test preceded by a three-week precomposting. Thus, three treatments were established (T1: 25 kg of pre-compost +400 earthworms, T2: 50 kg of pre-compost +400 earthworms and T3: 75 kg of pre-compost + 400 earthworms) and repeated three times each. The maturation parameters (MOT, TOC, pH, CE, N_{total}, N-NH₄⁺ and C/N ratio) were then monitored weekly. At the end of the process (46 days), the agronomic quality of the final vermicompost was determined by physicochemical analyzes and a phytotoxicity test was conducted in the laboratory.

During precomposting, the average maximum temperature was 54.3 ± 5.4 °C. This temperature considerably reduced at the end of vermicomposting in all the treatments. The values obtained are as follows 21.6 ± 0.3 °C (T1); 22.3 ± 0.2 °C (T2) and 22.9 ± 0.2 °C (T3). The pH of the final vermicompost is between 8.53 ± 0.35 and 8.60 ± 0.22 and the electrical conductivity is between 916 ± 49 and 1077 ± 31.8 μ S/cm. The C/N ratios are 11.04 ± 0.31 (T1), 11.68 ± 0.46 (T2) and 11.96 ± 0.53 (T3). The average values of the other maturation parameters recorded at the end of vermicomposting are respectively: 26.36 ± 1.07 % (T1), 25.82 ± 1.26 % (T2) and 27.19 ± 1.15 % (T3) for the MOT; 13.17 ± 0.53 % (T1), 12.91 ± 0.63 % (T2), and 13.60 ± 0.58 % (T3) for TOC and finally 270.33 ± 24.01 mg/kg (T1), 311.33 ± 22.72 mg/kg (T2) and 351.7 ± 23.44 mg/kg (T3) for N-NH₄⁺. The analysis of nutrient levels in the vermicompost obtained showed a significant increase in all the treatments compared to the precompost. Thus, the nitrogen contents are as follows 1.19 ± 0.02 % (T1), 1.11 ± 0.07 % (T2) and 1.13 ± 0.04 % (T3). Those of phosphorus are 19.36 ± 5.84 mg/kg (T1), 21.64 ± 6.52 mg/kg (T2) and 11.05 ± 2.63 mg/kg. Potassium values in final vermicompost was 5979.3 ± 81.93 mg/kg (T1), 4152 ± 35.9 mg/kg (T2) and 5206.67 ± 50.57 mg/kg (T3). The calcium and magnesium contents in the three treatments are respectively 526.67 ± 50.33 mg/kg (T1), 730 ± 45.83 mg/kg (T2) and 320 ± 34.64 mg/kg (T3); then 521.33 ± 15.27 mg/kg (T1), 312 ± 20.25 mg/kg (T2) and 226.67 ± 30.55 mg/kg (T3). The phytotoxicity test showed germination rates above 50 %, however T2 vermicompost (76.67 ± 5.77 %) showed the highest germination rates in the substrate 75% sand +25 % T2 followed by T3 vermicompost (75.00 ± 14.14 %) in 75 % sand + 25 % T3.

Key words: Vermicomposting, organic waste, waste recovery, market gardening, Nkolbisson

INTRODUCTION

La ville de Yaoundé, capitale du Cameroun connaît une poussée démographique impressionnante avec une population estimée à environ 2,8 millions d'habitants en 2015 (BUCREP, 2011). Cette démographie croissante entraîne non seulement une production importante de déchets urbains mais également une demande de plus en plus forte en denrées alimentaires (Useni et *al.*, 2012). Dès lors, on assiste à un important développement d'une agriculture urbaine et périurbaine (Smith et *al.*, 2004) dans le but de répondre aux besoins alimentaires sans cesse croissants. En outre, l'agriculture urbaine et périurbaine en complément de sa contribution à la sécurité alimentaire dans les villes offre des opportunités du point de vue économique, social et environnemental notamment avec la gestion des déchets urbains et l'entretien du paysage (Temple et *al.*, 2006). Cependant, l'expansion de la ville augmente les difficultés liées à cette activité agricole, notamment les problèmes d'accès à la terre et aux intrants. Il s'ensuit une exploitation intensive et continue des parcelles cultivées. De plus, l'utilisation abusive des engrais chimiques contribuent à l'acidification du sol tandis que leur combinaison aux fumures organiques atténue cette acidité (Boubié et *al.*, 1997).

Par ailleurs, la gestion des ordures domestiques représente un défi majeur dans la ville de Yaoundé avec une production estimée à environ 1200 tonnes/jour (HYSACAM, 2017) et une production spécifique moyenne de 0,62 Kg/hab/jour (Ngnikam et *al.*, 2017). Une fraction des déchets produits dans la ville est déversée de manière anarchique dans l'environnement formant des dépotoirs disgracieux et nauséabonds sur les voies publiques, dans les caniveaux, les cours d'eau et les espaces vagues (Ben Ammar & Foully, 2014). Ceci ayant pour conséquence, la pollution des ressources naturelles dans la ville et le développement des gîtes larvaires pour les insectes vecteurs de maladies. La fraction de déchets pré-collectée ne subit aucune opération de tri, mais est déversée dans des bennes ou dans des dépotoirs publics attendant le passage des camions de collecte. La société HYSACAM, partenaire privé de l'Etat est chargée du ramassage et du transport vers un site situé au quartier Nkolfoulou à la périphérie de la ville pour un enfouissement. Cependant, 76 % des ordures produites dans la capitale représentent la portion organique fermentescible qui est très peu voire pas valorisée du tout (Ngnikam et *al.*, 2017). La partie organique putrescible qui est assez importante pourrait servir de matière première pour une valorisation en agriculture maraîchère dans la zone périurbaine de Yaoundé. Dans l'optique de recherche de stratégies de gestion durable des déchets dans la capitale camerounaise et ainsi répondre aux besoins en amendements organiques des maraîchers, le présent travail a pour objectif global de proposer une solution efficace et durable de valorisation des déchets organiques ménagers par le processus de vermicompostage en milieu périurbain de la ville de Yaoundé. Cette technique de production d'amendement organique peut faire l'objet d'une exploitation durable si le processus scientifique de sa réalisation est bien maîtrisé. En effet, le vermicompostage est une technologie verte encore très peu connue ou mal maîtrisée au Cameroun en particulier chez les maraîchers. Pourtant, la transformation des déchets organiques par vermicompostage présente un double intérêt, d'une part à travers la conversion rapide des déchets en un

produit à valeur ajoutée c'est-à-dire le vermicompost et d'autre part, à travers le contrôle de la pollution par les déchets solides organiques (Bhat et *al.*, 2015). Il se pose ainsi un besoin d'appropriation de la technique par les maraîchers de Yaoundé. De manière plus spécifique, il est question de :

- dresser un état des lieux de la gestion des déchets organiques et de l'utilisation des amendements organiques par les maraîchers de Nkolbisson;
- mettre en place un essai de vermicompostage et suivre l'évolution des paramètres de maturation au cours du processus;
- déterminer la qualité agronomique et la phytotoxicité du vermicompost obtenu.

I. REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1. Définitions des concepts

Déchets : désigne « tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance ou tout matériau produit ou plus généralement tout meuble ou immeuble abandonné ou destiné à l'abandon ». (Article 1 de la loi française du 15 juillet 1975 (n° 75-633)).

Déchets ménagers : désigne les déchets provenant des activités domestiques quotidiennes des ménages pris en compte par les collectes usuelles ou séparatives (Albrecht, 2007). Ils sont constitués des déchets d'aliments non désirés, des papiers divers, des matières plastiques, des métaux, du verre et des résidus textiles (Awomeso et *al.*, 2010).

Collecte des déchets: désigne toute action de ramassage des déchets organisée par toute personne physique ou morale habilitée à cet effet.

Pré-collecte des déchets: désigne l'ensemble des opérations organisant l'évacuation des déchets depuis le lieu de leur production jusqu'à leur prise en charge par le service de collecte de la commune ou de tout autre organisme habilité.

Traitement des déchets: désigne toute opération physique, thermique, chimique ou biologique conduisant à un changement dans la nature ou la composition des déchets en vue d'en extraire la partie recyclable ou de réduire dans des conditions contrôlées le potentiel polluant, le volume et la quantité des déchets.

Valorisation des déchets: désigne toute opération de recyclage, de réutilisation, de récupération, d'utilisation des déchets comme source d'énergie ou toute autre action visant à obtenir des matières premières ou des produits réutilisables provenant de la récupération des déchets, et ce, afin de réduire ou d'éliminer l'impact négatif de ces déchets sur l'environnement.

Vermicompostage : désigne un processus par lequel les vers de terre et les microorganismes de manière synergique convertissent la matière organique (généralement des déchets) en une matière semblable à l'humus du sol appelée vermicompost et constituant un milieu de croissance des plantes (Kothari et *al.*, 2016 ; Pączka et *al.*, 2018). Le but étant de traiter le matériau aussi rapidement et efficacement que possible (Garg et *al.*, 2009).

Maraîchage : désigne de manière générale une culture de contre-saison qui exploite les nappes d'eau souterraines pendant la saison sèche, pour la production de légumes destinés à la vente. Elle est limitée dans l'espace et nécessite une technicité élaborée pour assurer la maîtrise de l'irrigation. Elle est localisée le long des cours d'eau dans les bas-fonds ou les nappes phréatiques sont facilement accessibles (Iyébi-Mandjek, 2000).

I.2. Généralités sur les déchets solides ménagers

I.2.1. Production des déchets ménagers dans les pays en développement (PED)

L'urbanisation et la démographie croissante dans les pays en développement (PED) engendrent une production importante des déchets préoccupant les autorités ainsi que les populations locales. Pour une bonne planification de la chaîne de gestion de ces déchets, il est important d'avoir une meilleure connaissance sur la production de ceux-ci (Charnay, 2005). À cet effet, plusieurs travaux à travers le monde en particulier dans les pays en développement ont porté sur leur caractérisation et leur quantification.

Tableau 1. Production spécifique des déchets dans les PED (Charnay, 2005 ; Aina, 2006 ; Ngahane et al., 2015)

Pays	Ville	Références	Production spécifique (Kg/hab/j)
Algérie	Alger	Mezouari (2002)	0,75-1,00
Bénin	Bembéréké	Ngahane et al. (2015)	1,9
Burkina Faso	Ouagadougou	Tezanou (2002)	0,54 – 0,85
Brésil	Uberlândia	Fehr et al., (2000)	0,51
Cameroun	Yaoundé	Ngnikam et al. (2017)	0,5-0,8
Cameroun	Bafoussam	Ngnikam (2000)	0,37
Inde	Moyenne nationale	Bernache Perez (2001)	0,41
Burundi	Kinama	Ngahane et al. (2015)	0,7
Malaisie	Kuala-Lumpur	Kathirvale et al. (2003)	1,70
Maroc	Rabat	O.N.E.M (2001)	0,60
Maroc	Grand Casablanca	O.N.E.M. (2001)	0,89
Mauritanie	Nouakchott	Aloueimine et al.(2006)	0,21
Mexique	Mexicali	Ojeda-Benitz et al. (2003)	0,59
RDC	Kimbanseke	Ngahane et al. (2015)	1,9
RDC	Gombe	Ngahane et al. (2015)	1,8
Philippines	Moyenne urbaine	UNEP (2001)	0,50
Philippines	Moyenne rurale	UNEP (2001)	0,30
Togo	Moyenne nationale	URBAPLAN (1996)	0,68
Vietnam	Moyenne nationale	UNEP (2001)	0,61
Zimbabwe	Harare	Achankeng (2003)	0,6 – 0,7

La variation dans la production spécifique des déchets est très grande dans les villes des PED. Ceci étant fonction du niveau de vie des populations locales, des méthodes employées pour le tonnage qui peuvent varier d'une étude à l'autre et même en fonction des saisons (Aina, 2006 ; Koledzi, 2011). En zone urbaine, la production des déchets est plus importante qu'en campagne probablement à cause de l'utilisation de la fraction organique dans les champs et pour l'alimentation des animaux et la récupération d'une autre partie dans le recyclage artisanal (Aina, 2006 ; Ntabugi, 2013). Aux Philippines par exemple, la production moyenne est de 0,5 Kg/hab/j en milieu urbain contre 0,3 Kg/hab/j en zone rurale. Au Cameroun, on constate que la production augmente avec la densité de la ville. C'est le cas à Yaoundé où la production moyenne (0,62 Kg/hab/j) est quasiment le double de production moyenne à Bafoussam (0,30 Kg/hab/j). Tenant compte des saisons, l'étude faite par Ngnikam et al. (1997) a montré que la

production spécifique varie en fonction des saisons dans les deux grandes métropoles camerounaises, notamment Douala et Yaoundé. Elle est de 0,68 Kg/hab/j en saison sèche contre 0,98 Kg/hab/j en saison de pluie dans la ville de Douala tandis qu'elle est de 0,60 Kg/hab/j en saison sèche contre 0,98 Kg/hab/j en saison de pluie à Yaoundé. Cette tendance est justifié par le fait que la saison de pluie correspond à la saison des récolte et par conséquent les denrées périssables non vendues contribuent à l'augmentation des quantités de déchets produits.

I.2.2. Composition des déchets dans les pays en développement

Les déchets ménagers sont un mélange de matières aux caractéristiques très variables et très hétérogènes. Leur composition est fonction des régions de production, du climat, des habitudes de consommation des populations, du niveau de vie des habitants, du type de collecte et même du type d'agglomération (Aina, 2006). Ainsi, la connaissance de la composition des déchets est essentielle pour entrevoir des pistes de valorisation comme le compostage ou la récupération d'autres matériaux recyclables tels que le fer, le papier, le carton, le verre, le plastique Etc... (Charnay, 2005). La caractérisation des déchets prend en compte plusieurs paramètres ; ce qui permet donc de les regrouper en plusieurs catégories.

Tableau 2. Composition des déchets dans les PED (Charnay, (2005) ; Aina, (2006) ; Ngahane et *al.* (2015))

Pays	Référence	Matières Fermentescibles (%)	Verres (%)	Plastiques (%)	Papiers carton	Métaux (%)
Burkina Faso	Folléa et <i>al.</i> (2001)	39	3	10	9	4
Ile Maurice	Mohee (2002)	68	1	13	12	1
Cameroun	Ngnikam et <i>al.</i> (1997), (2017)	76-85	0,6-1,7	2,5-9,4	4-3,5	0,8-0,9
Côte d'ivoire	Sanè, (1999)	69,7	0,5	9,5	5,8	0,9
Egypte	Ezz (2003)	60	2,5	1,5	13	3
Guinée	Matejka et <i>al.</i> (2001)	69	2,5	22,8	4,1	1,4
Liban	El Fadel et <i>al.</i> (2002)	62,4	5,6	11	11,3	2,9
Malaisie	Tawee & Ismail (2003)	38,6	3,2	18,4	27	3,9
Maroc	Hafid et <i>al.</i> (2002b)	65-70	0,5-1	2-3	18-20	3,6
Mexique	Meraz et <i>al.</i> (2003)	45	8	8	22	4
RD Congo	Ngahane et <i>al.</i> (2015)	68,4-67,3	0	1,5-3,94	1,05-1,84	1,05- 1,31
Tunisie	Hafid et <i>al.</i> (2002)	68	2	7	11	4

La fraction fermentescible (matière organique) est presque toujours majoritaire dans les PED et très souvent supérieure à 50 %. Au Cameroun, les enquêtes ont révélé que cette fraction organique constitue 76 % des déchets produits à Yaoundé et 85 % de ceux produits à Douala (Ngnikam et *al.*, 1997; Ngnikam et *al.*, 2017). Elle est de 68,42 % à Gombe et de 67,37 % à Kimbaseke en République Démocratique du Congo (Ngahane et *al.*, 2015). Les matières plastiques et papiers/cartons sont les composantes dominantes dans les déchets de la plupart des PED après la fraction fermentescible. Généralement, cette composition évolue au fil des années et en fonction des saisons.

I.2.3. Gestion des déchets ménagers au Cameroun

La Stratégie Nationale de Gestion des Déchets au Cameroun (SNGDC) élaborée en 2007 stipule que la gestion des déchets ménagers s'appuie sur trois principaux axes à savoir :

- la mise en œuvre d'une politique ciblée de sensibilisation des ménages pour une gestion optimale de leurs déchets ;
- la participation des populations à la gestion des déchets ;
- la promotion des projets d'assainissement à haute intensité de main d'œuvre.

Dans ce cadre, les actions prévues sont applicables aux i) ordures ménagères et assimilées, ii) déchets encombrants ou volumineux, iii) déchets toxiques en quantité dispersée. Concernant les ordures ménagères et assimilées, les moyens de gestion efficaces gravitent autour de la prévention, la valorisation et l'élimination. Ceci passe par la promotion du compostage pour déchets biodégradables, et la mise en décharge pour d'autres types (SNGDC, 2007).

I.2.4. Contraintes liées à la gestion des déchets à Yaoundé

La collecte des déchets à Yaoundé reste faible à cause de la pré-collecte insuffisante dans les quartiers à habitats spontanés. En effet, l'opération de pré-collecte n'est pas prise en compte dans le contrat CUY-HYSACAM (Sotamenou, 2010). D'après une enquête menée en 2002 par l'Institut National de la Statistique (INS), la structure de l'habitat à Yaoundé fait que plus de la moitié (51 %) des habitants de cette ville vivent dans des bas-fonds inaccessibles par les camions de collecte d'HYSACAM. À cette contrainte naturelle s'ajoutent, les contraintes sociales telles que l'insuffisance d'éducation et de sensibilisation sur la gestion des déchets ménagers (SNGDC, 2007). Plusieurs autres obstacles entravent la bonne gestion des déchets ménagers dans la capitale camerounaise notamment :

- le manque de planification stratégique nationale ;
- l'insuffisance des données statistiques dans le secteur ;
- le faible niveau d'organisation des agglomérations urbaines.

I.2.5. Traitement et valorisation des déchets organiques ménagers dans les pays en développement

Dans les PED, la croissance démographique exponentielle et l'urbanisation accentuent la production des déchets et posent d'énormes problèmes de pollution en milieu urbain. Pour réduire les risques de cette pollution sur la santé et sur l'environnement, il est important de trouver des voies de traitements. Cependant, l'un des véritables freins au traitement des déchets dans la plupart des PED demeure le coût d'investissement. Malgré cette contrainte, ces pays sont appelés à trouver des solutions durables pour préserver l'environnement et la santé de leurs populations. Plusieurs alternatives de traitement et de valorisation ont été développées dans lesdits pays (Bromblet & Somaroo, 2015 ; Mustin, 2015). Il s'agit entre autres de la mise en décharge contrôlée, de l'incinération, de l'enfouissement, du compostage, des collectes sélectives et du recyclage (Ben Ammar & Fouilly, 2014). Dans le contexte africain, l'enfouissement, l'incinération et le compostage sont les techniques les plus appliquées (Aloueimine, 2006). Parmi ces dernières, le compostage demeure jusqu'à présent le moyen de valorisation de déchets organiques le plus répandu dans les PED du fait de son intérêt agronomique qui est plus que d'actualité (Mustin, 2015).

I.2.6. Cadres juridique, institutionnel et organisationnel de gestion des déchets au Cameroun

Au Cameroun, les cadres juridique et institutionnel de la gestion des déchets sont assez denses. Mais les domaines de compétence et les rôles respectifs des divers acteurs impliqués créent une confusion qui n'est pas de nature à favoriser les interactions et l'application efficace des stratégies gouvernementales définies (Ngambi, 2015). Plusieurs textes de loi, de décrets et de circulaires réglementent le cadre juridique sur la gestion des déchets au Cameroun. Ce sont :

- **la loi n° 96/12 du 5 août 1996** portant loi-cadre relative à la gestion de l'environnement ;
- **la loi n° 2004/18 du 22 juillet 2004** fixant les règles applicables aux communes qui dans son article 16, mentionne que les Communes d'Arrondissement sont responsables de l'enlèvement des ordures ménagères au niveau local. La même loi, à son article 110, transfère également le pouvoir de la collecte, de l'enlèvement et du traitement des ordures ménagères à la Communauté Urbaine ;
- **le décret N° 2012/2809 /PM du 26/09/2012** signé par le Premier Ministre fixe les conditions de tri, de collecte, de stockage, de transport, de récupération, de recyclage, de traitement, de valorisation et d'élimination finale des déchets au Cameroun.

I.3. Généralités sur le compostage

D'après la FAO (2005), le compostage est un processus naturel de « dégradation » ou de décomposition de la matière organique, telles que les résidus de cultures, les déchets animaux, les restes alimentaires, certains déchets urbains et les déchets industriels par les micro-organismes dans des conditions bien définies. Plusieurs autres auteurs ont donné des définitions similaires pouvant être résumées comme suit : le compostage est un processus contrôlé de dégradation des constituants organiques d'origines végétale et animale, par une succession de communautés microbiennes évoluant en condition aérobie et entraînant une montée en température conduisant à l'élaboration d'une matière organique humifiée et stabilisée (Cooperband, 2002; Francou, 2004 ; Karanja *et al.*, 2005).

I.3.1. Méthodes de compostage

Diverses méthodes de compostage ont été développées au fil des années à travers le monde. L'utilisation d'une ou de l'autre méthode est fonction de la quantité (échelle de production) et de la qualité des matières premières, des conditions climatiques et des préférences du producteur de compost en ce qui concerne les besoins en main d'œuvre (Inckel *et al.*, 2005 ; Van der Wurff *et al.*, 2016).

➤ Méthode Indore

La méthode Indore (figure 1) a été développée en Inde par Sir Albert Howard (1873-1947) au cours des années 1920 (Van der Wurff *et al.*, 2016). La méthode utilise des mélanges en couches de matières premières à teneur élevée en C/N, comme les feuilles des plantes, à faible teneur en C/N, comme le fumier animal, dans un ratio d'environ 3:1. Dans ce système, les couches épaisses de résidus de cultures sont recouvertes de fines couches de fumier et celles-ci sont recouvertes de très fines couches de terre végétale et calcaire. Les déchets sont placés dans des fosses ou des tranchées ou empilés sur un terrain dégagé jusqu'à une hauteur de 1,5 à 1,8 m et tourné manuellement à des intervalles de 6-8 semaines. La durée totale de compostage de la méthode Indore est de 4 à 6 mois (Van der Wurff *et al.*, 2016).

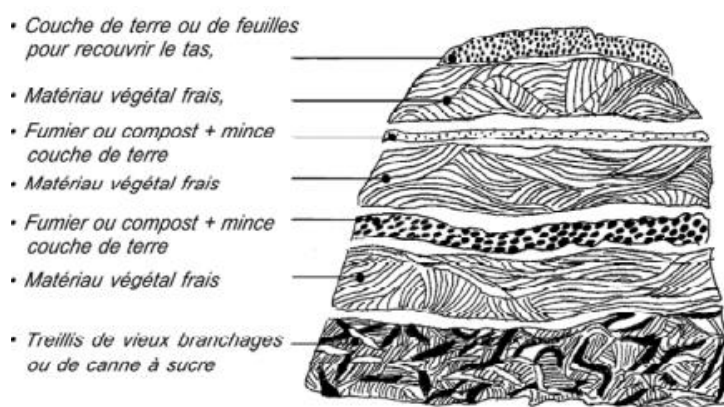


Figure 1. Un tas de compost Indore (Inckel *et al.*, 2005)

➤ Compostage en fosses

Le compostage en fosse (figure 2) est une méthode qui consiste à mélanger les biodéchets dans une succession de fosse bétonnée ou non (Pagnot et *al.*, 2006). La profondeur optimale d'une fosse varie selon les conditions locales du sol et la nappe phréatique. Une fosse modèle devrait mesurer 1,5 à 2 m de largeur, 50 cm de profondeur et peut avoir une longueur variable (Inckel et *al.*, 2005). L'idéal est de construire au moins trois fosses qui permettent en quelque sorte le retournement du compost. Ainsi, au bout d'une période de deux à trois semaines, tout le contenu de la fosse est transféré dans une deuxième fosse. Après deux à trois semaines encore, le contenu est à nouveau transféré dans une troisième fosse tout en remplissant les fosses précédentes de déchets frais. Ainsi, le processus se fait en continu.

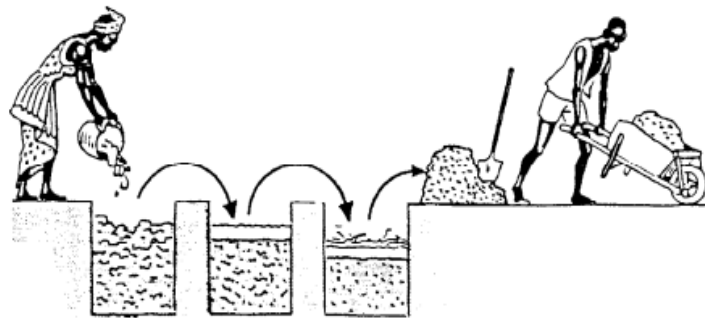


Figure 2. Processus de compostage en fosse (Inckel et *al.*, 2005)

➤ Compostage en andains

Le compostage en andains consiste à placer un mélange de matières premières dans de longues piles étroites appelées andains (figure 3) qui sont retournées régulièrement (M'sadak & Saad, 2014). La forme de l'andain qui peut être arrondie, triangulaire ou trapézoïdale est déterminante pour l'efficacité du traitement biologique et fonction du système de compostage choisi (Charnay, 2005). Cette méthode est adaptée à la production de gros volumes de compost. Ces rangées sont généralement retournées pour mélanger et améliorer la porosité (aération), la teneur en oxygène et la dégradation de la matière organique. Pour les opérations de petite à moyenne échelle, l'aération peut se faire essentiellement par un mouvement passif ou naturel de l'air (convection et diffusion gazeuse). Le retournement peut aussi s'effectuer avec des machines appropriées. Généralement, les andains ont une hauteur qui varie de 90 cm pour les matières denses comme le fumier à 360 cm de haut pour les matières légères, volumineuses telles que les feuilles. La largeur peut varier de 300 à 600 cm (FAO, 2005). cette méthode de compostage peut être modifiée en fonction du lieu et des circonstances.



Figure 3. Andains de compost (www.enrich.ie/composting-2)

➤ Compostage en récipients clos

Le compostage en casier, en lits rectangulaires, en silos, en conteneurs et dans les tambours rotatifs (figure 4) sont regroupés sous le terme de compostage en récipient clos. Dans ce système, les matières à composter sont confinées dans un bâtiment, un container ou un récipient. Ces méthodes sont basées sur l'aération forcée et des techniques de retournement mécanique qui visent à accélérer le processus de compostage (FAO, 2005).

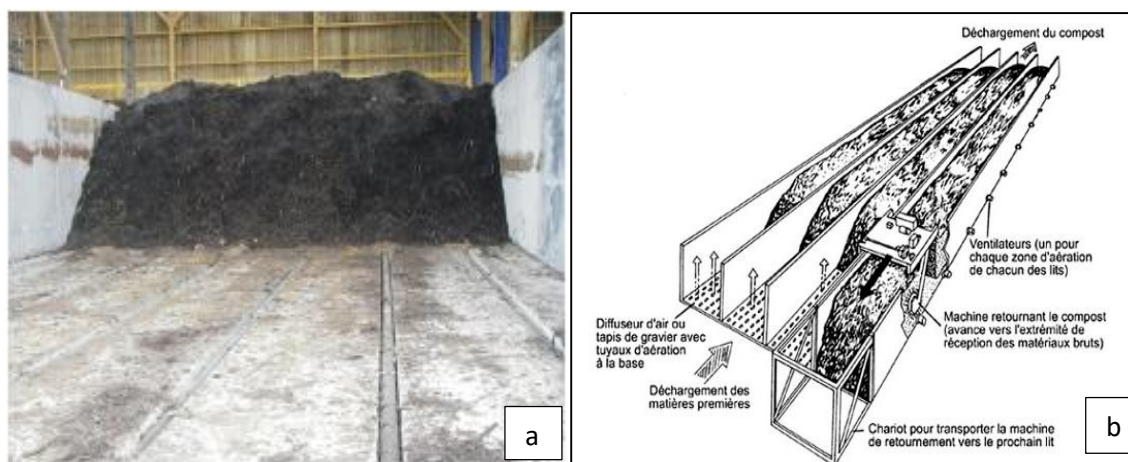


Figure 4. Compostage en récipient clos (a. Compostage en casiers (<https://emofrance.com>), b. Compostage en lits rectangulaires)

I.3.2. Description du processus de compostage

Le compostage s'effectue grâce à l'activité des micro-organismes naturellement présents dans les sols (Graves & Hattermer, 2000). Sous les conditions naturelles, les vers de terre, nématodes et insectes du sol tels que les trichomes, les collemboles, les fourmis et les coléoptères sont responsables de la majeure partie de la décomposition mécanique initiale des matériaux en particules plus petites. Dans des conditions contrôlées, les maîtres composteurs fragmentent les grosses particules par broyage ou hachage. Une fois que les conditions physiques optimales sont établies, les bactéries du sol, les champignons, les actinomycètes et les protozoaires déjà présents dans les déchets colonisent la matière organique et initient

le processus de compostage (Cooperband, 2002 ; Chen et *al.*, 2009). Le processus de compostage peut être divisé en deux principales phases : la phase oxydative (active) et la phase de maturation.

➤ **Phase oxydative (active)**: au cours de cette étape du compostage l'activité microbienne est vigoureuse et les matériaux facilement dégradables sont décomposés, ainsi que certains des matériaux les plus résistants à la pourriture tels que la cellulose (Graves & Hattemer, 2000). L'essentiel dans cette phase oxydative est de maintenir l'humidité entre 40 à 60 % l'apport d'oxygène et de contrôler l'élévation de température (Charnay, 2005). Elle comprend trois autres phases dont les phases mésophile, thermophile et la phase de refroidissement. La **phase mésophile** correspond à la montée en température du compost résultant de l'activité microbienne au début du processus. L'inertie thermique forte du tas de compost produit une montée de la température par accumulation de chaleur (Debril, 2005). A la suite de cette phase survient la **phase thermophile** avec des températures très élevées jusqu'à l'obtention de la température maximale pouvant atteindre rapidement les 70 à 80 °C au sein de l'andain de compost en deux jours (Sierra et *al.*, 2013). Ainsi, l'activité des populations microbiennes mésophiles est inhibée, il leur succède alors d'autres populations microbiennes et fongiques dites thermophiles (Faverial, 2016). Il est admis que les hautes températures de cette étape participent à l'hygiénisation du compost par l'élimination des germes pathogènes et des graines des adventices éventuellement présents (Débril, 2005). Peu à peu la température redescend dans le compost : c'est le **refroidissement** qui marque le début de la phase de maturation.

➤ **Phase de maturation** : cette phase est plus lente et correspond à la conversion du carbone en dioxyde de carbone et en humus et l'azote en nitrates par les microorganismes (CEFREPADE, 2012). Elle démarre par un refroidissement c'est-à-dire un retour à la température ambiante en dessous de 30 °C. L'activité des microorganismes est complétée par celle de la macro faune notamment les vers de compost, les acariens, les collemboles, les cloportes, les coléoptères, les mille-pattes, etc...(Debril, 2005). Par ailleurs, les bactéries laissent majoritairement place aux champignons, qui stabilisent les matières organiques sous formes de composés humiques (ADEME, 2015).

I.4. Généralités sur le vermicompostage

I.4.1. Processus de vermicompostage

Le vermicompostage est une méthode très efficace de conversion des déchets organiques solides en une ressource précieuse, utile et respectueuse de l'environnement. C'est un processus accéléré qui implique la bio-oxydation et la stabilisation des déchets à la suite des interactions entre certaines espèces de vers de terre et de microorganismes (Lores et *al.*, 2006 ; Dominguez, et *al.*, 2010). Ainsi, le lombricompost, qui est le produit final est un matériau stabilisé, finement divisé, ressemblant à de la tourbe, présentant un faible rapport C:N, une porosité élevée et une capacité de rétention en eau qui contient la plupart des nutriments sous forme facilement assimilables par les plantes (Dominguez, 2004).

Le processus de vermicompostage comprend deux phases importantes en fonction de l'activité du ver de terre. On distingue une **phase active** au cours de laquelle le ver de terre transforme le substrat organique, modifiant ainsi son état physique et sa composition microbienne (Lores et *al.*, 2006). Et une **phase de maturation** marquée par la migration des vers de terre vers des couches de substrat plus fraîches non digérées. Durant cette phase, les micro-organismes prennent en charge la décomposition du substrat déjà digéré par les vers de terre (Aira et *al.*, 2007 ; Gómez-Brandón et *al.*, 2011). La durée de la phase de maturation n'est pas fixe, elle dépend de l'efficacité avec laquelle se déroule la phase active du processus, qui est elle-même déterminée par l'espèce et la densité des vers de terre dans le compost (Dominguez et *al.*, 2010). L'activité immédiate des vers de terre améliore considérablement la minéralisation du carbone et de l'azote dans le substrat et ces effets sont proportionnels à la densité des vers de terre présents dans le déchets (Aira et *al.*, 2008). En alimentant les vers avec de la matière organique, certaines bactéries qui jouent un rôle utile dans la décomposition des déchets organiques s'associent à ceux-ci et accélèrent le processus de dégradation. C'est ainsi que pendant le passage de la matière organique dans l'intestin du ver de terre, les fragments et les excréments riches de ces bactéries sont mélangés pour homogénéiser la matière (Dominguez, 2004). Pour un tas de compost d'une dimension de 2,4 m × 1,2 m × 0,6 m de haut, il faut une population de vers de terre d'environ 50 000 individus. Leur ensemencement dans le compost favorise le mélange de la matière, l'aération et l'accélération du processus de décomposition (FAO, 2005).

I.4.2. Systèmes de vermicompostage

De manière générale, il existe trois principaux types de système de base pour le vermicompostage très prisés par les agriculteurs : les andains, les lits et les bacs ou les réacteurs à écoulement continu (Munroe, 2007). Selon qu'il est fait de manière industriel ou sur de petites surfaces, on distingue deux types de vermicompostage : à petite échelle (utilisation des petits et grands composteurs cylindriques et des conteneurs à trois ou quatre unités) et à grande échelle (méthode de l'andain, systèmes de bioréacteurs, bacs extérieurs, et systèmes d'avion) (Zazouli et *al.*, 2009). Les méthodes en bac et en andain sont les plus utilisées (Rostami, 2011).

➤ Vermicompostage en bac ou en silos

Le vermicompostage pratiqué à petite échelle se fait dans de petits ou de grands composteurs cylindriques et des conteneurs à quatre ou trois unités (Zazouli et *al.*, 2009). Cette technique est utilisée pour le compostage domestique, dans la cuisine ou dans le garage, etc. Il permet de répondre au problème de la masse critique que rencontrent fréquemment les jardiniers amateurs avec leurs composts et qui freine le démarrage du compostage (Grattepanche, 2005). Le bac peut être fait de divers matériaux, mais le bois et le plastique sont populaires. Les bacs en plastique, en raison de leur légèreté, sont plus appréciés dans le compostage domestique. Un bac de vermicompost peut être de différentes tailles et formes, mais sa hauteur dépasse généralement 30 cm. Les bacs d'une hauteur de 30 à 50 cm et pas plus sont parfaits

(Rostami, 2011). Pour la réalisation du bac, il est important de percer des trous dans le fond, sur les côtés et sur le couvercle pour l'aération et le drainage du jus de compost. Environ 10 trous de 1-1,5 cm de diamètre est un bon choix. Avant de nourrir les vers avec des déchets, il est nécessaire d'appliquer un lit de ver d'une hauteur de 20-25 cm composé d'un mélange de papier déchiqueté, de compost mûr, de vieux fumier de vache ou de cheval et de la terre (Rostami, 2011).

➤ **Vermicompostage en andain**

La méthode de vermicompostage en andain est utilisée à grande échelle plutôt que la méthode en bac (Zazouli et *al.*, 2009). Le vermicompostage est le moyen choisi pour traiter une grande quantité de déchets, par conséquent, l'utilisation des andains est plus rentable. Les piles de compost peuvent être faites sous abris comme une serre ou à un étage avec certaines installations pour le drainage dans les climats chauds. Bien que la largeur et la longueur de la pile soient si variables, elles ne peuvent toutefois pas être très hautes. Il est préférable de suivre la méthode de hauteur du bac (Rostami, 2011).

➤ **Vermicompostage en lit**

Le vermicompostage en lit peut se faire à grande échelle sous serre ou à l'extérieur. Pour sa réalisation, il est important de construire des lits de 40 cm de profondeur, de 1 à 2 m de largeur sur la longueur nécessaire, à l'aide de planches ou de béton. La surface inférieure du lit doit être isolée du sol pour empêcher les taupes, prédateurs des vers, de pénétrer dans le système. Dans le fond du lit, une première couche de matières organiques ensemencées de vers est déposée et la matière organique à composter est apportée régulièrement (Grattepanche, 2005). Chaque système précédemment décrit présente un certain nombre de variantes : en systèmes continus ou discontinus :

Dans le **système continu**, les vers de terre sont introduits dans la litière sur laquelle on ajoute de manière progressive et régulière de la nourriture fraîche et aussi une nouvelle couche de litière. Tandis que dans le **système discontinu** : la litière et la nourriture sont mélangées avant l'ajout des vers. Ainsi, plus aucun travail n'est fait sauf celui des vers de terre jusqu'à la fin du processus (Munroe, 2004).

I.4.3. Paramètres influençant le vermicompostage

Les paramètres du vermicompostage sont presque les mêmes que ceux du compostage classique, toutefois, ils doivent respecter les conditions de vie des vers de terre. Ce sont principalement, les paramètres influençant l'activité des lombrics au cours du processus.

➤ **Température**

La température est le facteur clé qui affecte l'activité biologique dans toute opération de compostage. Elle est importante pour assurer une croissance et une activité optimales des microbes (Singh et *al.*, 2013). Dans le vermicompostage, l'activité du ver de terre, son métabolisme, sa croissance, sa respiration et sa reproduction sont fortement influencés par la température (Reinecke et *al.*, 1992 ; Dominguez, 2004 ; Rostami, 2011). En effet, les températures élevées et l'environnement sec sont plus contraignants que les

basses températures et l'environnement saturé d'eau, pour les vers de terre (Rostami, 2011). L'effet défavorable des températures élevées (supérieures à 30 °C) sur la plupart des espèces de vers de terre lors du processus n'est pas un effet tout à fait direct. Elles favorisent aussi les processus chimiques et microbiennes dans le substrat et l'intensité de l'activité microbienne consomme l'oxygène disponible entraînant des effets négatifs sur la survie des lombrics. Il est par ailleurs important de noter que, l'activité bactérienne se multiplie par deux pour chaque augmentation de température de 10 °C et les vers ont une bonne activité autour de 15-30 °C. Des études ont montré qu'une plage de température d'environ 15-25 °C est plus appropriée pour le vermicompostage (Dominguez, 2004). Il est important de laisser passer les hautes températures (50 à 70 °C) lors de la phase thermophile par une étape de pré-compostage. Ceci permet aussi de détruire les germes pathogènes et les graines de mauvaises herbes dans le compost.

➤ **Humidité**

Il existe de fortes relations entre la teneur en humidité des déchets organiques et le taux de croissance des vers de terre. Le manque ou l'excès d'humidité est néfaste pour les vers de terre. En cas de forte humidité les concentrations en oxygène deviennent faibles dans le substrat et sont préjudiciables pour les vers car ils respirent à travers la peau (Sierra et *al*, 2011), de même que pour les microorganismes aérobies qui jouent un rôle très essentiel dans la dégradation de la matière organique. La plage optimale de la teneur en humidité dans le vermicompost pour la plupart des espèces se situerait entre 50 et 90 % (Dominguez, 2004). Dans les déchets, l'humidité devrait tourner autour de 75 % et ne pas dépasser 85 %. Lorsque le substrat est sec un arrosage par aspersion est recommandé dans le cas des systèmes à grande échelle. Par contre en cas d'apport de déchets fortement humides comme les fruits et légumes, l'arrosage n'est pas nécessaire et un drainage ou un apport de matière brune sèche corrigerait le niveau d'humidité s'il est supérieur à 75 % (Chaoui, 2010).

➤ **pH**

Les vers sont sensibles au pH. De ce fait, le pH du sol ou des déchets est parfois un facteur limitant la distribution, le nombre, les espèces de lombrics et même l'activité de ces derniers (Singh et *al*., 2005). Cependant, des chercheurs ont montré que davantage d'espèces de vers de terre manifestent un intérêt pour la vie à pH neutre (Rostami, 2011). Les augmentations mineures de l'acidité causées par l'ajout de déchets frais sur le lit de vermicompostage peuvent être neutralisées par les sécrétions intestinales de calcium de vers de terre et d'ammoniac excrété. Une autre solution pour pallier à ce problème d'acidité, la chaux ou les coquilles d'œufs sont couramment ajoutées au lombricompost (Dominguez, 2004).

➤ **Aération**

Les vers de terre n'ont pas d'organes respiratoires spécialisés ; ils obtiennent de l'oxygène par diffusion à travers la paroi du corps et perdent du dioxyde de carbone par le même mécanisme. Par ailleurs, ils sont très sensibles aux conditions anaérobies et leur fréquence respiratoire est réduite lorsque la concentration en oxygène est faible (entre 55 et 65 %). Les activités d'alimentation pourraient être

réduites dans ces conditions non optimales (Dominguez, 2004). Le processus de dégradation de la matière nécessite par conséquent un bon apport en oxygène. Pour cela, un meilleur échange d'air de l'intérieur vers l'extérieur de la compostière est nécessaire (Morin, 2004).

➤ **Teneur en ammoniac**

Les vers de terre sont très sensibles à l'ammoniac. C'est le principal facteur de salinité du compost. Ces invertébrés ne peuvent pas survivre dans les matières organiques contenant un taux élevé de cation ; leur limite de tolérance est de 5 mg/g (Chaoui, 2010). Ils trouvent la mort également dans les déchets riches en sels inorganiques. Toutefois, les déchets organiques contenant de grandes quantités d'ammoniac peuvent devenir acceptables après leur élimination par une période de pré-compostage (Dominguez, 2004). En dehors des limites de ces paramètres environnementaux, l'activité des vers de terre et le taux de traitement des déchets organiques diminuent considérablement. Pour une efficacité maximale du vermicompostage, les déchets doivent être préconditionnés pour les rendre aptes au vermicompostage (Dominguez, 2004).

➤ **Rapport C/N**

L'apport de carbone (C) par rapport à l'azote (N) est une qualité importante des matières premières du compost (Graves & Hattemer, 2000). Celui-ci est désigné par le rapport C/N qui exprime la proportion de carbone et d'azote disponible dans la matière organique. C'est un paramètre essentiel dans le processus de décomposition aérobie de la matière organique (Aboulam, 2005). Selon certains auteurs, pour le compostage des déchets ménagers, le rapport C/N optimal doit être compris entre 25 et 30 selon le type de matière première. De manière générale, lorsque ce rapport est élevé à cause d'un apport important de matière carbonée, les microorganismes utilisent tout l'azote pour leurs besoins métaboliques. En outre, les microorganismes consomment 15 à 30 fois plus de carbone que d'azote. Cependant, si le rapport est faible, la matière première est très azotée par conséquent l'azote va être perdu dans l'atmosphère sous forme d'ammoniac par volatilisation (Graves & Hattemer, 2000 ; Aboulam, 2005). L'optimisation de ce rapport C/N au cours du compostage des déchets ménagers qui sont très riches en azote peut se faire par l'apport de la sciure ou des copeaux de bois, de la paille, du papier carton etc...

I.4.4. Combinaison compostage et vermicompostage

La combinaison du compostage et du vermicompostage a récemment été considérée comme un moyen de parvenir à des substrats stabilisés (Tognetti et *al.*, 2007). Cette approche intégrée vise à optimiser les attributs pertinents à chacun de ces deux processus et les combiner pour améliorer le processus global et la qualité du produit final (Ndegwa & Thompson, 2001). Nair et *al.* (2006), ont montré que le pré-compostage améliore le vermicompostage des déchets de cuisine. En effet, un thermocompostage de neuf jours avant le vermicompostage a permis la réduction de la masse, de l'humidité et des agents pathogènes dans le substrat. Ainsi dans la combinaison des deux techniques, le

le compostage a pour rôle d'hygiéniser les déchets et d'éliminer les composés toxiques pendant la phase thermophile, tandis que le vermicompostage a pour rôle de réduire la taille des particules et augmente la disponibilité des nutriments tout en réduisant la durée du traitement (Ndegwa & Thompson, 2001).

I.4.5. Comparaison entre compostage classique et vermicompostage

Le vermicompostage diffère du compostage sur plusieurs aspects. C'est un processus mésophile, utilisant des microorganismes et des vers de terre actifs entre 10 et 32 °C (pas la température ambiante mais la température dans la pile de matière organique humide) (Gandhi et *al.*, 1997). Il est différent du compostage classique par l'absence de phase thermophile et la présence des lombrics (St-Pierre, 1998). Le processus est plus rapide que le compostage traditionnel car les vers de terre peuvent consommer l'équivalent de leur poids/jour (FAO, 2005). La matière organique passe dans l'intestin du ver de terre, de sorte que les déjections de vers de terre (turricules) résultantes sont riches en activité microbienne, en régulateurs de croissance des plantes et chargées des attributs de répulsion des ravageurs. En bref, les vers de terre, à travers ce type d'alchimie biologique sont capables de transformer les ordures en «or » (Tara, 2003). De plus, le vermicompostage convertit généralement les matières organiques en une taille plus uniforme, ce qui donne au substrat final un aspect terreux caractéristique, tandis que le matériau résultant du compostage a généralement un aspect plus hétérogène (Ndegwa & Thompson, 2001).

I.4.6. Qualité du vermicompost

Un vermicompost ou un compost de qualité permettrait à l'agriculteur d'améliorer la fertilité du sol et de booster la croissance des plantes. Toutefois, le réaliser de manière inadéquate serait source de nuisance pour les cultures (GCP, 2008). Ainsi, pour une valorisation agricole du vermicompost (compost), il est important de connaître sa composition en éléments désirables telles que les éléments fertilisants majeurs et mineurs (N, P, K, Ca, Mg, Fe...). Il est aussi très important de connaître la teneur en éléments indésirables à savoir les métaux lourds toxiques (Cd, As, Hg, Cu, Zn, Pb, Ni, Cr) (Jemali et *al.*, 1996) et en pathogènes (salmonelles, Entérocoques, *E. coli*, œufs d'helminthes...).

I.4.7. Stabilité et maturité du vermicompost

La stabilité/la maturité d'un compost est devenue un aspect critique pour l'épandage en champ, car le compost immature peut être préjudiciable à la croissance des plantes et à l'environnement du sol (Wu et *al.*, 2000). La maturité est associée au potentiel de croissance des plantes ou à la phytotoxicité tandis que la stabilité est liée à l'activité microbienne du compost. Cependant, la stabilité et la maturité vont généralement de pair, car les microorganismes produisent des composés phytotoxiques dans les composts instables (Antil et *al.*, 2013). Dans le même ordre d'idée, Wichuk & McCartney, (2010), considèrent un vermicompost comme mature lorsqu'il est appliqué sur le sol en tant qu'amendement organique pour la croissance des plantes sans entraîner d'effets néfastes. D'après certaines études, quelques paramètres peuvent être utilisés comme indicateurs de maturité du compost. Il s'agit entre autre du pH, de la conductivité électrique (CE), de la teneur en NH_4^+ , des rapport C/N, et $\text{N-NH}_4^+ / (\text{N-NO}_3^- +$

N-NH₄⁺) et de la phytotoxicité (Francou, 2004 ; Bernal *et al.*, 2009). Cependant, il est à préciser qu'aucune méthode ne peut être appliquée universellement à tous les types de compost en raison du type de matière première et de la technologie de compostage (Antil *et al.*, 2013).

I.4.7.1. Indicateurs physiques et chimiques de maturité du compost

Sur le plan physico-chimique, les changements de pH et de conductivité électrique dus à la décomposition des acides organiques, suggèrent que ces deux paramètres pourraient constituer de bons indicateurs de la stabilité du compost. Ainsi, un pH acide est caractéristique d'un compost immature tandis qu'un pH compris entre 7 et 9 traduit un compost stable et mature (Avnimelech *et al.*, 1996). Par ailleurs, pour Shanthi (2018), le rapport carbone/azote (C/N) apparaît comme l'un des paramètres essentiels qui détermine le degré de compostage et le degré de maturité du compost. En effet, la réduction de ce rapport C:N dans le vermicompost final indique une minéralisation et une décomposition rapide de la matière première initiale (Garg & Gupta, 2011 ; Singh *et al.*, 2014). Cette diminution du rapport C:N peut être considérée comme un indice fiable de la maturité lorsqu'elle est combinée à d'autres paramètres tels que le dégagement de CO₂, le carbone soluble dans l'eau et le contenu en substances humiques (Goyal *et al.*, 2005). La maturité du compost peut aussi être déterminée en termes de nitrification à travers le rapport N-NH₄⁺/(N-NO₃⁻ + N-NH₄⁺). En effet, pendant la phase de maturation la diminution du NH₄⁺ traduit sa conversion en NO₃⁻ par le processus de nitrification (Raj & Singh, 2012). Par conséquent, la teneur en NO₃⁻ devrait être supérieure à celle en NH₄⁺ (Gomez-Brandon *et al.*, 2008).

I.4.7.2. Indicateurs biologiques

D'un autre point de vue, des méthodes biologiques d'estimation du degré de maturité reposent également sur des tests de phytotoxicité. Dans la littérature, le test de germination est principalement utilisé pour évaluer ce paramètre car il fournit une image instantanée de la phytotoxicité du compost (Bernal *et al.*, 2009). La diminution du taux de germination indique la présence de phytotoxines dans les mélanges de déchets lors du compostage, alors qu'une augmentation reflète la disparition de substances phytotoxiques (Antil *et al.*, 2013). Ainsi, Zucconi (1981) a rapporté que le compost avec des taux de germination de 80 % était exempt de phytotoxines et considéré comme étant à maturité complète (Sellami *et al.*, 2008).

I.4.8. Intérêt écologique et agronomique du vermicompost

I.4.8.1. Intérêt écologique du vermicompost

Le vermicompostage a récemment été reconnu comme une alternative appropriée de stabilisation et d'élimination hygiénique et économique des déchets urbains (Achsa & Lakshmi Prabha, 2013). En effet, dans le système de gestion des déchets, le vermicompostage est durable, économiquement viable et sans effets néfastes pour la santé humaine ou pour l'environnement (Dominguez & Gomez-brandon, 2005 ; Pirsahab et *al.*, 2013). Ainsi, cette technologie verte résout simultanément deux problèmes pesants de la société moderne. Il permet de réduire les coûts de transport des terres et des déchets liés à l'enfouissement et à l'incinération. Cela permet d'éviter les conditions d'insalubrité générées par les détritux non triés (Silawat et *al.*, 2010).

I.4.8.2. Intérêt agronomique du vermicompost

Sur le plan agronomique, les avantages du vermicompost en tant qu'amendement implique son potentiel à maintenir la matière organique du sol, favoriser la disponibilité des éléments nutritifs, supprimer les maladies des plantes et augmenter l'abondance et l'activité microbiennes du sol (Gomez-Brandon & Dominguez, 2014). En effet, Arancon et *al.* (2006) ont constaté deux contributions majeures du vermicompost dans le sol, celles de l'augmentation de la population microbienne et de leur activité. Ces deux facteurs jouent un rôle déterminant dans le rythme du cycle des nutriments dans le sol, la production d'éléments influençant la croissance des plantes, l'accroissement de la résistance des plantes ou la tolérance aux maladies et aux attaques des nématodes. Cet amendement organique rend non seulement les plantes saines et productives, mais il régule également le développement des plantes grâce aux acides humiques et aux hormones de croissance (Durak et *al.*, 2017). Lorsqu'il est utilisé comme substitut total ou partiel des engrais minéraux dans les supports de culture en serre à base de tourbe et comme amendement de sol dans les études de terrain, il présente des bénéfices assez significatifs (Lazcano & Dominguez, 2011). Le vermicompost améliore l'état nutritionnel du sol, permet une bonne croissance des racines et l'absorption des macro et les micro-nutriments essentiels à la plante. En effet, les excréments (turricules) des vers sont riches en nitrate, P, K, Ca et Mg sous formes assimilables par la plante (FAO, 2005). Le vermicompost améliore l'aération et la texture du sol, réduisant ainsi le compactage. Il contribue également à améliorer la capacité de rétention en eau du sol en raison de sa teneur élevée en matière organique (Dominguez et *al.*, 1997). Des études ont démontré le potentiel fertilisant du lombricompost dans l'amélioration de la croissance et du rendement de différentes cultures de plein champ. C'est le cas des légumes, des cultures florales et fruitières (Achsa & Lakshmi Prabha, 2013), de la laitue Durak et *al.* (2017) ; de la tomate (Eswaran & Mariselvin, 2016; Vijayalakshmi et *al.*, 2017).

I.5. Biologie, écologie, rôles et types de vers appropriés pour le vermicompostage

I.5.1. Biologie des vers de terre

Les vers de terre sont des organismes macro-invertébrés terrestres appartenant à l'embranchement des Annélides, classe des *Clitellata*, sous-classe des *Oligochaeta* et à l'ordre des *Haplotaxida* (Pearce et *al.*, 1990). Ils vivent dans des habitats variés et font preuve d'une activité efficace dans la modification des propriétés physiques et chimiques du sol. Ils comprennent environ 3 700 espèces décrites, mais ce nombre ne représente probablement que la moitié de la diversité mondiale réelle du groupe (Decaëns et *al.*, 2013). Ce sont des animaux hermaphrodites dont la reproduction se fait par une fécondation croisée, à la suite de laquelle chacun des individus produit des cocons contenant de 1 à 20 ovules fertilisés. Les cocons résistants, minuscules et en forme de citron, de formes différentes selon les espèces, se déposent généralement près de la surface du sol, sauf par temps sec où ils sont posés à des couches plus profondes. Les cocons éclosent après une période d'incubation qui varie en fonction des espèces de ver de terre et des conditions environnementales. Dans les conditions favorables, ils atteignent la maturité sexuelle plusieurs semaines après l'émergence (Dominguez & Edwards, 2010). L'un des caractères le plus visible qui permet de reconnaître les vers adultes est un bourrelet tégumentaire appelée clitellum apparaissant à la maturité sexuelle (Razafindrakoto, 2012).

I.5.2. Écologie des vers de terre

En fonction de leurs modes d'alimentation et de fouissage, ils sont classés en trois catégories écologiques : épigés, anéciques et endogés (Bouché, 1972).

➤ **Les vers épigés** sont constituées d'espèces de petites tailles (1-5 cm) et vivent en surface (les premiers centimètres) dans les amas de matières organiques à l'occurrence le fumier, la litière de forêt, les déchets verts etc... (Pérès et *al.*, 2011) ; Ils font peu ou pas de galerie dans le sol et participent ainsi à la dégradation de la matière organique morte (Peres et *al.*, 2012).

➤ **Les vers anéciques** sont caractérisés par une grande taille (10 à 110 cm) et une couleur allant du rouge au brun, avec généralement un gradient de couleur de la tête vers la queue. Les espèces de ce groupe occupent la couche supérieure du sol autour de 25 cm, ils creusent des galeries verticales et ouvertes à la surface du sol favorisant l'infiltration de l'eau. Leur action consiste à enfouir et à brasser la matière organique avec le sol ingéré (Peres et *al.*, 2012).

➤ **Les vers endogés** sont caractérisés par une taille comprise entre 1 à 20 cm et sont très peu colorés ou apigmentés (gris, rose ou vert). Ils vivent dans les couches plus profondes (30 cm) du sol. Ils creusent des galeries temporaires horizontales à subhorizontales et se nourrissent essentiellement de matières organiques intégrées à la matière minérale. Ces vers influencent la rétention et l'infiltration de l'eau dans le sol par la création d'une structure grumeleuse (Peres et *al.*, 2012).

I.5.3. Rôles des vers de terre

La principale activité des vers de terre consiste à ingérer du sol, à mélanger différentes composantes du sol et à produire du fumier en surface, convertissant ainsi la matière organique en humus du sol (Ansari & Ismail, 2012). Les vers de terre jouent un rôle important dans la décomposition de la matière organique et le métabolisme du sol par l'alimentation, la fragmentation, l'aération, le renouvellement et la dispersion (Shuster et al., 2000). Dans les conditions idéales, les lombrics peuvent consommer pratiquement toutes sortes de matières organiques et ils peuvent manger l'équivalent de leur propre poids par jour. Par exemple, un kilogramme de vers peut consommer un kilogramme de résidus tous les jours (FAO, 2005 ; Hemalatha, 2012).

I.5.4. Vers de terre appropriés pour le vermicompostage

Il existe des espèces de vers de terre appropriées pour le vermicompostage : ce sont les espèces épigées. Celles-ci sont caractérisées par la capacité naturelle à coloniser les déchets organiques, avec un taux de consommation, de digestion et d'assimilation de la matière organique élevé ; une tolérance à un large éventail de facteurs environnementaux ; des cycles de vie courts et un taux de reproduction élevé. Leur endurance et la tolérance à la manipulation montrent leur bon potentiel pour le vermicompostage (Dominguez & Edwards, 2010). Toutefois très peu d'espèces de vers de terre possèdent toutes ces caractéristiques. On compte seulement cinq d'entre elles qui ont été largement utilisées pour le vermicompostage. Il s'agit de *Eisenia andrei* (Savigny), *Eisenia faetida* (Bouché), *Dendrobaena veneta* (Savigny) et dans certains cas, *Perionyx excavatus* (Perrier) et *Eudrilus eugeniae* (Kinberg) (Francis et al., 2003 ; Dominguez & Edwards, 2010). Ces espèces sont réparties dans le monde en fonction des régions et des conditions climatiques qui y règnent.

Dans les régions tempérées, les espèces appropriées pour le vermicompostage sont entre autres :

- ***Eisenia faetida*** (Savigny, 1826) et ***E. andrei*** (Bouché 1972) caractérisés par leur cycle de vie court, leur large plage de tolérance à la température et à l'humidité. Ce sont des vers de terre résilients et faciles à manipuler. La température optimale pour la croissance des deux espèces est de 25 °C bien qu'elles puissent tolérer une large gamme de conditions d'humidité, la teneur en eau optimale pour ces espèces est de 85 % (Dominguez & Edwards, 2010) ;

- ***Lumbricus rubellus*** (Hoffmeister, 1843) se trouve généralement dans les sols humides, en particulier ceux auxquels du fumier animal ou des solides d'égouts ont été appliqués. Ce ver est connu pour sa préférence des conditions humides et pour sa survie à des températures froides. La température optimale pour sa croissance est de 18 °C. *L. rubellus* a un cycle de vie relativement long (120 à 170 jours) avec un taux de croissance lent et une longue période de maturation (74 à 91 jours). A ces espèces on peut aussi ajouter *Dendrodrilus rubidus* (Savigny 1826) et *D.veneta* (Rosa 1886). Quelques espèces sont également retrouvées en régions tropicales. Parmi les plus utilisées, il y a :

- *Eudrilus eugeniae* (Kinberg 1867) est originaire d'Afrique, c'est un grand ver de terre qui est raisonnablement prolifique et dans des conditions optimales, peut être considéré comme idéal pour la production de protéines pour l'alimentation animale (Dominguez & Edwards, 2010). Ses principaux inconvénients sont : sa faible tolérance à la température et sa sensibilité à la manipulation. Son taux de reproduction est élevé et il est capable de décomposer rapidement de grandes quantités de déchets organiques et de les incorporer dans la terre arable (Edwards, 1988). Il montre une préférence pour les températures élevées, avec une production maximale de biomasse entre 25 et 30 °C, alors que les taux de croissance sont très faibles à 15 °C (Dominguez et al., 2001). Malgré la grande taille de *E. eugeniae* qui facilite sa manipulation et sa récolte par rapport aux espèces couramment utilisées telles que *E. faetida* et *P. excavatus*, elle est beaucoup plus sensible aux perturbations et à la manipulation et peut parfois migrer des aires de reproduction (Dominguez et al., 2001) ;

- *Perionyx excavatus* (Perrier 1872) est couramment rencontré dans une grande partie de l'Asie du Sud tropicale (Gates, 1972), bien qu'il ait également été transporté en Europe et en Amérique du Nord. Il s'agit d'une espèce épigée qui vit uniquement dans les déchets organiques. Une teneur élevée en humidité et des quantités adéquates de matière organique appropriée sont nécessaires pour que les populations s'établissent pleinement et pour traiter efficacement les déchets organiques. Ce lombric tropical est très prolifique et est presque aussi facile à manipuler qu'*E. faetida* et très facile à récolter. Son principal inconvénient est son incapacité à résister aux basses températures, mais dans les conditions tropicales, il semble être une espèce idéale. Bien qu'il ait un temps de maturation et d'incubation plus court qu'*E. eugeniae*. L'espèce *P. excavatus*, ne prolifère pas beaucoup à basses températures, même s'il peut survivre à 4 °C. En revanche, il est moins sensible aux températures élevées de plus de 30 °C qu'*E. eugeniae* (Dominguez & Edwards, 2010).

I.6. Agriculture urbaine à Yaoundé

I.6.1. Fonctionnement de l'agriculture maraîchère à Yaoundé

Après la crise économique et politique de 1990 ayant paralysée l'approvisionnement des villes camerounaises en denrée alimentaire, les citadins les plus vulnérables ont développé une production maraîchère et vivrière de substitution dans les espaces publics réservés ou non constructibles (Yemmafouo, 2014). Concernant la ville de Yaoundé, capitale camerounaise, l'agriculture urbaine et périurbaine est caractérisée par la production maraîchère sur des terrains vacants, des terrains municipaux inoccupés et des fonds de vallée marécageux (bas-fonds) (Lemeilleur et al., 2003 ; Nguengang, 2008). En raison du facteur d'inondation dans ces zones, elles sont des réserves d'eau pour l'agriculture maraîchère intensive avec des cultures de contre saison et s'étalant sur toute l'année (Temple et al., 2008). Les exploitations maraîchères sont réparties dans 11 bas-fonds avec une superficie globale d'environ 245 hectares à Yaoundé et dans les environs (Temple & Moustier, 2004 ; Gockowski et al., 2008). Les parcelles cultivées ont une superficie variant entre 200 à 2500 m² par exploitant et peut parfois aller au-delà. Cette activité est généralement une affaire des citadins ou des personnes défavorisées à faibles

revenus qui disposent d'un savoir-faire paysan (Smith et *al.*, 2004 ; Nguegang, 2008). C'est l'une des raisons qui fait du maraîchage l'activité principale pour une grande majorité des personnes qui la pratique (Kouam et *al.*, 2010). Le maraîchage est également pratiqué à cause de sa rentabilité économique. Ainsi certains producteurs privilégient les cultures à cycles courts et diversifiées, motivés par les revenus réguliers et cumulent ainsi à la fois les fonctions de production et de commercialisation (Smith et *al.*, 2004). Dans certains sites maraîchers yaoundéens, la production est plus ou moins orientée vers une spécialisation. C'est le cas du bas-fonds de Nkolbisson spécialisé dans la production de laitue, celui de Nkolondom pour le céleri, celui de Mendong pour le maïs et les amarantes (Temple-Boyer, 2002). Les légumes les plus périssables, comme les légumes-feuilles, sont les plus cultivés à la différence des légumes racines et légumes secs comme l'oignon, la carotte et le haricot vert. En général, les principales spéculations végétales produites sont constituées de la morelle noire (*Solanum nigrum*), de la corète potagère (*Corchorus olitorius*), de l'amaranthe (*Amaranthus sp.*), de la laitue (*Lactuca sativa*), du maïs (*Zea mays*), du céleri (*Apium graveolens*), etc (Temple et *al.*, 2006 ; Gockowski et *al.*, 2008 ; Kouam et *al.*, 2010 ; Bopda et *al.*, 2010).

I.6.2. Utilisation des engrais chimiques et amendements organiques dans le maraîchage à Yaoundé

L'utilisation de la fumure organique et des engrais chimiques est régulière et systématique pour les maraîchers de Yaoundé à cause de l'intensification du système de production (Dongmo et *al.*, 2005 ; Nguegang, 2008). D'ailleurs, certains agriculteurs n'utilisent que du fumier, tandis que d'autres appliquent un mélange de fumier et d'engrais chimiques. Plusieurs types de fumiers ou engrais organiques sont utilisés en fonction des zones de production ; il s'agit principalement des fientes de poules, du lisier de porc, des déchets de cuisine (Kouam et *al.*, 2010) et du compost. Toutefois, le compost est l'amendement le moins utilisé par les maraîchers car il est peu connu et rare sur le marché (Nguengang, 2008). Une étude menée par Dongmo et *al.*, (2010) justifie cette utilisation de fumier avec un taux de 90 % des agriculteurs qui sont conscients que ce produit améliore la fertilité du sol de la même manière que les engrais chimiques et que les fientes de volailles sont les plus riches. Par ailleurs, Nguegang (2008) a constaté que les maraîchers de Yaoundé utilisent principalement quatre types d'engrais dans leur production à savoir: les engrais minéraux NPK (20-10-10, 12-06-20), l'urée et les engrais foliaires.

Les résultats de quelques études ont permis d'estimer la quantité de fumier utilisée dans les cultures maraîchères urbaines et périurbaines de Yaoundé. Il s'avère que sur les superficies cultivées variant entre 228 et 245 ha, l'agriculteur urbain typique utilise en moyenne 40 kg de fumier pour deux planches de culture d'environ 12 m² (Dongmo & Hernandez, 1999). Bien qu'il y ait deux saisons de production chaque année pour toutes les cultures, un peu plus de la moitié des agriculteurs travaillent tout le temps dans leurs exploitations. Ce qui a permis d'estimer approximativement qu'environ 12 250 des 20 601 tonnes de fumier produites annuellement sont utilisées dans la ville de Yaoundé (Dongmo et *al.*, 2010).

I.6.3. Atouts et contraintes liées à la production maraîchère dans la ville de Yaoundé

I.6.3.1. Atouts de la production maraîchère à Yaoundé

L'agriculture urbaine de par son aspect multifonctionnel présente des atouts non négligeables sur le plan social, économique et environnemental (Temple & Moustier, 2004). À Yaoundé, le maraîchage constitue une véritable activité de subsistance qui fournit non seulement des aliments frais aux citoyens, améliore leurs revenus mais aussi offre des opportunités importantes d'emploi aux populations défavorisées (Dongmo et *al.*, 2005 ; Roy, 2009). Cette activité est vitale pour une bonne frange des ménages qui la pratique car environ 10 % des apports alimentaires de ceux-ci viennent de leurs propres jardins (Landré, 2017). Par ailleurs, l'intensification de l'agriculture maraîchère est susceptible d'engendrer des gains environnementaux substantiels. En effet, elle contribue au recyclage des déchets ménagers à travers le compost comme amendement du sol (Dongmo et *al.*, 2005).

I.6.3.2. Contraintes liées à la production maraîchère à Yaoundé

La production maraîchère à Yaoundé comme dans d'autres villes tropicales est sujette à de multiples contraintes sur plusieurs plans notamment foncier, sanitaire, légale, financière, technique et organisationnel (Smith et *al.*, 2004). Au Cameroun, cette activité ne bénéficie d'aucun cadre légal ce qui entraîne son exclusion des schémas d'urbanisme (Roy, 2009). À ce problème réglementaire s'ajoute le problème du foncier qui est l'une des contraintes majeures de l'agriculture urbaine à Yaoundé. En effet, le maraîchage apparaît comme un mode transitoire d'utilisation du foncier et révèle donc une évolution vers l'urbanisation. Ainsi, les producteurs craignant le risque d'être déguerpis des parcelles qu'ils occupent du jour au lendemain n'investissent pas à long terme, mais choisissent de produire des cultures à cycle court (Temple & Moustier, 2004). Par ailleurs, la grande majorité des maraîchers de la ville loue des parcelles tandis que d'autres les occupent de manière anarchique au risque d'un déguerpissement sans préavis. D'ailleurs, nombreux sont ceux qui abandonnent leurs parcelles à cause des conflits du régime foncier (Bopda et *al.*, 2010).

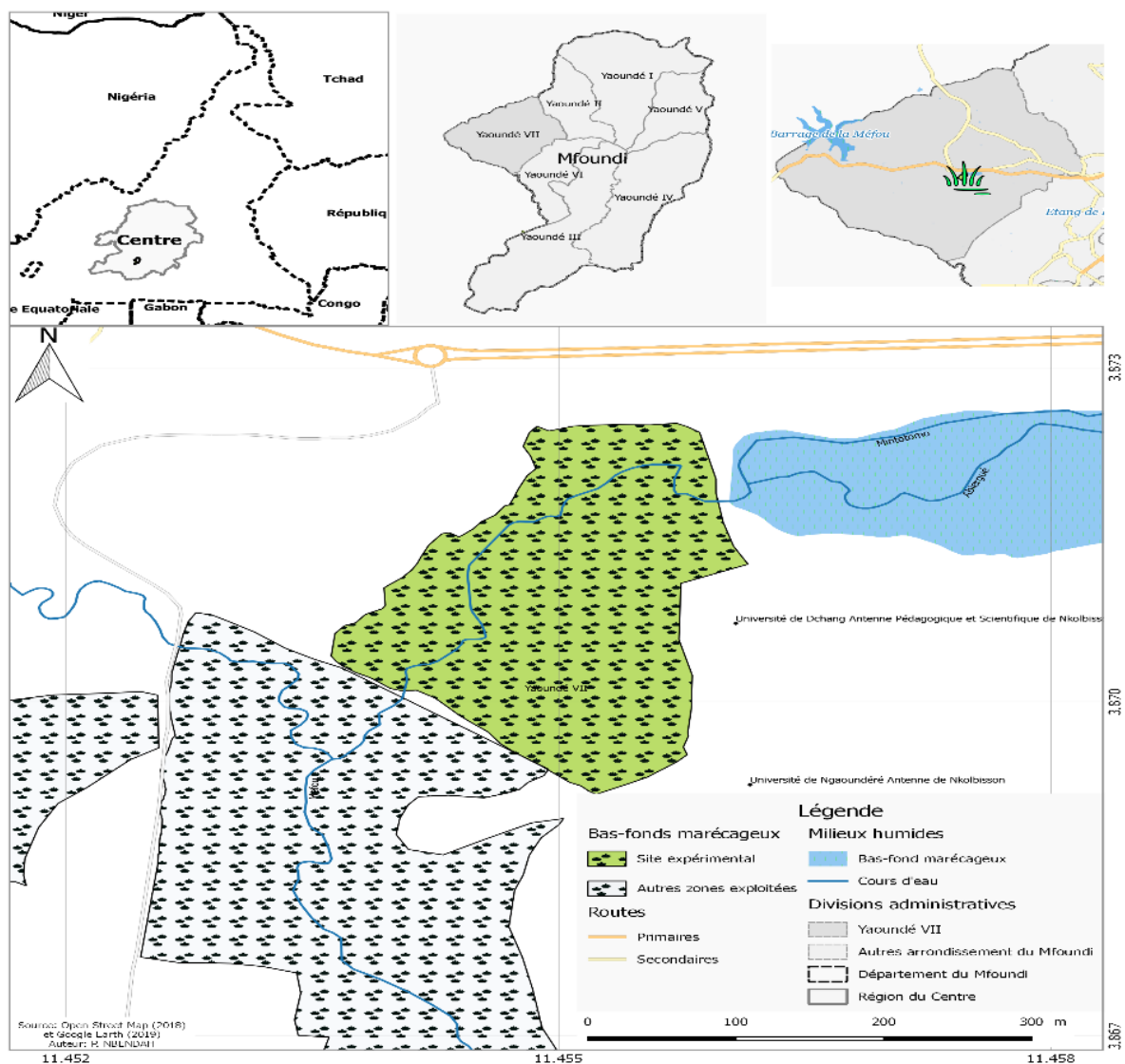
La demande en fumures organiques (fientes de poules et lisier de porc) est très forte dans le maraîchage à Yaoundé. Malheureusement, les agriculteurs se heurtent très souvent à la pénurie ou à la hausse des prix (Nguegang, 2008). En outre, le système élevage-agriculture qui est très peu développé en milieu urbain camerounais vient renforcer davantage cette contrainte liée à la disponibilité de l'intrant.

II. PHASE EXPERIMENTALE

II.1. Présentation de la zone d'étude

II.1.1. Caractéristiques géographiques de la ville de Yaoundé

La ville de Yaoundé est la capitale du Cameroun et chef-lieu de la Région du Centre et du Département du Mfoundi. Elle est située au cœur de l'Afrique centrale à 250 km de l'Océan Atlantique entre les longitudes 11°10'E et 11°45'E et les latitudes 3°47' N et 3°56' N. Elle s'étend sur une superficie d'environ 304 km² et compte sept arrondissements (figure 5). Le relief est fait de montagnes et de vallées comprises entre 700 et 1200 m d'altitude (Nguegang, 2008).



La ville de Yaoundé est soumise à un climat de type équatorial guinéen caractérisé par quatre saisons dont deux saisons sèches et deux saisons de pluies (Moby-Etia, 1979). Elles sont réparties sur les 12 mois de l'année comme suit :

- une grande saison sèche de mi-novembre à mi-mars ;
- une petite saison de pluies de mi-mars à mi-juin ;
- une petite saison sèche de mi-juin à mi-août ;
- une grande saison des pluies de mi-août à mi-novembre.

L'humidité relative de l'air est très variable et présente des maxima entre le mois de juillet et le mois d'août (78 %) et les minima en février (65 %). Les températures moyennes quant à elles oscillent entre 18 à 28 °C en saison de pluie et de 16 à 31°C en saison sèche. La ville reçoit en moyenne 1600 mm de précipitation par an (Moby-Etia, 1979).

II.1.2. Localisation du site d'étude

Situé à la périphérie nord-ouest de la ville dans l'arrondissement de Yaoundé VII, le bas-fond maraîcher de Nkolbisson (figure 6) a été choisi comme site d'étude pour cette recherche. Il est délimité au Nord par un marché et des maisons d'habitations, au Sud par le CRESA (Institut de formation) et le grand centre de recherche agricole (IRAD) à l'Ouest par un Commissariat de police et des champs et, à l'Est par des habitations. Ce site est traversé par un cours d'eau (l'Abiergué) où sont prélevées les eaux pour l'irrigation des cultures. Plusieurs raisons ont motivé le choix de ce site :

- La permanence de l'activité sur toute l'année ;
- la disponibilité de l'espace pour l'installation du dispositif de compostage ;
- la facilité d'accès à pieds, en véhicule ou à moto ;
- la proximité avec le lieu de collecte des déchets par rapport à d'autres sites.



Figure 6. Localisation du bas fond maraîcher de Nkolbisson

II.2. Matériel et méthodes

II.2.1. Démarche méthodologique et planification des activités

Le présent travail de recherche s'est déroulé en trois grandes phases. La première étape a consisté à faire une synthèse bibliographique d'articles scientifiques, d'extraits de livre, de thèse de doctorat ainsi que des sites internet traitant des thématiques similaires. Ensuite, la phase de terrain s'est déroulée du 20 mars au 8 juin 2019 à Yaoundé (figure 7). Elle a consisté à conduire une enquête auprès des maraîchers dans les champs, puis de collecter des déchets dans les ménages du quartier Obili et de mettre en place l'essai de vermicompostage puis de suivre les paramètres de maturation du vermicompost. A la dernière phase, il était question de faire des analyses physicochimiques en laboratoire sur le vermicompost obtenu ainsi qu'un test de phytotoxicité (test de germination).

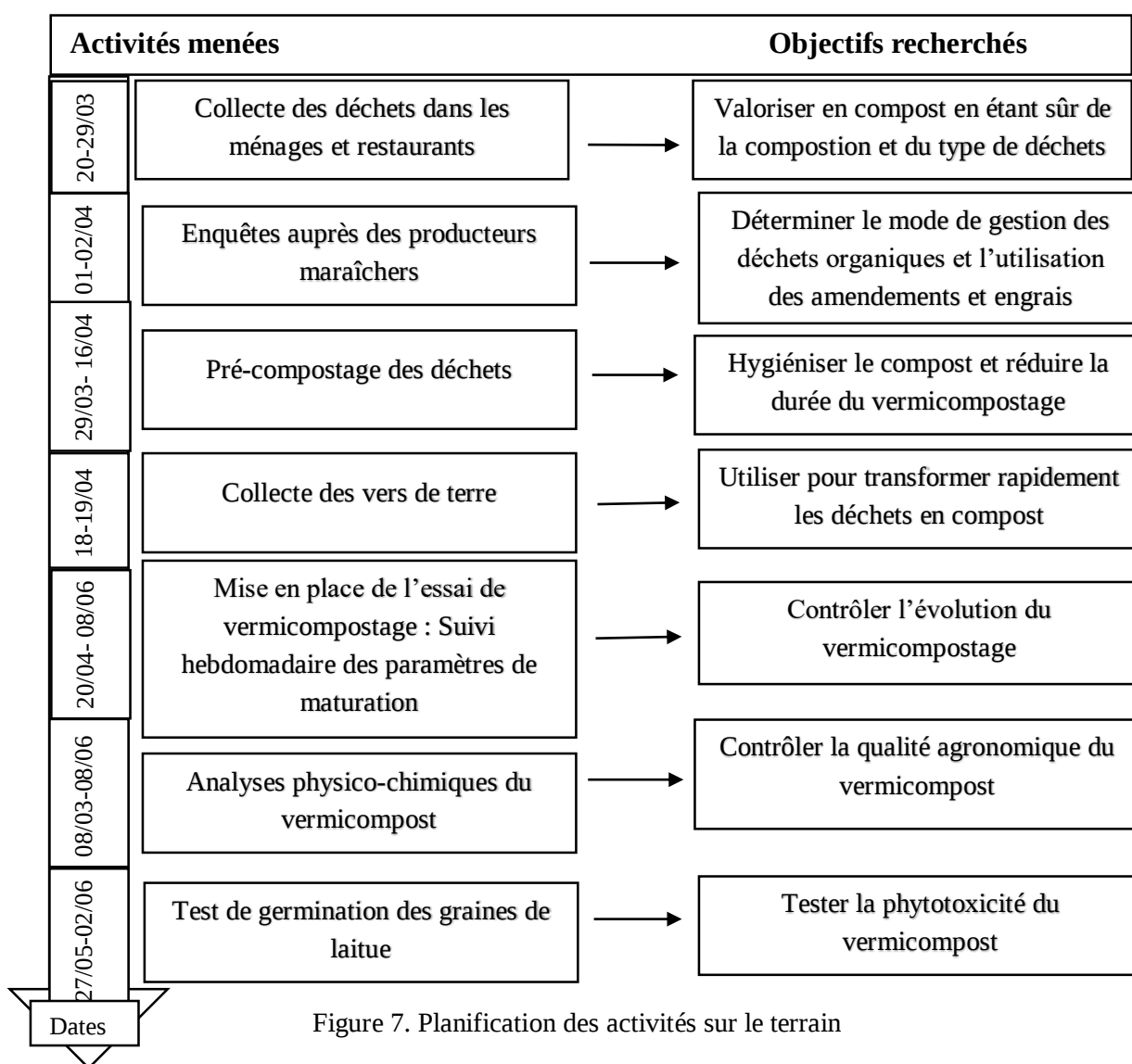


Figure 7. Planification des activités sur le terrain

II.2.2. État des lieux de l'utilisation des amendements organiques dans le bas-fond maraîcher de Nkolbisson

Une enquête a été conduite auprès des producteurs maraîchers, afin d'apprécier leurs besoins en engrais chimiques et en amendements organiques. La collecte des données d'enquête s'est faite sous la base d'un questionnaire structuré (Annexe 1) préalablement élaboré. Les questions portaient sur trois principaux modules à savoir : le profil socio-économique du maraîcher, le mode de gestion de ses déchets organiques et enfin l'utilisation des engrais et amendements. Avant la conduite de l'enquête proprement dite, un prétest a été mené dans le site de Nkol Afame auprès de cinq producteurs. Ce prétest a permis d'améliorer le questionnaire. Concernant l'enquête dans le bas-fond maraîcher de Nkolbisson, un échantillonnage systématique a été effectué en raison du nombre réduit de maraîchers présents sur le site d'étude. L'enquête s'est déroulée avant midi, période à laquelle les agriculteurs sont présents dans leurs parcelles. Malgré quelques refus observés, au final, 20 maraîchers ont répondu au questionnaire. À la fin de cette enquête, les maraîchers ayant répondu favorablement au projet de vermicompostage, ont été retenus pour participer à l'essai sur le site.

II.2.3. Mise en place de l'essai de vermicompostage et suivi des paramètres de maturité

II.2.3.1. Collecte et tri des déchets

Le quartier Obili situé dans l'arrondissement de Yaoundé III a été choisi comme zone de collecte des déchets. Ce choix est justifié par sa localisation en pleine zone urbaine à forte densité de population, abritant des grandes écoles, des instituts et universités, des cités universitaires, des commerces et des restaurants. Ce quartier est donc une zone à forte production de déchets ménagers. Après une descente prospective dans le quartier, un échantillonnage aléatoire simple a été utilisé pour le choix des ménages à visiter. Au final, 30 ménages et 04 restaurants ont été sélectionnés pour la pré-collecte des déchets. Des sacs ont été remis à ces derniers tout en expliquant aux responsables des ménages ou des restaurants le principe du tri sélectif afin que ne soit mis dans le sac que des déchets de cuisine et du carton. La récupération du sac s'est fait après une période de 1 à 2 jours et les sacs ont été stockés en lieu sûr. À la fin de la pré-collecte, les ordures ont été transportées vers le site maraîcher de Nkolbisson.

Une fois sur le site, avec l'aide de quelques producteurs, la parcelle octroyée pour l'installation du dispositif expérimental a été nettoyée. Les déchets ont été pesés à l'aide d'une balance, triés manuellement pour éliminer les matières non fermentescibles comme les plastiques, les morceaux de verre cassé et boîtes de conserve (certains ménages n'ayant pas respecté scrupuleusement la consigne du tri. Les ordures collectées étaient principalement composées :

- des tiges de légumes ;
- des pelures de banane plantain, de banane douce, d'ananas, de manioc, de pomme de terre, de papaye, de pastèque, d'avocat ;
- des feuilles de chou, de poireau et de maïs frais ;

- des coquilles d'œuf...

Ayant constaté le caractère très humide et la dominance en matière azotée des déchets, la matière carbonée a été apportée afin d'ajuster le rapport C/N de la matière première. Pour ce faire, du carton (alvéoles d'œuf, cartons sans encre), des feuilles et tiges sèches de maïs, des feuilles de bananier sèches et des copeaux de bois ont été ajoutés.

II.2.3.2. Déroulement du pré-compostage

Les déchets de cuisine ont été découpés en petits morceaux à l'aide d'une machette et d'une pelle ; le carton et les feuilles sèches ont été déchiquetés et broyés à la main pour réduire la taille des particules et augmenter leur surface de contact avec les microorganismes. Après cette préparation, l'ensemble des déchets a été mélangé et mis en un seul tas à même le sol et couvert par une bâche perforée de trou. Le pré-compostage a ainsi été lancé avec une composition globale de 618 kg de déchets de cuisine et 32 kg de matière carbonée (carton, copeaux de bois et feuilles sèches) dont un total d'environ 656 kg de matière mise à composter. Cette phase de pré-compostage a tenu sur une période de trois semaines (23 jours). Durant le processus, la température a été suivie à une fréquence de deux fois par semaine et le tas a été retourné deux fois pour améliorer l'aération. À la fin de cette phase, un échantillon de 0,5 kg de pré-compost a été prélevé à différents niveaux du tas pour des analyses physico-chimiques en laboratoire afin de connaître le point de départ du vermicompostage.

II.2.3.3. Collecte des vers de terre et installation du dispositif de vermicompostage

Les vers de terre utilisés dans ce travail de recherche ont été collectés sous des tas de détritus et d'immondices identifiés dans le quartier Obili ainsi que dans une ferme d'élevage de cochons située à la périphérie de la ville. Ces lombrics sont de type épigé, car retrouvés juste en dessous des déchets et des feuilles mortes.



Figure 8. Vers de terre utilisés

Après trois semaines de pré-compostage, le vermicompostage en système discontinu a été mis en place et conduit dans des boxes en bois d'une dimension de 60×60×65 cm perforés de trous dans le fond.

Le pré-compost a donc été pesé (450 kg) et transféré dans les boxes. Les lombrics ont été dénombrés et introduits dans les différents boxes contenant le précompost. Le dispositif expérimental (figure 9) était constitué de trois traitements avec trois répétitions. Ces traitements étaient représentés comme suit :

- ✓ T1 : 25 kg pré-compost + 400 vers de terre ;
- ✓ T2 : 50 kg pré-compost + 400 vers de terre ;
- ✓ T3 : 75 kg pré-compost. + 400 vers de terre ;

Les boxes ont été installés à l'ombre d'un manguier séparé par un mur en béton. Ils ont été couverts avec du carton et des contreplaqués, ceci pour les protéger des intempéries et aussi pour maintenir les conditions favorables (humidité et température) à la dégradation de matière par les lombrics.



Figure 9. Dispositif expérimental

II.2.3.4. Suivi de l'évolution des paramètres de maturation

Du fait des aléas notamment la mort de la presque totalité des vers survenue au cours des deux premières semaines de vermicompostage, le suivi des paramètres de maturation n'a débuté qu'à partir de la 4^{ème} semaine dans le but de laisser le temps aux nouveaux lombrics introduits de s'acclimater. Ce suivi a tenu tout au long du dernier mois de l'expérimentation (quatre semaines). Les paramètres tels que le pH, le taux d'humidité, les teneurs en carbone total, en matière organique totale, en azote total et en ammonium ont été évalués de manière hebdomadaire. Pour ce faire, des échantillons de vermicompost de 0,5 kg ont été prélevés à différents niveaux dans chaque box afin d'obtenir un échantillon représentatif. Ces échantillons ont été conduits au laboratoire de Biotechnologie et Environnement de l'Université de Yaoundé 1 où ils ont été analysés suivant différentes méthodes standards.

➤ Température

La température a été mesurée *in situ* après chaque deux jours à l'aide d'un thermomètre digital de marque TFA muni d'une sonde et d'une précision de +/- 0,5 °C. La sonde était introduite à cinq reprises dans le compost (au centre et sur quatre cotés du box) et la valeur de la température était lue instantanément après stabilisation sur l'écran digital. La température ambiante a également été relevée en laissant la sonde à l'air libre. Cette action était répétée cinq fois pour trouver la valeur moyenne.

➤ **Teneur en eau (TE)**

Un échantillon de 100 g de vermicompost a été prélevé dans chaque traitement et porté à l'étuve à une température de 105 °C. Après refroidissement, celui-ci a été pesé à l'aide d'une balance sensible de marque Scout et d'une précision de +/- 0,1 g. Cette opération a été faite pour le pré-compost. Quant au vermicompost, l'opération a été répétée chaque semaine durant le dernier mois de vermicompostage. La valeur de la teneur en eau de chaque traitement a donc été déterminée et exprimée en pourcentage (%):

$$TE = \frac{PMF - PMS}{PMF} \times 100$$

Avec : TE = Teneur en eau (%), PMF = Poids de matières fraîches (g), PMS = Poids de matières sèches (g).

➤ **pH**

La mesure du pH a consisté à introduire 20 g de vermicompost dans un bécher puis y ajouter 100 mL d'eau distillée dans un rapport 1:5. Ensuite, le mélange a été porté sur un agitateur magnétique pendant 30 minutes à température ambiante. Après filtration, l'électrode en verre du pH-mètre de marque Hach (HQ11d) préalablement étalonnée est trempée dans le filtrat et la valeur est lue sur l'écran digital de l'appareil.

➤ **Conductivité électrique (CE)**

Pour la mesure de la conductivité électrique, la sonde du conductimètre de marque Hach a été introduite dans l'extrait de compost préalablement utilisé pour la mesure de pH. La valeur a été lue sur l'écran digital et exprimée en µS/cm. Trois répétitions ont été faites pour chaque échantillon de compost.

➤ **Matière organique totale (MOT)**

La teneur en matière organique totale a été déterminée par calcination. Cette méthode consiste à peser un échantillon de 50 g de vermicompost, le sécher à l'étuve à 105 °C puis porter l'échantillon à calciner dans un four à 550 °C pendant 2 heures. La valeur de MOT exprimée en pourcentage (%) est obtenue par la différence entre la masse de l'échantillon séché à 105 °C et la masse de l'échantillon après calcination suivant la formule ci-après :

$$\% \text{ MOT} = \frac{(M1 - M2)}{M1} \times 100$$

- M1 : masse de l'échantillon après passage à l'étuve (g) ;
- M2 : masse de l'échantillon après calcination (g) ;
- % MOT : pourcentage de matière organique contenue dans l'échantillon.

➤ **Carbone organique total (COT)**

Le carbone organique total a été dosé suivant la formule de Giroux & Audesse (2004). En effet, ces auteurs ont montré qu'il y a une bonne précision analytique lorsqu'on utilise le facteur 2,0 pour déterminer la proportion du carbone dans la matière organique (les engrais et amendements organiques). La teneur en carbone est donc déterminée selon l'équation suivante:

$$\% \text{ COT} = \frac{\% \text{ M. O. T.}}{2}$$

➤ **Azote total (Ntotal)**

La teneur en azote total (azote organique et ammoniacal) a été déterminée par la méthode de Kjeldahl. Le minéralisât du compost est distillé avec de la soude à 40 % dans un distillateur d'azote de marque BUCHI K-350. Les vapeurs d'azote obtenues sont recueillies dans un bécher contenant un mélange rosâtre composé d'acide borique à 4 % et du réactif de Tashiro. Après distillation du minéralisât, la solution obtenue est dosée par titrimétrie avec l'acide sulfurique 0,1 N.

➤ **Ammonium (NH₄⁺)**

Les teneurs en ammonium ont été mesurées par la méthode de « Nessler ». Trois (03) gouttes de stabilisateur minéral et 03 gouttes du 'Polyvinyl alcohol dispersing agent' ainsi que 1 mL du réactif de Nessler (iodo-mercure de potassium alcalin) sont ajoutés successivement à 25 mL du minéralisât et 25 mL d'eau distillée (témoin). L'intensité de la coloration de la solution obtenue est proportionnelle à la concentration de l'échantillon en ions ammonium. La lecture s'effectue au spectrophotomètre DR/3900 et les résultats sont exprimés en mg/kg.

➤ **Rapport C/N**

Le rapport C/N du vermicompost a été calculé à partir des valeurs de carbone organique total et d'azote total obtenues suivant la formule :

$$\frac{C}{N} = \frac{\text{Carbone organique total}}{\text{Azote total}}$$

II.2.4. Détermination de la qualité agronomique et de la phytotoxicité du vermicompost obtenu

Au terme de 46 jours de vermicompostage, le compost a été collecté, séché à l'air libre et tamisé à l'aide d'un tamis de 10 mm de maille. Des échantillons ont été collectés dans le but de déterminer la qualité agronomique du vermicompost. Ainsi paramètres suivants ont été analysés: la teneur en eau, le pH, la conductivité électrique, la composition en éléments fertilisants (N, P, K, Ca et Mg), la teneur en matière organique, en carbone organique, le rapport C/N et enfin l'évaluation de sa phytotoxicité à travers un test de germination des graines de laitue. Les méthodes d'analyse de certains de ces paramètres (pH, TE, CE, MOT, COT, Ntotal, C/N) ont été décrites dans les paragraphes précédents.

II.2.4.1. Détermination de la teneur en éléments fertilisants

Les éléments fertilisants recherchés dans le vermicompost étaient l'azote, le phosphore, le potassium, le calcium et le magnésium.

Le dosage du phosphore, potassium, calcium et magnésium s'est fait par minéralisation préalable des échantillons de vermicomposts. Après séchage des échantillons, ceux-ci ont été écrasés et tamisés. 0,5 g a été pesé et introduit dans des madras initialement lavés ; 8 à 10 grains de carbobuim ainsi que 5 ml d'acide sulfurique ont été respectivement ajoutés dans chaque madras. La minéralisation a été suivie pendant 2 heures de temps jusqu'à obtention des minéralisats clairs. Chaque échantillon a été ramené à 70 ml par ajout d'eau distillée.

➤ **Phosphore total (Pt)**

La teneur en phosphore total du vermicompost a été déterminée par la méthode «molybdovanadate» (Anonyme, 2005). 1 mL du réactif molybdovanadate est ajouté à 25 mL de chaque échantillon préalablement minéralisé. Un témoin constitué d'eau distillée suit le même traitement. Si les molécules d'orthophosphates sont présentes, elles vont réagir avec le molybdate dans un milieu acide pour former le complexe phosphomolybdate. En présence de vanadium, l'acide vanadomolybdophosphorique qui a une couleur jaune se forme. L'intensité de la coloration est proportionnelle à la concentration des phosphates présents dans le milieu. La lecture se fait au spectrophotomètre DR/3900 de marque Hach à la longueur d'onde 650 nm. Les valeurs sont affichées sous forme d'orthophosphate (PO_4^{3-}) et exprimées en mg/L. La conversion de cet orthophosphate en phosphore est obtenue en divisant le résultat obtenu par le coefficient 3,07.

➤ **Potassium**

La concentration en potassium a été obtenue par absorption atomique au moyen d'un spectrophotomètre à absorption atomique à flamme de marque Buch Scientific. Les mesures de l'absorbance de l'élément ont été faites sous une flamme air d'acétylène. Pour cela, une gamme d'étalon à une concentration précise a été préparée. Le standard a été passé à travers le spectrophotomètre. À chaque concentration correspond une absorbance dont la courbe est tracée. À partir de cette courbe, le spectrophotomètre donne par lecture, après mesure de l'absorbance, la concentration du potassium contenu dans cet échantillon. Le résultat est exprimé en mg/kg.

➤ **Calcium et magnésium**

La détermination des teneurs en calcium et magnésium s'est faite par la méthode de dosage colorimétrique à la calmagite. C'est une méthode volumétrique qui a la capacité de mesurer de faibles concentrations en calcium et magnésium en solution. Elle consiste à verser 100 mL de minéralisat du vermicompost dans une éprouvette. Ajouter 1 mL de solution d'indicateur du calcium et magnésium au moyen du compte-gouttes gradué à 1 mL. Homogénéiser la solution puis ajouter 1 mL de solution alcaline

pour calcium et magnésium en utilisant le compte-gouttes gradué. Verser 25 mL de cette solution dans 3 cuvettes colorimétriques, puis ajouter une goutte de solution d'EDTA 1 M à l'une des cuvettes (le blanc). Ajouter une goutte de solution d'EGTA à une autre cuvette (l'échantillon préparé). La lecture se fait au spectrophotomètre DR/3900 à la longueur d'onde 522 nm. Les valeurs sont exprimées en mg/kg.

II.2.4.2. Test de phytotoxicité du vermicompost

Le test de phytotoxicité (figure 10) a consisté à évaluer la capacité germinative des graines de laitue dans le vermicompost afin de déterminer son caractère phytotoxique. Pour ce faire, la méthode de Juste et *al.*, (1983) modifiée a été employée. Des graines de laitue (*Lactuca sativa*) ont été achetées dans le commerce et mises à germer sur différentes compositions de substrat. Un substrat de référence constitué de sable d'une granulométrie de 2 mm a été utilisé. Pour la préparation des différents traitements, le sable a été lavé à l'eau du robinet et séché à l'étuve puis la composition de substrat s'est fait en respectant des proportions bien définies. Les traitements ont été établis comme suit : 100% de sable, 25% de sable +75 % de compost (T1/T2/T3), 75 % sable + 25 % compost (T1/T2/T3) et 100 % de compost pur (T1/T2/T3). Ces traitements ont été répétés 3 fois chacun. Les graines ont été semées dans des bocaux contenant le substrat imbibé d'eau distillée à raison de 20 graines par bocal. Les bocaux ont été placés ensuite à l'obscurité à une température de 27 °C. Le comptage des graines germées s'est effectué à partir du deuxième jour après semis et a duré pendant sept jours. La phytotoxicité du vermicompost a donc été évaluée par détermination du pourcentage de germination dans les différentes compositions de substrats.

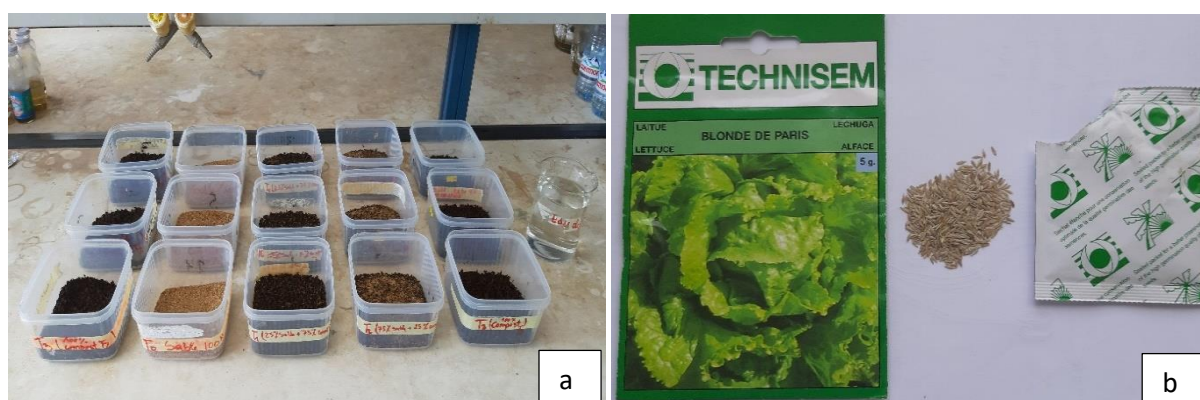


Figure 10. Test de Phytotoxicité (a. Préparation des substrats, b. Graines de laitue utilisées)

II.2.5. Analyses statistiques des données

Un masque de saisie a été réalisé à l'aide du logiciel Kobo Collect pour l'encodage des données d'enquête, leur extraction s'est faite au logiciel Excel 2013 pour l'élaboration des graphiques et tableaux. L'analyse de variance (ANOVA) a été faite au logiciel R et la comparaison des moyennes s'est fait grâce au test de Tukey au seuil de significativité de 5 %. Les courbes ont été élaborées à partir du logiciel Graphpad Prism 6.

III. RÉSULTATS ET DISCUSSION

III.1. Présentation des résultats

III.1.1. État des lieux de la gestion des déchets et de l'utilisation des amendements organiques dans le bas-fond maraîcher de Nkolbisson

III.1.1.1. Description du profil socio-économique des maraîchers

L'analyse des données de l'enquête (tableau 3) révèle que l'agriculture maraîchère dans le bas-fond de Nkolbisson est majoritairement pratiquée par des hommes (55%), viennent ensuite les femmes (45 %). Aucun des agriculteurs n'est propriétaire de la parcelle qu'il occupe mais, ils se sont tous installés de manière illégale, sans autorisation (installation libre). Le site exploité est un terrain marécageux non bâti appartenant au domaine de l'IRAD (Institut de Recherche Agricole pour le Développement). Cette occupation libre dure depuis plusieurs années déjà. Dans le bas-fond de Nkolbisson, la production maraîchère est permanente et s'étale sur toute l'année pour 85 % des maraîchers, tandis que 15 % de ceux-ci cultivent uniquement en saison sèche. En effet, certains agriculteurs ont des parcelles situées près du cours d'eau et celles-ci sont entièrement inondées en saison des pluies, les empêchant ainsi de travailler. Le nombre d'années d'expérience dans le maraîchage sur le site varie entre 2 et 15 ans pour les maraîchers enquêtés. Une proportion de 35% des maraîchers de Nkolbisson ont une ancienneté entre 2 et 5 ans dans le métier, 35 % entre 6 et 10 ans et enfin 30 % entre 11 et 15 ans d'expérience. Par ailleurs, aucun d'entre eux n'appartient à une association de producteurs, ils évoluent tous de manière individuelle mais d'après leur dire, ils envisagent d'en créer une.

Tableau 3. Caractéristiques socio-économiques des maraîchers de Nkolbisson

Variables	Modalités	Fréquence	Pourcentage
Genre	Homme	11	55 %
	Femme	9	45 %
Statut d'occupation de la parcelle	Propriétaire	0	0 %
	Location	0	0 %
	Installation libre	20	100 %
Période d'activité	Saison sèche	3	15 %
	Saison de pluie	0	0 %
	Toute l'année	17	85 %
Appartenance à une association de producteurs	Oui	0	0 %
	non	20	100 %
Ancienneté dans le métier	2-5 ans	7	35 %
	6-10 ans	7	35 %
	11-15 ans	6	30 %

III.1.1.2. Répartition des parcelles et cultures pratiquées

Les parcelles sont inégalement réparties entre les maraîchers et une diversité de cultures y est pratiquée (figure 11). Leurs superficies varient entre 200 m² et 5000 m² avec une moyenne 260 m² par maraîcher. La majorité des producteurs (55 %) occupent des surfaces de 600 à 900 m², 20 % se contentent des parcelles de 200 à 500 m², 15 % occupent celles de 1000 à 1800 m² et une minorité (10 %) cultive sur 2000 à 5000 m² (figure 11a). Ce site est spécialisé dans la production des légumes-feuilles à cycle courts (Figure 11b). La laitue (21,5 %) et la corète potagère (21,5 %) sont les légumes les plus cultivés suivis de l'amaranthe (19 %), de la morelle noire (15,2 %). Le maïs (13,9 %) en tant que graminée fait l'exception, puis l'aubergine africaine (6,3 %) et enfin les céleris/basilics (2,5 %) sont très peu cultivés sur le site. Ces spéculations sont très souvent cultivées en association sur une même planche. Après récolte d'une culture, le sol est directement préparé pour accueillir la campagne de culture suivante. Ainsi plusieurs campagnes de productions peuvent être observées au cours d'une même année en raison des cultures à cycle courts. Cela demande par conséquent des quantités importantes de fumures organiques.

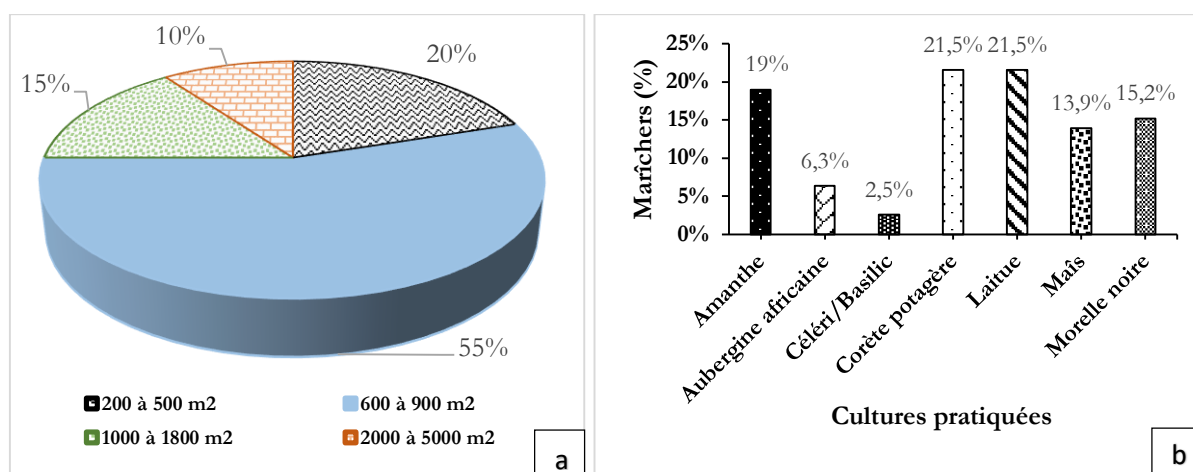


Figure 11. Superficies et cultures pratiquées (a. Superficies cultivées, b. Cultures pratiquées)

III.1.1.3. Types de déchets produits et mode d'évacuation

Tous les maraîchers produisent à la fois les déchets verts (100 %) et les déchets ménagers (100 %) respectivement dans leurs champs et dans leurs ménages (Tableau 4). Ce qui représente une source de matière première pour le compostage. Les agriculteurs ne pratiquent pas d'élevage par conséquent ne produisent pas de déjections animales (0 %). Dans leurs activités, aucun déchet vert ou résidus de cultures enlevés lors du nettoyage de la parcelle n'est enfoui dans le sol mais tout est déposé aux abords de la parcelle (100 %). Au niveau des ménages, 75 % des maraîchers déversent leurs déchets de cuisine dans les bacs à ordures publics et 25 % les jettent dans une fosse. Aucune action de valorisation des déchets par compostage n'est menée par les maraîchers. D'aucuns justifient ce fait par le manque de temps et de connaissance sur le compostage.

Tableau 4. Types de déchets produits par les maraichers et leur mode d'évacuation (n=20)

Variables		Modalités	Fréquence	Pourcentage
Types de déchets produits		Déchets de cuisine	20	100 %
		Déchets verts	20	100 %
		Déjection animale	0	0 %
Mode d'évacuation Des déchets	Déchets de cuisine	Bacs à ordures publique	15	75 %
		Fosse	5	25 %
		Compostage	0	0 %
	Déchets verts	Abords des champs	20	100 %
		Enfouissement dans le sol	0	0 %

III.1.1.4. Utilisation des amendements et engrais

III.1.1.4.1 Types d'amendements organiques et d'engrais utilisés

Tous les agriculteurs interrogés font recours aux amendements organiques et aux engrais chimiques sur leurs parcelles (Tableau 5). La fiente de poules constitue la principale fumure utilisée par la majorité des maraîchers (95 %), seulement 5 % utilisent le lisier de porc. La raison évoquée pour ce choix est que le lisier de porc transmet des maladies aux cultures contrairement aux fientes de poules qui améliorent plus la fertilité du sol sans provoquer de maladies. Aucun maraîcher de Nkolbisson n'utilise de compost dans sa parcelle. Les fumures organiques utilisées sont toujours associées aux engrais chimiques pour booster la production. Ainsi, 60 % des producteurs utilisent à la fois de l'urée + NPK, suivi de 30 % qui utilisent du NPK + urée + engrais foliaire et enfin 10 % ont recours à l'urée + engrais foliaire. L'obtention de ces produits n'est pas toujours aisée. S'agissant particulièrement des amendements organiques, les principales difficultés rencontrées par les maraîchers de Nkolbisson pour l'approvisionnement en fientes de poules sont pour certains à la fois la rareté et les moyens de transport (60 %), pour d'autres la rareté uniquement (35 %) et pour d'autres encore les moyens de transport uniquement (5 %). La production du compost à partir des déchets verts déposés au abords des champs et des déchets ménagers par les maraichers pourrait les aider à remédier à ces problèmes.

Tableau 5. Types d'amendements organiques, d'engrais chimiques utilisés et difficultés d'approvisionnement

Variables	Modalités	Fréquence	Pourcentage
Types de fumures organiques utilisées	Fientes de poules	19	95 %
	Lisier de porc	1	5 %
	Compost	0	0 %
Types d'engrais chimiques de synthèses utilisés	NPK+ urée+ E. foliaire	6	30 %
	Urée + NPK	12	60 %
	Urée + engrais foliaire	2	10 %
Difficultés d'approvisionnement en fumures organiques	Rareté	6	35%
	Rareté + Transport	12	60%
	Transport	2	5%

*NPK (20 10 10), Engrais foliaire (Fertigifol)

III.1.1.4.2 Quantités d'amendements organiques utilisés et coûts

Les besoins en fumures organiques ont été évalués sur une année (figure 12) S'agissant de la fiente de poules, les quantités utilisées par an, augmentent avec les superficies cultivées. En moyenne 1250±353,55 kg de fientes de poules/an sont appliqués sur les parcelles de 200 à 350 m², 1750±353,55 Kg sur les parcelles de 400 à 650 m², 2250±353,55 kg sont appliqués sur celles comprises entre 700 et 1500 m², 2750±353,55 Kg sur les parcelles de 1800 à 2000 m² et enfin 3500±707,1 Kg sur les parcelles de 5000 m². Les maraichers ne respectent pas une dose précise sur la parcelle, chacun applique en fonction de la quantité dont il dispose. Au cours d'un cycle de culture, il peut avoir deux applications avant la récolte.

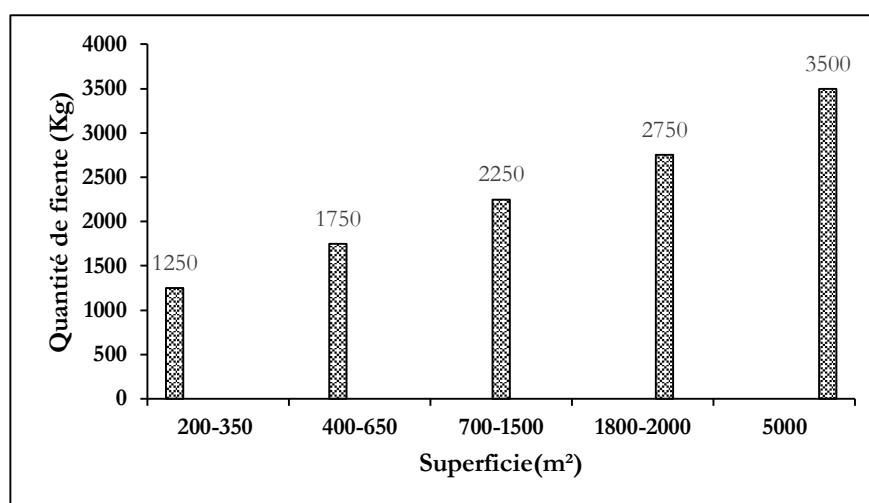


Figure 12. Quantités de fumure utilisées en fonction des superficies par an

Les coûts d'approvisionnement en fientes de poules varient de 10000 à plus de 100000 FCFA pour un maraîcher par an. Ces agriculteurs dépensent en moyenne 55000 FCFA/an pour leurs besoins en fiente de poules (figure 13). Selon 5 % des producteurs, 20000 à 40000 FCFA peuvent acheter 1000 à 1500 kg ou 1500 à 2000 kg de fientes de poules, contre pour 20 % de ceux-ci qui peuvent obtenir 2000 à 2500 kg. Par ailleurs, avec une somme de 40000 à 50000 FCFA, 10 % des producteurs peuvent obtenir

des quantités comprises entre 1500 et 2000 kg et 30 % des quantités comprises entre 2000 et 2500 kg. Tout aussi, pour une somme de 50000 à 100000 FCFA, 5 % peuvent disposer de 2000 à 2500 kg ou de 2500 à 3000 kg ; enfin avec 100000 FCFA et plus 5 % peuvent avoir 3000 à 4000 kg de fientes. Cette fluctuation de prix est fonction du fournisseur, de la période et du type de fientes (poulets de chair ou poules pondeuse). Le sac de 50 kg qui coûte 500 à 600 FCFA, peut aller jusqu'à 1000 FCFA voir parfois 2000 FCFA en temps de pénurie. La production du compost par le maricher lui-même pourrait lui permettre de réduire les coûts et de disposer de son compost en temps convenable.

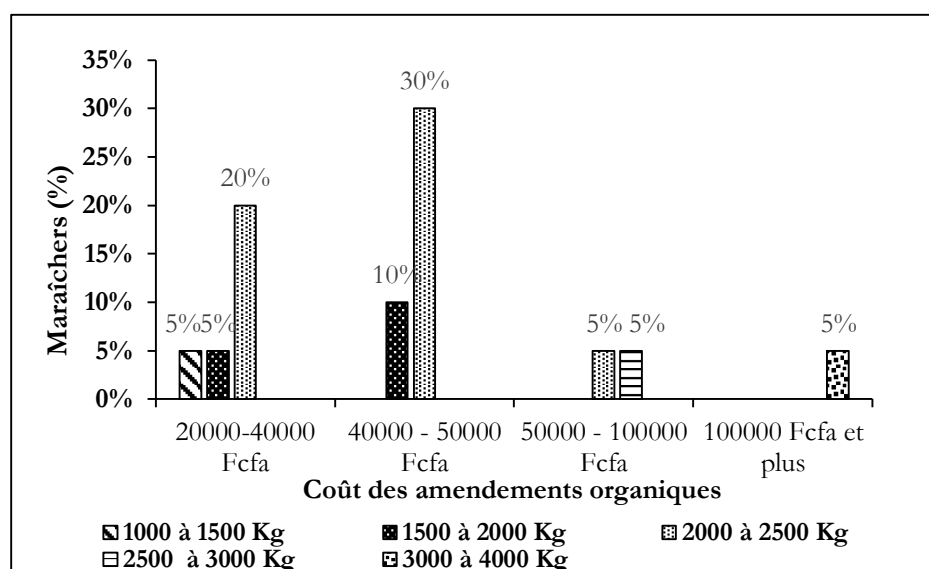


Figure 13. Coûts des amendements organiques

III.1.1.5. Connaissances du vermicompostage et avis de participation à l'essai

L'analyse des résultats du tableau 6 révèle que 85 % des maraîchers n'ont aucune connaissance du vermicompostage tandis que 15 % savent de quoi il s'agit. Plus de la moitié des producteurs interrogés (65 %) est curieuse de savoir comment produire du vermicompost. Ces derniers ont donc accepté de participer à l'essai, cependant 35% se sont abstenus d'y participer. La majorité des agriculteurs (81 %) serait prête à tester le vermicompost dans leur champ, alors que 19 % sont sceptiques vis-à-vis de ce produit qui est tout à fait nouveau pour eux.

Tableau 6. Connaissances du vermicompostage et avis des maraîchers

Variables	Modalités	Fréquence	Pourcentage
Connaissance du vermicompostage	Oui	3	15 %
	Non	17	85 %
D'accord pour l'utilisation du vermicompost	Oui	16	81 %
	Non	4	19 %
Participation à l'essai de vermicompostage	Oui	13	65 %
	Non	7	35 %

III.1.2. Évolution des paramètres de maturation au cours du vermicompostage

III.1.2.1. Évolution de la température

La figure 14 présente l'évolution de la température pendant le pré-compostage. Elle montre qu'une forte remontée de la température d'une moyenne de $54,3 \pm 5,4$ °C a été observée dans le tas au début du pré-compostage entre le jour 0 et le 3^{ème} jour. Cette température reste bien élevée au-dessus de la température ambiante tout le long du processus avec quelques variations. Une diminution avec une légère stabilisation est enregistrée entre le 6^{ème} et le 9^{ème} jour. Aussi, entre le 9^{ème} et le 12^{ème} jour une montée de température est observée atteignant une moyenne maximale de $53,4 \pm 4,3$ °C. Les températures élevées enregistrées au cours de cette période de pré-compostage marquent le déroulement de la phase thermophile qui est essentielle pour l'hygiénisation du compost. À partir du 12^{ème} jour la température chute progressivement de 53,4 °C à 32,5 °C au 23^{ème} jour se rapprochant ainsi de la température ambiante, cette diminution de température indique la phase de refroidissement et donc idéal pour le début du vermicompostage.

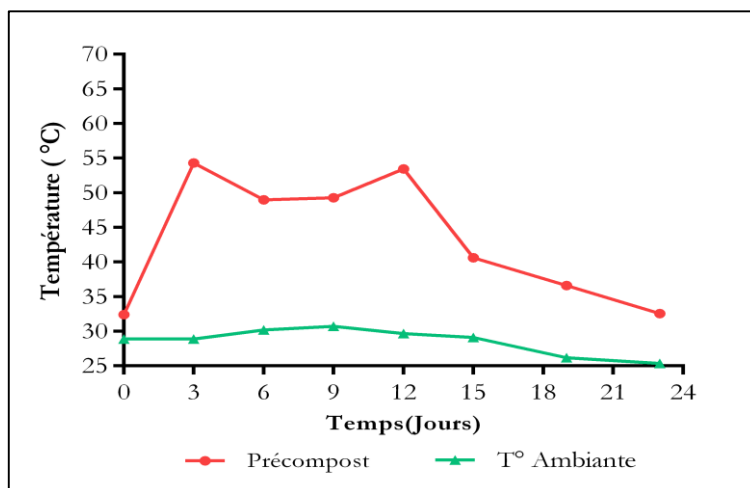


Figure 14. Évolution de la température au cours du pré-compostage

Au cours des 46 jours de vermicompostage, la température a beaucoup fluctué dans les différents traitements (Figure 15.). De légères remontées de température ont été observées dans les trois traitements au début du vermicompostage. La courbe du traitement T3 est restée au-dessus de la température ambiante du 2^{ème} au 10^{ème} jour. Ensuite, une diminution progressive de température est observée dans tous les traitements tout le long de l'expérimentation. Du début jusqu'à la fin du processus, les températures sont passées de $25,6 \pm 0,9$ °C à $21,6 \pm 0,3$ °C dans le traitement T1 ; de $28,8 \pm 2,3$ °C à $22,3 \pm 0,2$ °C dans T2 et de $32,6 \pm 1,1$ °C à $22,9 \pm 0,2$ °C dans T3. Dans le traitement T3, la température est restée supérieure aux traitements T2 et T1, de même que T2 supérieure à T1. Ces différences sont liées à la quantité de matière apportée dans chaque traitement. Entre le 24^{ème} et 46^{ème} jour, les températures sont plus ou moins stables dans tous les traitements. Celles-ci se rapprochent de la température ambiante vers la fin de l'essai marquant en quelque sorte la maturation du vermicompost (figure 15).

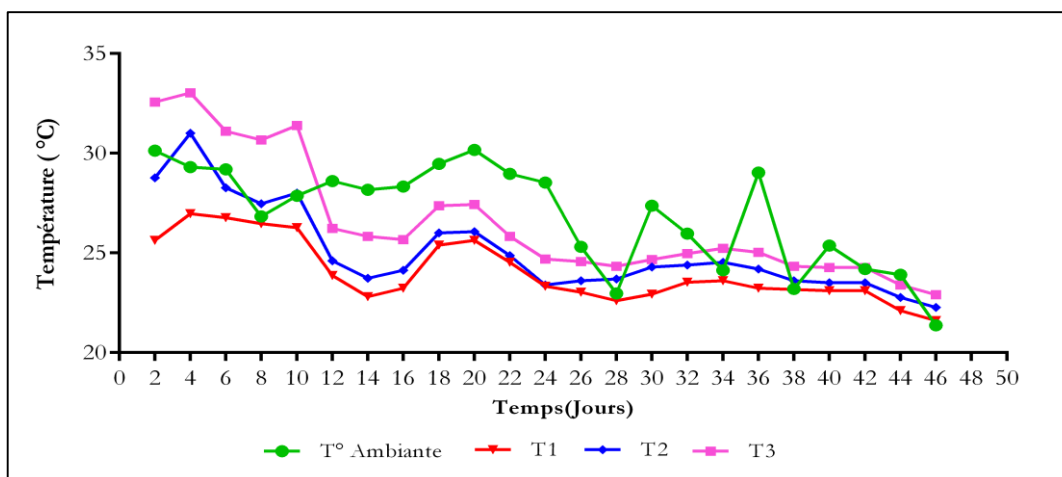


Figure 15. Évolution de la température pendant le vermicompostage

III.1.2.2. Évolution du pH et de la conductivité (CE) au cours du vermicompostage

Dans tous les traitements le pH est resté alcalin (figure 16a). Cependant, une augmentation significative ($P < 0,05$) a été enregistrée pendant le premier mois du processus de vermicompostage pour les traitements T2 et T3, avec des valeurs passant de $8,27 \pm 0,01$ (pré-compost) à $9,44 \pm 0,12$ et $9,40 \pm 0,20$ respectivement. Cette augmentation n'a pas été significative dans le traitement T1 ($9,28 \pm 0,14$). Par ailleurs, à la 5^{ème} semaine, le pH a significativement diminué dans tous les trois traitements et tend vers les valeurs de $8,53 \pm 0,35$, $8,57 \pm 0,43$, $8,60 \pm 0,22$ pour T1, T2 et T3 respectivement à la fin de l'essai. Quant à la conductivité électrique qui traduit la quantité de sels dans le compost (figure 16b), son évolution lors du vermicompostage dans les différents traitements montre une baisse significative ($P < 0,05$) pour les traitements T2 et T3 pendant les quatre premières semaines. Par contre, le traitement T1 ($808,67 \pm 2,51$) $\mu\text{S/cm}$ connaît une légère augmentation de sels non significative. Les valeurs moyennes sont passées de $805 \mu\text{S/cm}$ (pré-compost) à $628 \pm 26 \mu\text{S/cm}$ et $649 \pm 18,02 \mu\text{S/cm}$ dans les traitements T2 et T3 respectivement. La tendance s'inverse entre la 4^{ème} et la fin du processus où une remontée significative ($P < 0,05$) de conductivité a été enregistrée pour tous les traitements atteignant des moyennes de $916 \pm 49 \mu\text{S/cm}$ (T1), $995 \pm 90,7 \mu\text{S/cm}$ (T3) et $1071,8 \pm 31,8 \mu\text{S/cm}$ (T2). Il y a une différence significative ($p < 0,05$) entre le traitement T2 et les deux autres à la fin du vermicompostage.

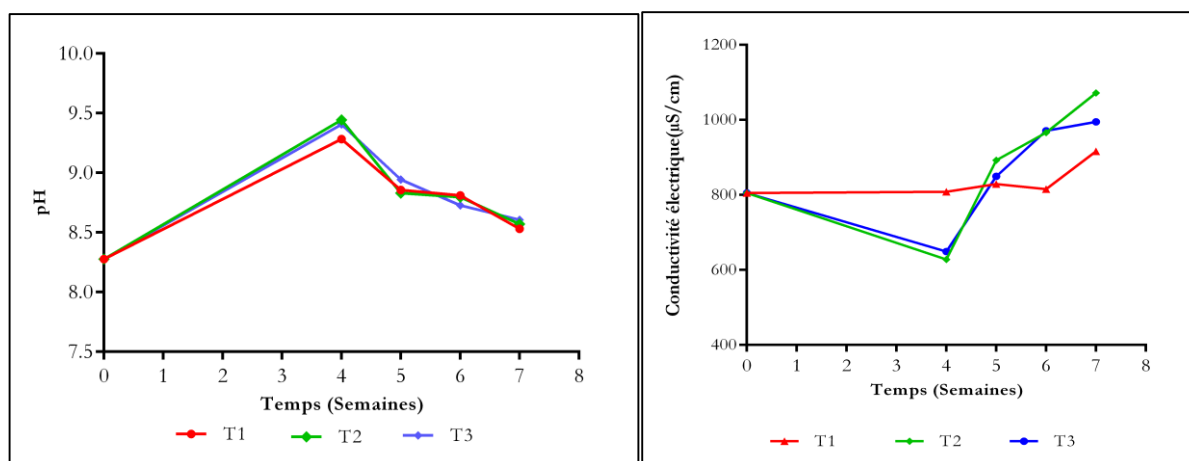


Figure 16. Évolution du pH et de la conductivité électrique pendant le vermicompostage

III.1.2.3. Évolution de teneur en ammonium (NH_4^+) et en azote total (TKN)

Les résultats présentés dans la figure 17a montrent que la teneur en ion ammonium (NH_4^+) est très élevée en début de vermicompostage. L'analyse du pré-compost a révélé une teneur moyenne de $1705 \pm 3,60$ mg/kg. Une diminution significative ($P < 0,05$) de cette teneur est observée dans tous les trois traitements au cours des quatre premières semaines de vermicompostage passant de $1705 \pm 3,60$ mg/kg à $1116,67 \pm 47,52$ mg/kg (T1), $1276,67 \pm 80,36$ mg/kg (T2) et $1383,67 \pm 17,21$ mg/kg (T3). Après ce premier mois, les teneurs en NH_4^+ continuent de diminuer significativement pour atteindre des valeurs de $270,33 \pm 24,01$ mg/kg, $311,33 \pm 22,72$ mg/kg et $351,7 \pm 23,44$ mg/kg pour T1, T2, et T3 respectivement au bout de 46 jours de vermicompostage. Pendant les 46 jours de compostage, il y a eu une différence significative entre les traitements à 4^{ème} semaine, puis entre T1 et les 2 autres à la 5^{ème} et 7^{ème} semaine. Par contre aucune différence significative n'a été relevée entre les traitements à la 6^{ème} semaine.

Par ailleurs, la quantité d'azote total (TKN) croît progressivement du début jusqu'à la fin du processus (Figure 17b). Cette augmentation au cours des quatre premières semaines est significative ($P < 0,05$) entre le pré-compost ($0,405 \pm 0,002$ %) et les traitements T1 ($0,49 \pm 0,03$ %) et T3 ($0,52 \pm 0,02$ %) mais pas pour le traitement T2 ($0,41 \pm 0,01$ %). Ces valeurs continuent d'augmenter significativement dans tous les traitements pour atteindre $1,19 \pm 0,02$ % (T1), $1,11 \pm 0,07$ % (T2) et $1,13 \pm 0,04$ % (T3) à la fin de l'expérimentation. Cette augmentation de la teneur en azote total est liée à la dégradation des protéines contenues dans la matière organique et à l'excrétion de l'azote par les vers de terre. Les analyses statistiques montrent une différence significative ($p < 0,05$) entre le traitement T2 et les deux autres traitements à la 4^{ème} semaine, de même entre T1 et les deux autres à la 5^{ème} semaine tandis qu'à la 6^{ème} et 7^{ème} semaine, la différence est relevée uniquement entre T1 et T2.

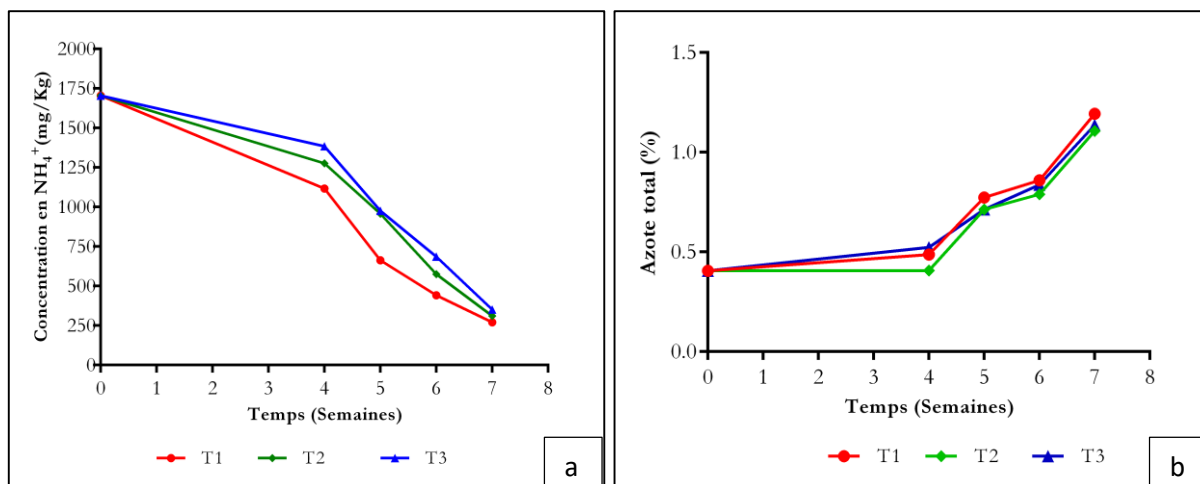


Figure 17. Évolution de l'ammonium (a) et l'azote total (b) pendant le vermicompostage

III.1.2.4. Évolution de la matière organique totale (MOT) et du carbone organique total (COT)

Les résultats de la figure 18a décrivent une constante diminution de la teneur en matière organique dans tous les traitements lors du lombricompostage. Cette diminution est significative ($P < 0,05$) entre le pré-compost ($38,3 \pm 0,07$ %) et les trois traitements atteignant les moyennes de $31,70 \pm 1,31$ % (T2), $33,50 \pm 1,58$ % (T1) et $34,42 \pm 2,71$ % (T3) après 4 semaines de compostage. Les teneurs en MOT continuent de diminuer de manière significative ($P < 0,05$) jusqu'à la fin de l'essai où les traitements contiennent $26,36 \pm 1,07$ %, $25,82 \pm 1,26$ %, $27,19 \pm 1,15$ % pour les traitements T1, T2 et T3 respectivement. La teneur en carbone organique total a montré une évolution similaire à celle de la MOT (Figure 18b). Les quantités de COT dans les trois traitements ont diminué de manière significative entre le pré-compostage ($19,14 \pm 0,04$ %) et tous les prélèvements hebdomadaires réalisés pendant le vermicompostage. Celles-ci ont atteint les valeurs de l'ordre de $13,17 \pm 0,53$ %, $12,91 \pm 0,63$ %, et $13,60 \pm 0,58$ % pour les traitements T1, T2 et T3 respectivement à la fin de l'essai. Une différence significative a été notée entre T1 et T2 à la 5^{ème} semaine puis entre T2 et T3 à la 6^{ème} semaine mais aucune différence significative n'a été relevée entre les trois traitements pendant la 4^{ème} et la 7^{ème} semaine pour le carbone organique total.

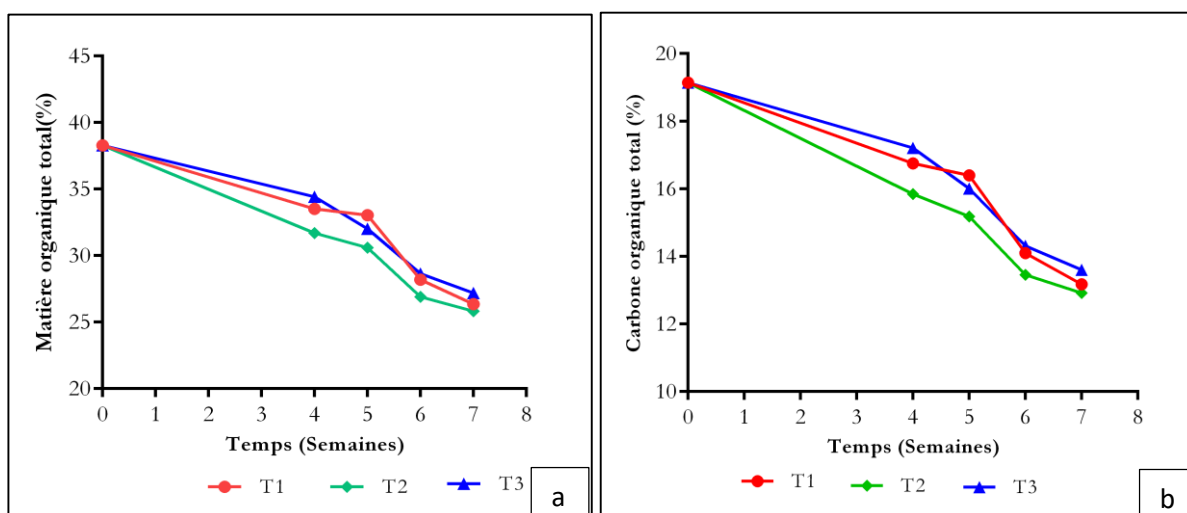


Figure 18. Évolution du de matière organique (a) et du carbone organique (b) pendant le vermicompostage

III.1.2.5. Évolution du rapport C/N et de la teneur en eau

L'évolution du rapport C/N au cours du temps (figure 19a) montre une diminution progressive dans tous les traitements au fur et à mesure que le processus de vermicompostage avance. Une variation significative ($P < 0,05$) de ce rapport C/N a été relevée avec des valeurs allant de $47,25 \pm 0,29$ dans le pré-compost au début du processus à $39 \pm 1,13$ (T2), $34,47 \pm 2,59$ (T1) et $31,59 \pm 1,75$ (T3) à mi-parcours de l'essai. Après cette phase, le rapport C/N continue de décroître significativement jusqu'à la fin de l'essai où les valeurs enregistrées ont été de $11,96 \pm 0,53$, $11,68 \pm 0,46$ et $11,04 \pm 0,31$ pour T3, T2 et T1 respectivement. La diminution du C/N est évidemment liée à la diminution du carbone et l'augmentation de l'azote au cours du compostage.

Le suivi hebdomadaire de la teneur en eau dans les différents traitements a montré des variations pendant le vermicompostage comme présenté dans la figure 19b. Une réduction significative ($P < 0,05$) a été relevée du début du processus jusqu'à la quatrième semaine dans les trois traitements où les valeurs moyennes des teneurs en eau sont passées de $66,99 \pm 0,86$ % (pré-compost) à $53,78 \pm 2,13$ % (T1), $54,78 \pm 1,55$ % (T2) et $56,6 \pm 2,43$ % (T3). Une légère augmentation non significative ($P < 0,05$) de l'humidité est observée dans le vermicompost pour tous les traitements entre la 4^{ème} et la 6^{ème} semaine où elle passe de $53,78 \pm 2,13$ %, $54,78 \pm 1,55$ % et $56,6 \pm 2,43$ % à $54,92 \pm 1,19$ %, $57,25 \pm 2,46$ % et $58,47 \pm 1,68$ % respectivement pour T1, T2 et T3. Cette augmentation est liée à l'arrosage du vermicompost dans le but de maintenir une humidité idéale pour l'activité des lombrics. La diminution de la teneur en eau est significative entre la 6^{ème} et la 7^{ème} semaine de l'expérimentation dans tous les traitements. Les valeurs moyennes enregistrées dans les vermicomposts finaux sont de l'ordre de $50,99 \pm 1,33$ % (T1), $53,1 \pm 1,52$ % (T2) et $54,3 \pm 1,23$ % (T3).

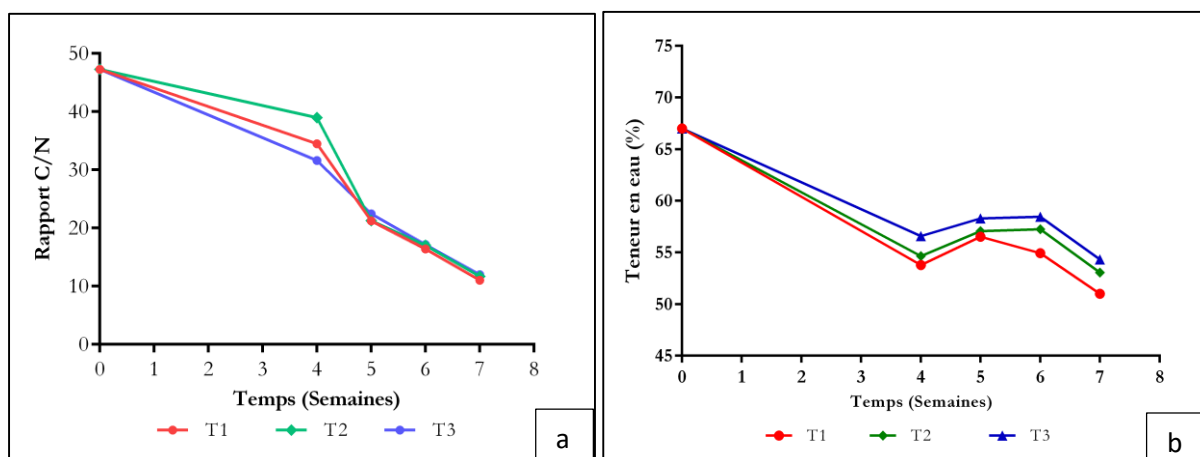


Figure 19. Evolution du rapport C/N (a) et de la teneur en eau (b) pendant le vermicompostage

III.1.3. Qualité agronomique et phytotoxicité du vermicompost obtenu

III.1.3.1. Teneur en éléments nutritifs du vermicompost

Le tableau 7 présente quelques caractéristiques physico-chimiques et les teneurs en éléments nutritifs du vermicompost obtenu. Les valeurs de pH dans les trois traitements T1 ($8,53 \pm 0,35$), T2 ($8,57 \pm 0,43$) et T3 ($8,60 \pm 0,22$) à la fin de l'essai sont encore basiques et ne présentent aucune différence significative ni entre elles ni avec le précompost ($8,27 \pm 0,01$) de départ. Ces valeurs de pH sont au-dessus des valeurs recommandées par les normes de la FAO et de la Suisse. La conductivité électrique la plus élevée est obtenue dans le traitement T2 ($1071 \pm 31,8 \mu\text{S/cm}$) suivit de T3 ($995 \pm 90,7 \mu\text{S/cm}$) puis de T1 ($916 \pm 49 \mu\text{S/cm}$). Ces valeurs sont significativement ($P < 0,05$) différentes entre les trois traitements et aussi différentes de celle du pré-compost ($805 \pm 2 \mu\text{S/cm}$).

À la fin de l'essai (après 46 jours), les teneurs en ammonium ont significativement baissé dans les vermicomposts T1 ($270,33 \pm 24 \text{ mg/kg}$), T2 ($311,33 \pm 22,72 \text{ mg/kg}$) et T3 ($351,67 \pm 23,44 \text{ mg/kg}$) par rapport au pré-compost ($1705 \pm 3,60 \text{ mg/kg}$). Il y a également une différence significative ($P < 0,05$) entre les traitements T1 et T3 mais pas de différence entre T2 et les deux autres traitements. Malgré cette diminution de la teneur en ammonium, elle reste au-dessus de la valeur guide de la directive suisse pour l'utilisation en horticulture en plein champ c'est-à-dire 200 mg/kg .

Les teneurs en MOT et en COT ne présentent aucune différence significative ($P < 0,05$) entre les trois vermicomposts obtenus, mais il y a tout de même une différence significative avec la teneur relevée dans le pré-compost de départ. Les quantités de MOT dans tous les vermicomposts T1 ($26,36 \pm 1,07 \%$), T2 ($25,82 \pm 1,26 \%$) et T3 ($27,19 \pm 1,15 \%$) sont conformes aux valeurs recommandées par les normes de la FAO, de la Suisse, et de l'AFNOR c'est-à-dire des valeurs comprises entre 10-30, <50 et >20 respectivement. Le rapport C/N est compris entre 10 et 15 dans tous les vermicomposts produits et est significativement différent de celui du pré-compost ($47,27 \pm 0,29$) de départ. Cependant entre les trois traitements, T1 ($11,04 \pm 0,31$), T2 ($11,68 \pm 0,46$) et T3 ($11,96 \pm 0,53$) aucune différence significative

($P < 0,05$) n'a été relevée. Ces rapports C/N sont conformes aux normes de la FAO et de l'AFNOR c'est-à-dire un C/N entre 15-20 et < 20 respectivement.

Tableau 7. Caractéristiques physico-chimiques et teneurs en éléments nutritifs du vermicompost (n=3)

Paramètres	Traitements				Norme FAO	Nor- me Suisse	AF- NOR
	Précompost	T1	T2	T3			
Poids du vermicompost obtenu(kg)	450	51,23±5,2	69,57±3,42	88,13±7,61	/	/	/
pH	8,27±0,01 ^a	8,53±0,35 ^{ab}	8,57±0,43 ^{ab}	8,60±0,22 ^b	≤8	<7,8	/
CE (µS/cm)	805±2 ^a	916±49 ^b	1071±31,8 ^c	995±90,7 ^d			
N _{total} (%)	0,405±0,002 ^a	1,19±0,02 ^b	1,11±0,07 ^c	1,13±0,04 ^{bc}	0,4-0,5	1	>0,25
P _{total} (mg/kg)	4,91±0,04 ^a	19,36±5,84 ^b	21,64±6,52 ^b	11,05±2,63 ^c	/	/	/
K (mg/kg)	2824±2 ^a	5979,3±81,9 ^b	4152±35,9 ^c	5206,67±50,57 ^b	4-23 g/kg	/	/
Ca (mg/kg)	81±1 ^a	526,67±50,3 ^b	730±45,83 ^c	320±34,64 ^d	/	/	/
Mg (mg/kg)	23±2 ^a	521,33±15,2 ^b	312±20,25 ^c	226,67±30,55 ^d	/	/	/
COT (%)	19,14±0,04 ^a	13,17±0,53 ^b	12,91±0,63 ^b	13,60±0,58 ^b	/		/
MOT (%)	38,28±0,07 ^a	26,36±1,07 ^b	25,82±1,26 ^b	27,19±1,15 ^b	10-30	<50	>20
C/N	47,27±0,29 ^a	11,04±0,31 ^b	11,68±0,46 ^b	11,96±0,53 ^b	15-20		<20
N-NH ₄	1705±3,60 ^a	270,33±24 ^b	311,33±22,72 ^{bc}	351,67±23,44 ^c	/	<200	/

Les valeurs moyennes suivies de la même lettre sur la même ligne n'ont pas de différence significative ($p < 0,05$) d'après le test de Tukey.

D'une manière générale, les teneurs en éléments nutritifs ont significativement ($P < 0,05$) augmenté dans les vermicomposts finaux par rapport au pré-compost de départ. Le traitement T2 (21,64±6,52 mg/kg) est le plus riche en phosphore, suivie de T1 (19,36±5,84 mg/kg) et puis de T3 (11,05±2,63 mg/kg). L'azote total (TKN) pour sa part a montré une différence significative ($P < 0,05$) entre T1 (1,19 %) et T2 (1,11 %) mais aucune différence significative avec T3 (1,13 %). Ces valeurs de TKN obtenues sont conformes à la valeur recommandée par l'AFNOR (>0,25 %). Les teneurs en potassium les plus élevées sont obtenues dans les traitements T1 (5979,3±81,93 mg/kg) et T3 (5206,67±50,57 mg/kg), par rapport à T2 (4152±35,9 mg/kg) dont la concentration est significativement différente ($P < 0,05$) des deux autres. Par contre, le traitement T2 (730±45,83 mg/Kg) s'est avéré être le plus riche en calcium, suivie du traitement T1 (526,67±50,33 mg/kg) et vient enfin T3 (320±34,64 mg/kg). Il y a une différence significative ($P < 0,05$) entre ces trois vermicomposts. De même, qu'il y a une différence significative ($P < 0,05$) entre les traitements T1 (521,33±15,27 mg/kg), T2 (312±20,25 mg/kg) et T3 (226,67±30,55 mg/kg) pour le magnésium.

À partir d'un pré-compost de 450 kg, les poids moyens des vermicomposts obtenus dans les différents traitements au terme de 46 jours de vermicompostage sont les suivants : 51,23±5,2 kg (T1),

69,57±3,42 kg (T2) et 88,13±7,61 kg (T3). Il est à préciser que dans les bacs du traitement T3 (75 kg précompost + 400 vers de terre) le compost n'était pas complètement fini dans le fond et par conséquent la récolte s'est faite partielle de la surface vers le fond. En effet durant tout le processus, il a remarqué que les lombrics consommaient la matière de la surface vers le fond.

III.1.3.2. Phytotoxicité du vermicompost

Le tableau 8 présente le taux de germination des graines de laitue sur vermicompost pur et mélange sable + vermicompost. Les résultats de ce tableau montrent une différence significative ($p < 0,05$) entre le substrat 75 % sable + 25 % T2 et le substrat 100 % T3 mais pas entre les autres traitements. Cependant, l'apport de 25 % du vermicompost T2 et du vermicompost T3 a produit des taux de germination assez élevés respectivement de l'ordre de 76,67±5,77 % et 75,00±14,14 %. Il en est de même pour l'apport de 100 % de vermicompost T2 qui a donné un taux de germination 70,00±13,23 %. Par contre, la dose de 100 % de vermicompost T3 a donné le plus faible taux de germination (55,00 ± 9,13 %). Toutes les valeurs obtenues dans les différentes compositions de substrat sont bien au-dessus de 50 % de germination du témoin comme recommandé dans la norme suisse sur le test de germination de la salade sur du vermicompost. Au vue de cette norme suisse, les vermicomposts obtenus pourront être répandu dans les champs sans risque sur les cultures.

Tableau 8. Taux de germination des graines de laitue dans les différents mélanges de sable et de vermicompost.

Substrats	Taux de germination (%)
Sable (100%)	100 ^a
25 % Sable + 75 % T1	60,00±22,91 ^{bc}
25 % Sable + 75 % T2	63,33±15,27 ^{bc}
25 % Sable + 75 % T3	66,67±18,92 ^{bc}
75 % Sable + 25 % T1	63,33±12,58 ^{bc}
75 % Sable + 25 % T2	76,67±5,77 ^b
75 % Sable + 25 % T3	75,00±14,14 ^{bc}
100 % T1	65,00±0,00 ^{bc}
100 % T2	70,00 ±13,23 ^{bc}
100 % T3	55,00 ± 9,13 ^c

Les valeurs moyennes suivies de la même lettre sur la même ligne n'ont pas de différence significative ($p < 0,05$).

III.2. Discussion des résultats

Les résultats de l'enquête réalisée auprès des maraîchers montrent que la production maraîchère dans le bas-fond de Nkolbisson est majoritairement pratiquée sur toute l'année corroborant ainsi les observations faites par Nguengang (2008). En effet, l'activité maraîchère à Yaoundé se fait de manière intensive et constitue l'activité principale d'un grand nombre de producteurs justifiant ainsi la permanence de la production sur toute l'année. Par ailleurs, l'ancienneté dans le métier est très variable et s'étend sur 2 à 15 ans d'activité. Les résultats similaires ont été reportés par Nguengang (2008) où l'ancienneté des maraîchers dans l'agriculture urbaine à Yaoundé allait de moins de 03 ans à plus de 15 ans de métier. L'inégalité dans la répartition des parcelles de Nkolbisson serait la résultante de l'occupation spontanée des terres dans ce bas-fond qui appartient au domaine de l'IRAD et qui ne peut ni être vendu ni être mis en location. Sotamenou et *al.* (2008) ont fait la même observation dans l'étude sur la gestion des déchets ménagers et l'agriculture dans les bas-fonds de Yaoundé.

Les légumes-feuilles dominent les cultures pratiquées. Ainsi, la laitue, la corète potagère et l'amarante font la spécificité du site. En effet, les exploitants de Nkolbisson font le choix des légumes à cycle assez court comme la laitue et la corète potagère qui sont les plus produits dans le but d'avoir plusieurs productions sur l'année et d'augmenter leurs revenus d'une part comme l'a relevé Dongmo et *al.* (2005) et d'autre part ce choix de légumes à cycle court serait un moyen pour les exploitants de prévenir un éventuel déguerpissement du site au risque de perdre leur investissement étant donné qu'ils travaillent sur un domaine appartenant à l'État (Roy, 2009).

La réutilisation des déchets ménagers ou des déchets verts par les producteurs de Nkolbisson est quasi inexistante. Ces derniers ne pratiquent aucune action de valorisation de leurs déchets organiques sur leur parcelle. En effet, Sotamenou et *al.* (2008) ont justifié cette absence de valorisation par le fait la distance entre le domicile et le champ qui influence négativement la décision du maraîcher à utiliser les déchets organiques ménagers dans son champ et aussi la pratique des cultures à cycle court ne laisserait pas assez de temps aux déchets verts enfouis de se décomposer convenablement pour fournir les nutriments aux plantes.

La fiente de poules est la fumure organique la plus utilisée par les maraîchers. Ces observations corroborent celles de Dongmo et *al.* (2010). D'après ces auteurs, les maraîchers les préfèrent parce qu'ils sont de loin meilleurs aux autres fumures. La non-utilisation du compost par maraîchers relevée dans le présent travail serait due au manque de connaissances sur le produit et aussi à sa non-disponibilité sur le marché. Par ailleurs, la non appartenance à une association de producteurs pourrait aussi justifier ce manque. Ceci confirme les résultats de Sotamenou et *al.* (2008) qui ont montré que l'appartenance à un Groupe d'Initiative Commune (GIC) ou une organisation de producteurs offraient des plateformes d'information et de formation aux agriculteurs. L'association des amendements organiques aux engrais chimiques par les producteurs est fréquent à Nkolbisson. En effet, cette combinaison d'intrants

organiques et chimiques leur permettrait de booster leur production. Ainsi, Seh et *al.* (2017) ont montré que l'apport combiné de fumier + NPK a augmenté de façon très significative le rendement de la laitue passant de 1,7-1,2 kg/m² sur les parcelles témoins à 3,1-4,4 kg/m² dans le bas-fond maraîcher de Nkolondom à la périphérie de Yaoundé.

Les besoins en fientes de poules sont fonction de la superficie cultivée. En effet, plus les superficies augmentent plus la demande en fientes est grande. Par ailleurs, les producteurs ne respectent pas une dose précise de fumier sur une surface donnée. Ceci rend difficile les estimations des quantités utilisées. Une étude menée par Dongmo & Hernandez (1999) sur «Le développement des zones de production maraîchère et d'élevage dans la zone péri-urbaine de Yaoundé » a estimé qu'en moyenne 40 kg de fumier sont utilisés sur une planche de culture d'environ 12 m². Toutefois les auteurs ne précisent pas si cette quantité correspond à une année ou juste à une saison de culture. D'un autre côté le prix du fumier de poules varie énormément et est fonction du fournisseur, de la disponibilité et du type de fientes. En effet, en période d'abondance, un sac de 50 kg coûte entre 500 et 600 FCFA tandis qu'en temps de pénurie les prix peuvent passer 2000 ou 2200 FCFA, pour la même quantité d'après Onana, (2006).

Les températures élevées (54,3 °C) qui ont été enregistrées pendant le pré-compostage seraient le résultat de l'oxydation de la matière organique par les microorganismes thermophiles grâce à l'apport d'oxygène pendant le retournement du tas de compost. En effet, les hautes températures de 45-55 °C sont non seulement favorables à l'hygiénisation du compost mais aussi à l'élimination des graines des mauvaises herbes (Ayed et *al.* (2005) ; Debril (2005)). La baisse de la température dans un intervalle de 22,9 à 32,6 °C dans les différents traitements durant le vermicompostage marque la phase de maturation du compost. En effet, d'après la littérature, l'abaissement de la température dans la zone de la température ambiante marque la maturation des matières en cours de compostage (Dominguez & Edwards, 2011 ; Djumyom et *al.*, 2016). Ceux-ci ont montré que la plage de températures de 0-35 °C était appropriée pour les vers de terre pendant le vermicompostage d'une part et convenable pour l'activité microbienne pendant le compostage classique d'autre part. De plus, Dominguez (2004) avait déjà montré qu'entre 15-30 °C l'activité des lombrics est optimale. Par ailleurs, le pH fortement basique au début du processus serait dû à la dégradation des chaînes de protéines contenues dans la matière organique qui libère de l'ammoniac rendant le compost assez basique. Cette évolution du pH est comparable à celle observée par Bhat et *al.* (2015) lors du vermicompostage d'un mélange de bagasse et de bouses de vache. Par la suite, la diminution du pH atteignant des valeurs (8,53, 8,57 et 8,60) tendant vers la neutralité à la fin du vermicompostage serait liée à la minéralisation de composés azotés et phosphorés et à la production d'acides organiques (acides humiques et fulviques). Ces résultats présentent ainsi les conditions attendues pendant la stabilisation du compost comme signalé par Favoretto et *al* (2016). Toutefois, si ces valeurs finales de pH sont encore au-dessus de celles recommandées par la norme suisse, cela pourrait être liée à la matière première mise à composter. Par ailleurs, Avnimelech et *al.* (1996) ont montré qu'un pH compris entre 7 et 9 est caractéristique d'un compost mature. L'augmentation de la conductivité électrique pendant

le vermicompostage serait le résultat de la libération de différents sels solubles dans le vermicompost résultant de la minéralisation de la matière organique sous l'action combinée des vers de terre et des microorganismes. Ces résultats sont similaires à ceux de Kaviraj & Sharma (2003) lors le vermicompostage des déchets organiques minicipaux.

Les teneurs élevées en ammonium enregistrées pendant le pré-compostage seraient dues aux réactions d'ammonification qui transforment les composés azotés de la matière organique en libérant de l'ammoniac puis les ions ammonium dans les résidus en cours de dégradation. Par contre, la diminution observée pour ce paramètre pendant la phase de vermicompostage serait due à la nitrification de ces ions N-NH_4^+ en N-NO_3^- ou encore à une perte par volatilisation comme décrit par Selim et *al.* (2014). En outre, les valeurs de 270,33 mg/Kg, 311,33 mg/kg et 351,67 mg/kg obtenues respectivement dans les vermicomposts finaux T1, T2 et T3 indiqueraient la maturité du compost produit. Ces résultats sont en accord avec ceux de Bernal et *al.*, 2009 qui stipulent que la teneur en N-NH_4^+ dans un compost mature doit être inférieure à 400 mg/kg. L'augmentation de l'azote total au cours du vermicompostage serait la résultante de la décomposition des protéines contenues dans la matière organique et de leur conversion en azote ammoniacal et en nitrate. En effet, Bhat et *al.* (2017) ont montré que lorsque la matière organique traverse l'intestin des vers de terre, elle est digérée par une activité enzymatique qui entraîne la dégradation des protéines et des composés contenant de l'azote. Des courbes aux allures similaires ont été obtenues par Sharma & Garg (2019) pendant le recyclage des déchets lignocellulosiques par vermicompostage.

La diminution de la matière organique totale et du carbone total au cours du vermicompostage serait due au fait que durant le processus, les vers de terre et les microorganismes consomment le carbone comme source d'énergie pour leur métabolisme minéralisant ainsi la matière organique. Ramnarain et *al.* (2019) ont fait des observations similaires après 120 jours de vermicompostage de différentes matières organiques utilisant *Eisenia foetida*. Le rapport C/N est un bon indicateur de maturité du compost. Sa diminution pendant le processus de vermicompostage serait liée à la perte du carbone organique total et de l'augmentation de l'azote total qui a été observée pendant le vermicompostage, ceci montre une évolution de la matière organique vers des composés plus stables traduisant la maturation du vermicompost comme démontré par Zhou et *al.* (2014). Les valeurs finales de C/N de l'ordre de 11,04, 11,68 et 11,96 obtenues dans les trois traitements T1, T2 et T3 respectivement indiqueraient la maturité des vermicomposts produits car ils sont similaires aux observations de Bernal et *al.* (1998). En effet, ces auteurs ont signalé qu'un rapport C/N en dessous de 12 indique la maturité du compost.

La teneur en eau dans les vermicomposts finaux respectivement de 50,99 %, 53,06 % et 54,32 % dans tous les traitements T1, T2 et T3. Ce résultat pourrait s'expliquer par le fait que les vers de terre ont besoin d'une humidité entre 50 - 90 % (Dominguez & Edwards, 2011). Pour cette raison, les vermicomposts ont été arrosés par une aspersion d'eau à chaque fois qu'il devenait un peu sec pour ainsi donner aux vers de terre des conditions favorables pour une activité optimale.

L'augmentation des éléments nutritifs (N, P, K, Ca et Mg) dans les vermicomposts finaux serait due au fait que pendant, le processus de vermicompostage, les vers de terre et les micro-organismes de concert, modifient les propriétés chimiques des déchets initiaux et rendent disponibles ces éléments nutritifs dans le produit final (Bhat et *al.*, 2017 ; Suthar et *al.*, 2014). Les teneurs en azote total obtenues (1,11 %, 1,13 % et 1,19 %) sont proches du résultat obtenu (1,36 %) par Ramnarain et *al.*, (2019) lors du vermicompostage de différents types de déchets organiques. Par contre elles sont bien au-dessus de celle obtenue (0,32 %) par (Kaviraj & Sharma, 2003). Les teneurs en phosphore sont significativement plus élevée dans les vermicomposts que dans le pré-compost. En effet, lors du passage de la matière organique dans l'intestin des vers de terre les acides organiques et la phosphatase solubilisent le phosphore et le rendent disponible (Bhat et *al.*, 2017). Les concentrations en potassium dans les vermicomposts finaux (5979,3 mg/kg, 4152 mg/kg et 5206,67 mg/kg) sont plus élevées que celles obtenues (1950 mg/kg) par Bhat et *al.* (2015) sur le vermicompostage des déchets solides organiques pendant 120 jours. Cette différence serait due à la composition des déchets utilisés. Pour les teneurs en calcium et en magnésium du vermicompost final, les concentrations obtenues sont considérables, cependant Favoretto et *al* (2016) ont obtenu des valeurs bien plus élevées pendant le vermicompostage des fientes de poulets et des déchets agroalimentaires. De même Manyuchi & Mbohwa, (2018) sur le vermicompost de l'ensilage de maïs ont obtenu des concentrations de Ca et de Mg bien au-dessus de celles trouvées dans le présent travail. Cette différence peut être liée à la composition et/ou au type de déchets utilisés.

S'agissant du test de phytotoxicité, les taux de germination des graines de laitue varient en fonction de la dose de vermicompost appliquée. Ces résultats corroborent ceux d'Attrassi et *al.* (2005) qui considèrent que la phytotoxicité du compost peut être liée à la dose appliquée. Toutefois, les valeurs obtenues sont comprises entre 55-76,67 % c'est-à-dire >50% comme recommandées par la norme suisse. Compaoré et *al.* (2010) ont obtenu des taux de germination un peu plus élevés avec le maïs et le haricot. Cette différence serait due au type de plante utilisée pour le test. En effet, Kabil et *al.* (2016) ont montré que l'effet dépressif du compost sur la germination serait fonction à la fois du type de compost, de l'espèce ou de la variété de plantes utilisées.

IV. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

IV.1. Conclusion

Dans l'optique de contribuer à une agriculture urbaine durable et à la salubrité dans la ville de Yaoundé, le présent travail de recherche avait pour objectif global de proposer une solution durable de valorisation des déchets organiques ménagers par un processus maîtrisé de vermicompostage dans le bas-fond maraîcher de Nkolbisson.

Les maraîchers enquêtés dans le bas-fond de Nkolbisson produisent à la fois des déchets verts (100 %) sur le site et des déchets organiques ménagers (100 %) dans leurs domiciles respectifs. Cependant ils ne pratiquent aucune action de valorisation de ces déchets à l'instar du compostage qu'ils ne connaissent véritablement pas. Les principaux amendements organiques qu'ils utilisent sur le site sont les fientes de poules (95 %) et le lisier de porc (5%). À ces fumures sont associées des engrais chimiques notamment le NPK (20 10 10), l'urée et l'engrais foliaire (Fertigofol). L'approvisionnement en fumures organiques se fait avec beaucoup de difficultés dont les principales sont la rareté et les moyens de transport. Les quantités de fumier de poules utilisées par an dépendent de la superficie cultivée et de la quantité dont dispose le maraîcher. Le coût de ces intrants varie entre 10 000 et 100 000 FCFA/an, et est fonction du fournisseur, de la période et du type de fiente utilisé. La production du compost en champ avec les déchets verts et les déchets organiques ménagers pourrait contribuer à remédier au problème de pénurie d'une part et réduire les coûts pour l'achat de ces intrants d'autre part.

Le suivi des paramètres de maturation au cours du vermicompostage a montré des évolutions très variables et significatives ($p < 0,05$) en fonction du paramètre étudié dans les différents traitements tout au long du processus. Ainsi, les courbes de température obtenues pendant le pré-compostage et le vermicompostage sont similaires à celles observées durant un compostage classique avec une forte remontée de température (54,3 °C) au début et une diminution significative à la fin de l'essai. Malgré l'évolution classique du pH dans les différents traitements, les valeurs finales sont restées moyennement basiques et au-dessus des valeurs recommandées par les normes de la FAO et de la Suisse. Une diminution significative des teneurs en carbone et en matière organique totale, compatibles aux valeurs normatives internationales recommandées (FAO, Suisse et AFNOR) pour des composts matures pour les trois traitements (T1, T2 et T3). L'augmentation de l'azote total dans tous les traitements combinée à la diminution du COT a conduit à une baisse significative du rapport C/N atteignant des valeurs (11,04, 11,64 et 11,96) en dessous de 12 traduisant un vermicompost mature d'une part et répondant aux valeurs guides de la FAO et de l'AFNOR d'autre part. Le traitement T1 (25 kg de précompost + 400 vers de terre) est celui qui contient le moins d'ammonium tandis que T3 (75 kg de précompost + 400 vers de terre) en contient le plus. Toutefois, sa diminution est significative dans tous les traitements jusqu'à des valeurs en dessous de 400 mg/kg répondant aux critères d'un compost mature.

L'analyse du vermicompost final montre une augmentation significative en éléments nutritifs majeurs notamment l'azote, le phosphore, le potassium, le calcium et le magnésium et un C/N en dessous

de 20 dans tous les traitements. Le traitement T1 s'est montré plus riche en N_{total} , en K et en Mg, tandis que le traitement T2 contient plus de calcium et de phosphore. Le traitement T3 s'est révélé être le moins riche des trois en éléments nutritifs.

Le paramètre biologique notamment la phytotoxicité a montré des taux de germination répondant aux normes recommandées par la directive suisse. Le compost T2 (50 kg de précompost + 400 vers de terre) est celui qui a donné les taux de germination les plus élevés dans les compositions 75 % sable + 25 % T2 et 100 % T2. Le vermocompost T1 par contre a donné les taux de germination les plus faibles dans les différentes compositions de substrats comparés aux deux autres. La combinaison des paramètres physico-chimiques et biologiques obtenus donne de dire que le vermicompost produit est sans danger pour les cultures et peut donc être appliqué directement en champ.

IV.2. Perspectives

En guise de perspectives, il serait intéressant pour les travaux futurs de :

- identifier les espèces de vers de terre présentes dans le contexte yaoundéen et appropriés pour le vermicompostage ;
- déterminer les germes pathogènes ainsi que les métaux lourds dans le vermicompost final ;
- élargir le test de phytotoxicité du vermicompost non seulement sur la germination mais aussi sur la croissance de plusieurs plantes comme le cresson, le maïs, le haricot....
- évaluer l'effet du vermicompost en champ sur la croissance et le rendement de quelques cultures maraîchères ;

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aboulam, S. (2005). *Recherche d'une méthode d'analyse du fonctionnement des usines de tri-compostage des déchets ménagers. Fiabilité des bilans matière* (ENSAT, Ed.). Toulouse: Thèse de Doctorat.
- Achsah, R. S., & Lakshmi Prabha, M. (2013). Potential of vermicompost produced from banana waste (*Musa paradisiaca*) on the growth parameters of *Solanum lycopersicum*. *International Journal of ChemTech Research*, 5(5), 2141–2153.
- ADEME. (2015). *Le compostage : ce qu'il faut retenir* (Vol. 2015).
- Aina, M. P. (2006). *Expertises des Centres d'enfouissement techniques de déchets urbains dans les PED: contributions à l'élaboration d'un guide méthodologique et à sa validation expérimentale sur sites* (Thèse de D). <https://doi.org/u>
- Aira, M., Monroy, F., & Domínguez, J. (2007). *Eisenia fetida* (Oligochaeta: Lumbricidae) modifies the structure and physiological capabilities of microbial communities improving carbon mineralization during vermicomposting of pig manure. *Microbial Ecology*, 54(4), 662–671. <https://doi.org/10.1007/s00248-007-9223-4>
- Aira, M., Sampedro, L., Monroy, F., & Domínguez, J. (2008). Detritivorous earthworms directly modify the structure, thus altering the functioning of a microdecomposer food web. *Soil Biology and Biochemistry*, 40(10), 2511–2516. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2008.06.010>
- Albrecht, R. (2007). *Co-compostage de boues de station d'épuration et de déchets verts : Nouvelle méthodologie du suivi des transformations de la matière organique To cite this version : HAL Id : tel-00174775* (Thèse de D). Université Paul Cezanne Aix-Marseille III.
- Aloueimine, S. O. (2006). *Méthodologie de caractérisation des déchets ménagers à Nouahkott(Mauritanie): Contribution à la gestion des déchets et outils d'aide à la décision* (Université).
- Ansari, A. A., & Ismail, S. A. (2012). Earthworms and Vermiculture Biotechnology. In Dr. Sunil Kumar (Ed.), *Management of Organic Waste* (INTECH, p. 11).
- Antil, R. S., & Raj, Dev. Narwal, P. R. and Singh, J. P. (2013). Evaluation of Maturity and Stability Parameters of Composts Prepared from Organic Wastes and Their Response to Wheat. *Waste Biomass Valor*, 4, 95–104. <https://doi.org/10.1007/s12649-012-9141-7>
- Arancon, N. Q., Edwards, C. A., & Bierman, P. (2006). Influences of vermicomposts on field strawberries: Part 2. Effects on soil microbiological and chemical properties. *Bioresource Technology*, 97(6), 831–840. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.04.016>
- Avnimelech, Y., Bruner, M., Ezrony, I., Sela, R., & Kochba, M. (1996). Stability indexes for municipal solid waste compost. *Compost Science and Utilization*, 4(2), 13–20. <https://doi.org/10.1080/1065657X.1996.10701825>
- Awomeso, J. A., Taiwo, A. M., & Gbadebo, A. M. and Arimoro, A. O. (2010). Waste Disposal and Pollution Management in Urban Areas : A Workable Remedy for the Environment in Developing Countries Waste Disposal and Pollution Management in Urban Areas : A Workable Remedy. *Am. J. Environ Sci.*, 6(1), 26_32.
- Ayed, L. Ben, Hassen, A., Jedidi, N., & Saidi, N. (2005). Caractérisation des paramètres physico-chimiques et microbiologiques au cours d'un cycle de compostage d'ordures ménagères. *Déchets -Revue Francophone d'Ecologie Industrielle*, 40, 4–11. <https://doi.org/10.4267/dechets->

- Ben Ammar, S., & Foully, B. (2014). Situation des déchets dans les pays en développement et enjeux de leur caractérisation. *Techniques Sciences Méthodes*, (4), 97–108. <https://doi.org/10.1051/tsm/200804097>
- Bernal, M. P., Albuquerque, J. A., & Moral, R. (2009). Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. *Bioresource Technology*, 100(22), 5444–5453. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.11.027>
- Bernal, M. P., Paredes, C., Sanchez-Monedero, M. A., & Cegarra, J. (1998). Maturity prepared and stability parameters of composts with a wide range of organic wastes. *Bioresource Technology*, 63, 91–99.
- Bhat, S. A., Singh, J., & Pal, A. (2015). Vermitechnology: An eco Approach of Solid Waste management in rural areas. *Journal of Global Ecology and Environment*, 2(2), 69–75.
- Bhat, S. A., Singh, J., & Vig, A. P. (2017). Instrumental characterization of organic wastes for evaluation of vermicompost maturity. *Journal of Analytical Science and Technology*, 8(2), 12. <https://doi.org/10.1186/s40543-017-0112-2>
- Bopda, A. P., Brummett, R., Dury, S., Elong, P., Foto-menbohan, S., Gockowski, J., ... Temple, L. (2010). *Urban Farming Systems in Yaoundé – Building a Mosaic*. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6250-8>
- Boubié, B. V., Sédogo, M. P., Cescas, M. P., Lompo, F., & Bationo, A. (1997). Effets à long terme des fumures sur le sol et les rendements du maïs au Burkina Faso. *Cahiers Agricoles*, 6, 571–575.
- Bouché, M. B. (1972). *Lombriciens de France, écologie et systématiques*. INRA, Paris.
- Bromblet, Hélène et Somaroo, G. (2015). *Les techniques de compostage de déchets d'origine naturelle en afrique et dans les caraïbes* (pp. 1–12). pp. 1–12. Plateforme-Re-Sources.
- BUCREP. (2011). *Rapport National sur l'Etat de la Population du Cameroun*. Retrieved from www.bucrep.cm%5Cnwww.bucrep.org
- CEFREPADE. (2012). *Compostage des déchets ménagers dans les pays en développement : Modalités de mise en place et de suivi d'installations décentralisées pérennes . Version d'août*. 57 P.
- Chaoui, H. (2010). Vermicompostage (ou lombricompostage) : Le traitement des déchets organiques par les vers de terre. *Fiche Technique*, Vol. 10-010, p. 8. Ontario: Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires.
- Charnay, F. (2005). *Compostage des déchets urbains dans les Pays en Développement: élaboration d'une démarche méthodologique pour une production pérenne du compost* (Thèse de D; U. Limoges, Ed.).
- Chen, L., Marti, de H., Moore, A., & Falen, C. (2009). *Dairy Compost Production and Use in Idaho*. 1–5. Retrieved from <http://www.cias.wisc.edu/wp-content/uploads/2008/07/artofcompost.pdf>
- Cooperband, L. (2002). The Art and Science of Composting. *University of Wisconsin-Madison (Centre for Integrated Agricultural Systems)*, 1–17. Retrieved from <https://www.cias.wisc.edu/wp-content/uploads/2008/07/artofcompost.pdf>
- Debril, J. (2005). *Gestion des déchets de Jussie par le compostage*.

- Decaëns, T., Porco, D., Rougerie, R., Brown, G. G., & James, S. W. (2013). Potential of DNA barcoding for earthworm research in taxonomy and ecology. *Applied Soil Ecology*, 65, 35–42. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2013.01.001>
- Djumpyom, W. G. V., Matsodoum, N. P., Letah, N. W. A., Djocgoue, Pierre, F., & Kengne, I. M. (2016). Co-composting of sewage sludge and *Echinochloa pyramidalis* (Lam.) Hitchc. Chase plant material from a constructed wetland system treating domestic wastewater in Cameroon. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 10(9), 272–282. <https://doi.org/10.5897/ajest2016.2089>
- Dominguez, J., Edwards, C. A., & Dominguez, J. (2001). The biology and population dynamics of *Eudrilus eugeniae* (Kinberg)(*Oligochaeta*) in cattle waste solids. *Pedobiologia*, 45(4), 341–353.
- Dominguez, J. (2004). State-of-the-art and new perspectives on vermicomposting research. In *Earthworm Ecology, Second Edition* (Earthworm). <https://doi.org/10.1201/9781420039719>
- Dominguez, J., Aira, M., & Gomez-Brandon, M. (2010). Chapter 5: Vermicomposting: Earthworms Enhance the Work of Microbes Jorge. In *Microbes at Work: From Wastes to Resources* (pp. 1–329). <https://doi.org/10.1007/978-3-642-04043-6>
- Dominguez, J., & Edwards, C. A. (2011). *Chapter 3 Biology and Ecology of Earthworm Species Used for Vermicomposting*.
- Dominguez, J., Edwards, C. A., & Ashby, J. (2001). The biology and population dynamics of *Eudrilus eugeniae* (Kinberg) (*Oligochaeta*) in cattle waste solids Jorge. *Pedobiologia*, 45(4), 341–353.
- Domínguez, J., & Gómez-brandón, M. (2005). Vermicomposting : Composting with Earthworms to Recycle Organic Wastes. In *Management of Organic Waste* (p. 20).
- Dongmo, T., & Hernandez, S. (1999). Identification d'un programme d'appui au développement des zones de production maraîchères et petit élevage dans la zone péri-urbaine de Yaoundé. In *Direction des projets Agricoles–Ministère de Yaoundé. l'Agriculture (MINAGRI), Yaoundé*.
- Dongmo, T., Meffeja, F., Fotso, J. M., & Nolte, C. (2010). Crop – Livestock Integration in the Urban Farming Systems of Yaoundé. In *African Urban Harvest* (pp. 61–70). <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6250-8>
- Durak, A., Altuntaş, Ö., Kutsal, İ. K., Işık, R., & Karaat, F. E. (2017). The Effects of Vermicompost on Yield and Some Growth Parameters of Lettuce. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 5(12), 1566. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v5i12.1566-1570.1461>
- Edwards, C. A. (1988). *Breakdown of animal, vegetable and industrial organic wastes by earthworms* (Earthworms; C. A. E. and E. F. Neuhauser., Ed.).
- Eswaran N. and Mariselvin S. (2016). Efficacy of Vermicompost on growth and yield parameters of *Lycopersicum esculentum*(Tomato). *International Journal of Scientific and Research Publications*, 6(1), 95–108. Retrieved from www.ijsrp.org
- FAO. (2005). Méthodes de compostage au niveau de l'exploitation agricole. *Documents de Travail Sur Les Terres et Les Eaux - FAO*, 1–48. Retrieved from <http://www.fao.org/docrep/008/y5104f/y5104f05.htm>
- Faverial, J. (2016). *Compostage et vermicompostage des effluents d'élevage: une alternative durable pour le recyclage des déchets d'origine animale* (Thèse de D). Anitilles, Université.
- Favoretto, L. B. Atoloye, I. A., & Obikoya, A. O. Borsato, A. V. Rezende, M. O. O. (2016). Chemical

- study of vermicomposted agroindustrial wastes. *Int J Recycl Org Waste Agricult*, 5, 55–63. <https://doi.org/10.1007/s40093-016-0117-7>
- Francis, F., Haubruge, E., Thang, P. T., Van Kinh, L., Lebailly, P., & Gaspar, C. (2003). Technique de lombriculture au Sud Vietnam. *Biotechnology, Agronomy and Society and Environment*, 7(3–4), 171–175.
- Francou, C. (2004). *Stabilisation de la matière organique au cours du compostage de déchets urbains: Influence de la nature des déchets et du procédé* (I. national agronomique paris-grigno-I. P-G, Ed.).
- Gandhi M. , Sangwan V, K. K. and D. N. (n.d.). Composting of household wastes with and without earthworms. *Environment and Ecology*, 15, 432–434.
- Garg, V. K., & Gupta, R. (2011). Optimization of cow dung spiked pre-consumer processing vegetable waste for vermicomposting using *Eisenia fetida*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 74(1), 19–24. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2010.09.015>
- Garg, V. K., Gupta, R., & Yadav, A. (2009). Vermicomposting technology for solid waste management Potential benefits of vermicomposting. *Environmental Science and Engineering*, (Table 1), 1–15.
- GCP. (2008). *Le compost qualite: un produit de qualité* (p. 2). p. 2. Retrieved from www.gcp-compost.ch
- Giroux, M., & Audesse, P. (2004). Comparaison de deux méthodes de détermination des teneurs en carbone organique, en azote total et du rapport C/N de divers amendements organiques et engrais de ferme. *Agrosol*, 15(2), 6–8.
- Gomez-Brandon, Maria. Cristina, Lazcano. Dominguez, J. (2008). The evaluation of stability and maturity during the composting of cattle manure. *Chemosphere*, 70, 436–444. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2007.06.065>
- Gómez-Brandón, M., Aira, M., Lores, M., & Domínguez, J. (2011). Epigeic Earthworms exert a bottleneck effect on microbial communities through gut associated processes. *PLoS ONE*, 6(9). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0024786>
- Gómez-Brandón, M., & Domínguez, J. (2014). Recycling of solid organic wastes through vermicomposting: Microbial community changes throughout the process and use of vermicompost as a soil amendment. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 44(12), 1289–1312. <https://doi.org/10.1080/10643389.2013.763588>
- Goyal, S., Dhull, S. K., & Kapoor, K. K. (2005). Chemical and biological changes during composting of different organic wastes and assessment of compost maturity. *Bioresource Technology*, 96, 1584–1591. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.12.012>
- Grattepanche, N. (2005). Le lombricompostage : principe et applications Bibliographie. *Echo-MO*, (55), 3–6.
- Graves, R. E., Hattemer, G. (2000). Chapter 2 Composting. In USDA (Ed.), *National Engineering Handbook* (p. 88).
- Hemalatha, B. (2012). Vermicomposting of fruit waste and industrial sludge. *International Journal of Advanced Engineering Technology*, III(II), 60–63.
- HYSACAM. (2017). *Le Centre de Traitement des Déchets de Nkolfoulou : un exemple de décharge contrôlée*. Retrieved from www.hysacam-proprete.com

- Inckel, M., de Smet, P., & Tersmette, T. (2005). *La fabrication et l'utilisation du compost*.
- Iyebi-Mandjek, O. (2000). Cultures maraichères. In C. Iyebi-Mandjek, Olivier et Seignobos (Ed.), *Atlas de la province de l'extrême nord du Cameroun* (IRD, pp. 102–105). Paris, 2000.
- Jemali B., Soudi B. and Lhadi, E. K. (1996). Contrôle des paramètres du compostage et appréciation de la qualité du compost des déchets ménagers de la Wilaya de Rabat-Salé. *Actes Inst. Agron. Vet.*, 16(2), 43–50.
- Juste, C., Solda, P., & Dureau, P. (1983). Test agronomique simple destiné à juger rapidement de la phytotoxicité éventuelle et du degré de maturité d'un compost d'ordures ménagères. In BMA (Ed.), *Utilisation agricole des déchets. Résultats de dix années de recherches. Comité" Sols* (p. 4).
- Karanja, N. K., Kwach, H. O., & Njenga, M. (2005). *Low cost composting Training manual* (S. W. Karanja, Ed.).
- Kaviraj, & Sharma, S. (2003). Municipal solid waste management through vermicomposting employing exotic and local species of earthworms. *Bioresource Technology*, 90(2), 169–173.
[https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(03\)00123-8](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(03)00123-8)
- 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 D; U. Limoges, Ed.).
- Kothari, R., Verma, S., & Tyagi, V. V. (2016). *Vermicomposting parameters play an effective role in green sustainable approach*. (October).
- Kouam Kenmogne, G. R., Rosillon, F., & Mpakam, H. (2010). Enjeux sanitaires , socio-économiques et environnementaux liés à la réutilisation des eaux usées dans le maraîchage urbain à Yaoundé au Cameroun : cas du bassin versant de l ' Abiergué Résumé. *Colloque Eau, Déchets et Développement Durable*, 28–31. Alexendrie, Egypte.
- Landré, A. (2017). *L'agriculture urbaine à Yaoundé , d'une stratégie de crise à un enjeu de développement*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.35648.64000>
- Lazcano, C., & Domínguez, J. (2011). The use of vermicompost in sustainable agriculture: impact on plant growth and soil fertility. In M. Miransari (Ed.), *Soil Nutrients* (pp. 1–23).
- Lemeilleur, S., Temple, L., & Kwa, M. (2003). Identification of banana production systems in urban and peri-urban agriculture in Yaoundé. *Infomusa(English Ed.)*, 12(1), 13–16.
- Lores, M., Gómez-Brandón, M., Pérez-Díaz, D., & Domínguez, J. (2006). Using FAME profiles for the characterization of animal wastes and vermicomposts. *Soil Biology and Biochemistry*, 38(9), 2993–2996. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2006.05.001>
- M'sadak, Y., & Saad, I. (2014). Diagnostic et analyse thermique du processus de compostage sylvicole pour prévenir la dissémination des semences de morelle jaune. *Rev. Mar. Sci. Agron. Vét.*, 2(2), 22–29.
- Manyuchi, M., & Mbohwa, C. (2018). Valorization of Corn Sillage through Vermicomposting. *Ceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, (September 27-29), 5. Washington DC, USA.,
- Moby-Etia, P. (1979). *Climat*. In *Jeune Afrique (Eds.)*. *Atlas de la République Unie du Cameroun*.
- Morin, É. (2004). Le lombricompostage, une façon écologique de traiter les résidus organiques. In E.

- P.-M. P (Ed.), *Guide pratique* (pp. 1–20).
- Munroe, G. (2007). *Manual of On-Farm Vermicomposting and Vermiculture Organic Agriculture Centre of Canada Acknowledgements EcoAction Program of Environment Canada and New Ground Vermicomposting, Halifax, Nova Scotia*. Retrieved from https://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/E-Learning/Moocs/Solid_Waste/W4/Manual_On_Farm_Vermicomposting_Vermiculture.pdf
- Munroe, G. (Centre d'agriculture biologique du C. (2004). Guide du lombricompostage et de la lombriculture à la ferme. *Agri-Réseau (CRAAQ)*, 37. Retrieved from <https://www.agrireseau.net/documents/96310/guide-du-lombricompostage-et-de-la-lombriculture-a-la-ferme>
- Mustin, M. (2015). Compostage : de l'Afrique à Paris. *Maison Des Acteurs Du Paris Durable*, 27.
- Nair, J., Sekiozoic, V., & Anda, M. (2006). Effect of pre-composting on vermicomposting of kitchen waste. *Bioresource Technology*, 97(16), 2091–2095. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.09.020>
- Ndegwa, P. M., & Thompson, S. A. (2001). Integrating composting and vermicomposting in the treatment and bioconversion of biosolids. *Bioresource Technology*, 76(2), 107–112. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(00\)00104-8](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(00)00104-8)
- Ngahane, E. L., Ukondalemba Mindele, L., Nsavyimana, G., Bigumandondera, P., Vasel, J.-L., & Ngnikam, E. (2015). Analyse comparative des résultats de caractérisation d'ordures ménagères : cas des communes de Bembéréké(Bénin), Kinama (Burundi), Gombe et Kimbanseke (RDC). *Déchets, Sciences et Techniques*, (69), 13–22. <https://doi.org/10.4267/dechets-sciences-techniques.3180>
- Ngambi, J. R. (2015). *Déchets solides ménagers de la ville de Yaoundé (Cameroun) : de la gestion linéaire vers une économie circulaire* (U. de Maine, Ed.).
- Ngnikam, E., Naquin, P., Oumbe, R., & Djietcheu, K. B. (2017). Evolution des caractéristiques des déchets solides ménagers dans la ville de Yaoundé au Cameroun (1995-2015). *Revue Scientifique et Technique Forêt et Environnement Du Bassin Du Congo*, 8, 45–56. <https://doi.org/10.4267/dechets-sciences-techniques.3654>
- Ngnikam, E., Vermande, P., Tanawa, M., & Wethe, J. (1997). Une démarche intégrée pour la maîtrise de la gestion des déchets solides urbains au Cameroun. *Déchets, Sciences et Techniques*, (05), 22–34. <https://doi.org/10.4267/dechets-sciences-techniques.746>
- Nguegang, P. A. (2008a). L'agriculture urbaine et périurbaine à Yaoundé : analyse multifonctionnelle d'une activité montante en économie de survie. In *Ph.D These*.
- Nguegang, P. A. (2008b). L'agriculture urbaine et périurbaine à Yaoundé : analyse multifonctionnelle d'une activité montante en économie de survie. In *Ph.D These*.
- Nguegang, P. A. (2008c). L'agriculture urbaine et périurbaine à Yaoundé : analyse multifonctionnelle d'une activité montante en économie de survie. *Ph.D These*.
- Ntabugi, K. M.-M. (2013). *Analyse du niveau de connaissances de la population de la ville de Bukavu sur la gestion des déchets ménagers: : cas de la commune de d'Ibanda Sud-Kivu RDCongo* (Mémoire). Bukavu RDCongo: Université de BIOSADEC.
- Onana, L. G. (2006). *Fertilisation par le fumier de poule : l'expérience de Nkolondom* (p. 2). p. 2.

- Paczka, G., Garczynska, Mariola. Mazur-Paczka, Anna. Podolak, Agnieszka. Szura, R., Skoczko, I. and, & Kotecka, J. (2018). Vermicomposting of Sugar Beet Pulps Using *Eisenia fetida* (Sav.) Earthworms. *Annual Set The Environment Protection*, 20(October), 588–601.
- Pagnot, S., Lebrisse, F., & Canuel, S. (2006). *Le compostage en fosse en milieu tropical*.
- Peres, G., Cluzeau, D., Hotte, H., & Delaveau, N. (2012). Fiche indicateur : les vers de terre. *ADEME*, 4.
- Pérès, G., Vandembulcke, F., Guernion, M., Hedde, M., Beguiristain, T., Douay, F., ... Cluzeau, D. (2011). Earthworm indicators as tools for soil monitoring, characterization and risk assessment. An example from the national Bioindicator programme (France). *Pedobiologia*, 54(SUPPL.), S77–S87. <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2011.09.015>
- Pearce, T. G., Oates, K., & Carruthers, W. J. (1990). A fossil earthworm embryo (*Oligochaeta*) from beneath a Late Bronze Age midden at Potterne, Wiltshire. *Journal of Zoology*, 220(4), 537–542.
- Pirsaheb, M., Khosravi, T., & Sharafi, K. (2013). Domestic scale vermicomposting for solid waste management. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 2(1). <https://doi.org/10.1186/2251-7715-2-4>
- Prain G., K. N. and L.-S. D. (2010). African Urban Harvest, Agriculture in the Cities of Cameroon, Kenya and Uganda. In K. N. and L.-S. D. Prain G. (Ed.), *Springer* (Springer N).
- Raj, D., & Singh, R. (2012). Evaluation of maturity and stability parameters of composts prepared from farm wastes. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 58(8), 817–832.
- Ramnarain, Y. I., Ansari, A. A., & Ori, L. (2019). Vermicomposting of different organic materials using the epigeic earthworm *Eisenia foetida*. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 8(1), 23–36. <https://doi.org/10.1007/s40093-018-0225-7>
- Razafindrakoto, M. (2012). *Etude des Annélides Oligochètes de Madagascar : Taxonomie, Distribution et Ecologie* (Thèse de D). Université d'Antananarivo.
- Reinecke, A. J., Viljoen, S. A., & Saayaman, R. J. (1992). The suitability of *Eudrilus eugeniae*, *Perionyx excavatus* and *Eiseinia fetida* (OLIGOCHAETA) vermicomposting in Southern Africa in terms of temperature requirements. *Soil Biol. Biochem.*, 24(12), 1295–1307.
- Rostami, R. (2011). Vermicomposting. *Integrated Waste Management*, II(1), 13. <https://doi.org/10.2307/3964883>
- Roy, A. (2009). *L'agriculture urbaine dans les pays en développement : levier à privilégier pour l'atteinte des objectifs du millénaire pour le développement ?* (Maîtrise e). Troyes: Sherbrooke, Université.
- Seh Ngoun, E., Omoko, M., & Simon, S. (2017). Performances des engrais mineaux et organiques sur la production de la laitue et sur la fertilité d'un sol maraîcher à Nkolondom (Yaoundé, Cameroun). In E. Roose (Ed.), *CIRAD* (p. 275–284.). Marseille.
- Selim, S. M., Zayed, M. S., & Atta, H. M. (2014). Evaluation of phytotoxicity of compost during composting process. *Nature and Science*, 10(2), 69–77.
- Sellami, F., Hachicha, S., Chtourou, M., Medhioub, K., & Ammar, E. (2008). Maturity assessment of composted olive mill wastes using UV spectra and humification parameters. *Bioresource Technology*, 99, 6900–6907. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.01.055>

- Shanthi, K. (2018). Evaluation of maturity parameters of vermicomposts prepared from different biodegradable wastes. *Int. J. of Life Sciences*, 6(2), 487–493.
- Sharma, K., & Garg, V. K. (2019). Recycling of lignocellulosic waste as vermicompost using earthworm *Eisenia fetida*. *Environ. Sci. Pollut Res*, 1–12. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04639-8>
- Shuster, W. D., Subler, S., & McCoy, E. L. (2000). Foraging by deep-burrowing earthworms degrades surface soil structure of a fuventic Hapludoll in Ohio. *Soil & Tillage Research*, 54, 179–189.
- Sierra, J., Desfontaines, L., Faverial, J., & Boval, M. (2013). Composting and vermicomposting of cattle manure and green wastes under tropical conditions : carbon and nutrient balances and end-product quality. *Soil Research*, 1–10. <https://doi.org/10.1071/SR13031>
- Sierra, J., Loranger-merciris, G., & Solvar, F. (2011). Le vermicompostage en Guadeloupe. *INRA*, 1–5.
- Silawat, N., Chouhan, S., Sairkar, P., Garg, R. K., Vijay, N., & Mehrotra, N. N. (2010). Estimation of bacterial diversity in soil and vermi compost using sole source carbon utilization (SSCU) profile. *African Journal of Microbiology Research*, 4(4), 255–266.
- Singh, J., Kaur, A., & Vig, A. P. (2014). Bioremediation of Distillery Sludge into Soil-Enriching Material Through Vermicomposting with the Help of *Eisenia fetida*. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 174(4), 1403–1419. <https://doi.org/10.1007/s12010-014-1116-7>
- Singh, N. B., Khare, A. K., Bhargava, D. S., & Bhattavharya. (2005). Effect of initial substrate pH on vermicomposting using *Perionyx excavatus* (PERRIER, 1872). *Applied Ecology and Environmental Research*, 4(1), 14. <https://doi.org/10.15666/aeer/0401>
- Singh, S., Khwairakpam, M., & Tripathi, C. N. (2013). A comparative study between composting and vermicomposting for recycling food wastes. *International Journal of Environment and Waste Management*, 12(3), 231. <https://doi.org/10.1504/ijewm.2013.056119>
- Smith, O. B. Moustier, P. Mougeot, Luc J.A. and Fall, A. (2004). *Développement durable de l'agriculture urbaine en Afrique francophone: Enjeux, concept et méthodes* (O. B. Smith, P. Moustier, L. J. A. Mougeot, & A. Fall, Eds.).
- SNGDC. (2007). *Strategie Nationale de Gestion des Déchets*.
- Sotamenou, J. (2010). *Le compostage : une alternative soutenable de gestion publique des déchets au Cameroun*.
- Sotamenou, J., Parrot, L., & Kamgnia, B. D. (2008). Gestion des déchets ménagers et agriculture dans les bas-fonds de Yaoundé au Cameroun. In *Agriculture et développement urbaine en Afrique de l'Ouest et du Centre* (p. 17).
- St-Pierre, M.-A. (1998). *Lombricompostage de fientes de poulet et de résidus de scierie*.
- Suthar, S., Kumar, K., & Mutiyar, P. K. (2014). Nutrient recovery from compostable fractions of municipal solid wastes using vermitechnology. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 17(1), 174–184. <https://doi.org/10.1007/s10163-014-0238-x>
- T. Dongmo, Gockowski, J., Hernandez, S., Awono, L. D. K., & Moudon, R. M. (2005). L'agriculture périurbaine à Yaoundé : ses rapports avec la réduction de la pauvreté , le développement économique , la conservation de la biodiversité et de l' environnement. *Tropicultura*, 23(3), 130–135.

- Tara, C. (2003). Vermicomposting. Development alternatives. *Sustainable Livelihoods* ([Http://Www.Dainet.Org/Livelihoods/Default.Htm](http://www.Dainet.Org/Livelihoods/Default.Htm)).
- Temple-Boyer, E. (2002). *Dynamique de l'emprise spatiale et foncière de l'agriculture périurbaine dans les bas-fonds de Yaoundé, Cameroun*. (R. D. H. U. P. I, Ed.).
- Temple, L., Marquis, S., Simon, S., Mahbou, G., David, O., De, I., & Sial, R. (2006). Localisation périurbaine du maraîchage en Afrique subsaharienne et naissance de systèmes de production. *Colloque International : ALIMENTATION et TERRITOIRES - ALTER 2006 Baeza*, 25. Jaén, Espagne.
- Temple, L., Marquis, S., Simon, S., Temple, L., Marquis, S., & Simon, S. (2008). Le maraîchage périurbain à Yaoundé est-il un système de production localisé innovant ? To. *Economies et Sociétés. AG Systèmes Agroalimentaires, Presses de l'ISMEA*, 2309–2328.
- Temple, L., & Moustier, P. (2004). Les fonctions et contraintes de l'agriculture périurbaine de quelques villes africaines (Yaoundé, Cotonou, Dakar). *Cahiers d'Agriculture*, 13, 15–22.
- Tognetti, C., Mazzarino, M. J., & Laos, F. (2007). Cocomposting biosolids and municipal organic waste: Effects of process management on stabilization and quality. *Biology and Fertility of Soils*, 43(4), 387–397. <https://doi.org/10.1007/s00374-006-0164-8>
- Useni, S., Baboy, L. L., Nyembo, K. L., & Mpundu, M. (2012). Effets des apports combinés de biodéchets et de fertilisants inorganiques sur le rendement de trois variétés de Zea mays L. cultivées dans la région de Lubumbashi. *J. Appl. Biosci.*, 54, 3935–3943.
- Vaidyanathan, G., & Vijayalakshmi, A. (2017). Effect of vermicompst on growth and yield of tomato. *European Journal of Pharmaceutical and Medical Research*, 4(9), 653–656. <https://doi.org/10.1177/1477370811421644>
- Van der Wurff, A.W.G., Fuchs, J.G., Raviv, M., Termorshuizen, A. J. (2016). *Handbook for Composting and Compost Use in Organic Horticulture* (BioGreenho; M. R. and A. J. T. André W.G. van der Wurff, Jacques G. Fuchs, Ed.). <https://doi.org/10.18174/375218>
- Wu, L., Ma, L. Q., & Martinez, G. A. (2000). Comparison of Methods for Evaluating Stability and Maturity of Biosolids Compost. *J. Environ. Qual.*, 29, 424–429.
- Yemmafouo, A. (2014). L'agriculture urbaine camerounaise . Au-delà des procès , un modèle socioculturel à intégrer dans l'aménagement urbain. *Geocarrefour*, 89(1), 161–170.
- Zazouli, M. A., Ardebilian, M. B., Ghahramani, E., & Alahabad, G. M. (2009). Principles of compost production technology. In *Tehran: Khaniran*.
- Zhou, Y., Selvam, A., & Wong, J. W. C. (2014). Evaluation of humic substances during co-composting of food waste, sawdust and Chinese medicinal herbal residues. *Bioresource Technology*, 168, 229–234. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.05.070>
- Zucconi, F. (1981). Evaluating toxicity of immature compost. *BioCycle*, 22(2), 54–57.

ANNEXES

Annexe 1. Questionnaire d'enquête pour les maraîchers

Questionnaire d'enquête pour l'appréciation de la gestion des déchets organiques et de l'utilisation des amendements organiques par des maraîchers de la zone périurbaine de Yaoundé

STRICTEMENT CONFIDENTIEL : Les informations contenues dans ce document sont strictement confidentielles au terme de la loi N°91/023 de décembre 1991 sur les recensements et enquêtes statistiques qui stipule en son article 5 que « les renseignements individuels d'ordre économique ou financier figurant sur tout questionnaire d'enquête statistique ne peuvent en aucun cas être utilisés à des fins de contrôle ou répression économique »

000/GENERALITES

Date de l'enquête /_____/_____/_____/ Numéro de la fiche_____/

Arrondissement /_____/ Quartier /_____/

Nom de l'enquêteur /_____/

Coordonnées géographiques : Longitude_____/ Latitude_____/ Altitude /_____/ m

001/PROFIL SOCIO-ÉCONOMIQUE DU MARAÎCHER

- 1.1- Sexe du répondant** /____/ 1) Masculin 2) Féminin
- 1.2- Êtes-vous propriétaire de la parcelle exploitée ?** /____/ 1) Oui 2) Non
- 1.3- Si oui comment l'avez-vous obtenu** /____/ 1) Héritage 2) Don 3) Achat 4) Autres (à préciser) /_____/
- 1.4- Si non s'agit-il de ?** /____/ 1) Location 2) Installation libre
- 1.5- Superficie de la parcelle cultivée** /_____/m²
- 1.6- Nombre d'années d'expérience dans le maraîchage** /_____/ ans
- 1.7. Quelle est votre saison d'activité ?** /____/ 1) Saison de pluie 2) Saison sèche 3) Toute l'année
- 1.8. Quelles cultures pratiquez-vous ?** /____/ 1) Morelle noire (Zom) 2) Laitue 3) Amarante
4) Corète potagère (Tègue) 5) Maïs 6) Aubergine africaine (Keya) 7) Basilic 8) Céleri
9) Pastèque 10) (à préciser) /_____/
- 1.9-Appartenez-vous à une organisation de producteurs ou un GIC ?** /____/ 1) Oui 2) Non
- 1.10- Si oui nom de l'organisation ou du GIC**/_____/

002/GESTION DES DÉCHETS ORGANIQUES PAR LES MARAÎCHERS

- 2.1- Quels types de déchets organiques produisez-vous chez vous ou dans votre champ ?** /____/____/____/
- 1) Déchets de cuisine 2) Déjection animale 3) Déchets verts 4) Autres à préciser_____/
- 2.2- Que faites-vous de vos déchets organiques** /____/____/____/ 1) Utilisation directe dans le champ 2) Compostage 3) Evacuation dans les bacs à ordures/dépotoir sauvage 4) Dépôt aux abords du champ 5) Enfouissement 6) Autres à préciser_____/
- 2.3- Existe-t-il un bac à ordures ou un dépotoir public dans votre quartier ?** /____/

1) Oui 2) Non

2.4- Si oui, à quelle distance de la maison /____/ 1) A moins de 50 m 2) 51 à 100 m

3) 101 à 200 m 4) 201 à 300 m 5) 301 à 500 m 6) 500 m et plus 7) Ne sais pas (NSP)

003/UTILISATION DES ENGRAIS ET AMENDEMENTS

3.1- Utilisez-vous des fertilisants organiques biologiques sur votre parcelle ? /____/

1) Oui 2) Non

3.2) Si oui, lesquels ? /____/____/____/ 1) Fiente de poule 2) Compost 3) Lisier de porc

4) Compost +fiente 5) Autres à préciser_____

3.3- Pourquoi utilisez-vous ces amendements /____/

1) Améliorer la fertilité 2) Améliorer la rétention d'eau 3) Évacuer les déchets 4) Autres à préciser_____

3.4- Quelle quantité de fertilisants organiques pouvez-vous utiliser au cours d'une année ? /____/

1) 1000 à 1500 Kg 2) 1500 à 2000 Kg 3) 2000 à 2500 Kg 4) 2500 à 3000 Kg 5) 3000 à 4000 Kg

6) 5000 Kg et plus

3.5- Avez-vous souvent des difficultés à obtenir ces fertilisants organiques ? /____/ 1) Oui 2) Non

3.6- Si oui lesquelles ? /____/ 1) Rareté 2) Coût élevé 3) Transport 4) Autres à préciser /_____ /

3.7- Combien dépensez-vous en moyenne par an pour l'achat des fertilisants organiques ? /____/

1) 10000 FCFA 2) 10000 à 20000 FCFA 3) 20000 à 40000 FCFA 4) 40000 à 50000 FCFA

5) 50000 à 100000 FCFA 6) 100000 FCFA et plus

3.8- Utilisez-vous les engrais chimiques ? /____/ 1) Oui 2) Non

3.9- Si oui lesquels ? /____/ 1) NPK 2) Urée 3) Engrais foliaires 4) Autres à préciser_____

3.10- Quelle quantité d'engrais chimique pouvez-vous utiliser au cours d'une année ? /____/

1) Moins de 25 kg 2) 25 à 50 kg 3) 50 à 75 kg 4) 100 kg 5) plus de 100 kg

3.11- Combien dépensez-vous en moyenne par an pour l'achat des engrais chimiques ? /____/

1) 16500 FCFA 2) 16500 à 33000 FCFA 3) 33 000 à 49500 FCFA 4) 49500 à 66000 FCFA

5) 100000 FCFA et plus

3.12- Avez-vous déjà entendu parler du vermicompostage ? /____/ 1) Oui 2) Non

3.13- Seriez-vous prêts à utiliser du vermicompost dans votre champ ? /____/ 1) Oui 2) Non

3.14- Accepteriez-vous de participer à l'installation d'un dispositif de vermicompostage dans votre champ pour fabriquer du compost ? /____/ 1) Oui 2) Non

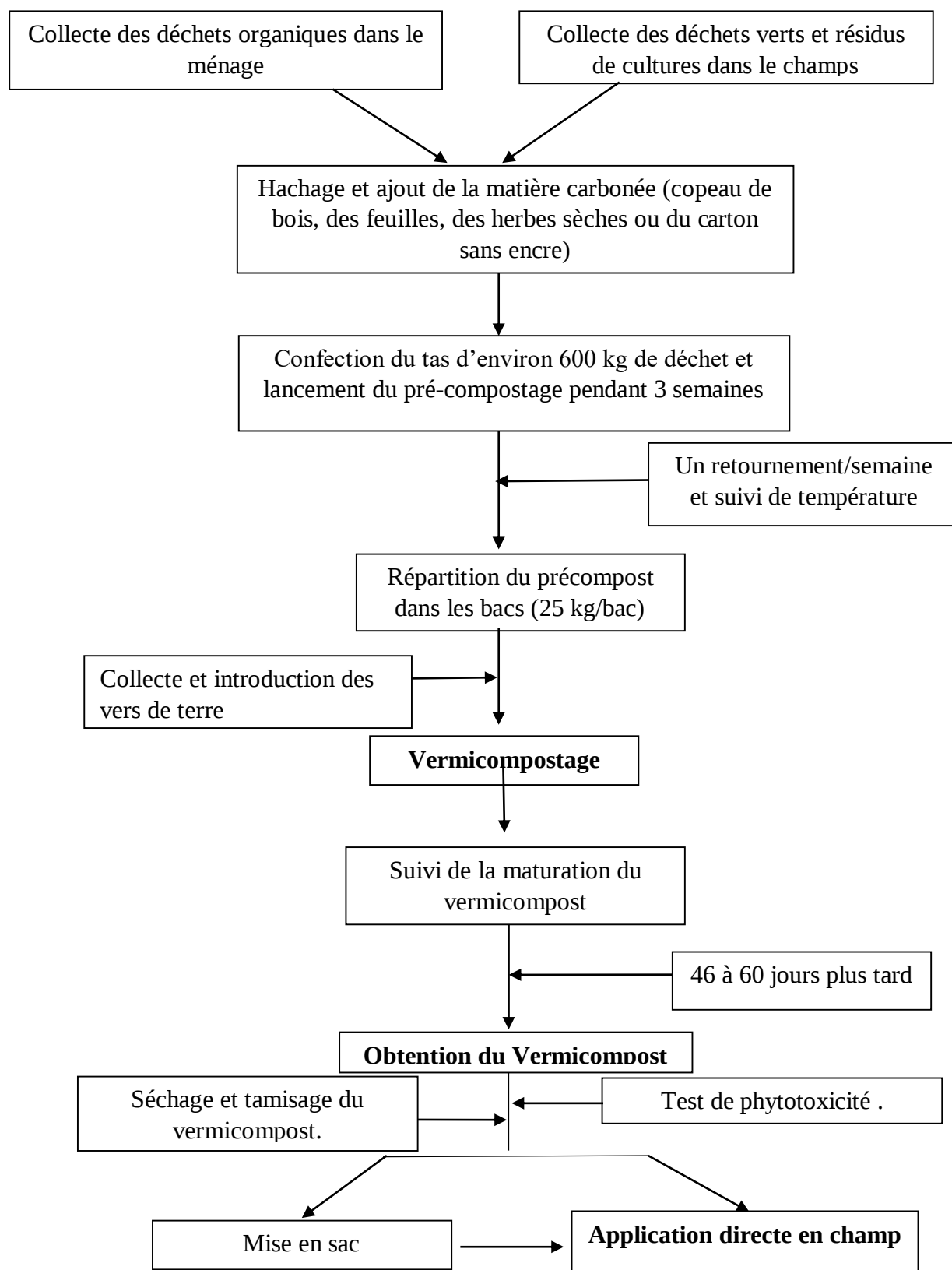
MERCI POUR VOTRE PARTICIPATION

Annexe 2. Quelques images de terrain





Annexe 3. Procédure de vermicompostage



Annexe 3. ANOVA de quelques paramètres

Phosphore <pre>> phop<-aov(Phosphore~Traitements) > summary(phop) Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F) Traitements 12 977.7 81.48 7.993 5.38e-06 *** Residuals 26 265.0 10.19 Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1 > LSD.test(phop, "Traitements", console = T) Study: phop ~ "Traitements" LSD t Test for Phosphore Mean Square Error: 10.19317 Traitements, means and individual (95 %) CI Phosphore std r LCL UCL Min Max T1S2 13.760000 1.96923843 3 9.971060 17.548940 11.49 15.01 T1S2 13.296667 3.62046038 3 9.507727 17.085607 9.15 15.83 T3S2 10.853333 4.43713121 3 7.064393 14.642273 7.94 15.96 PC 4.910000 0.04358899 3 1.121060 8.698940 4.88 4.96 T1S1 6.903333 2.07899816 3 3.114393 10.692273 4.54 8.45 T2S1 5.213333 1.52873586 3 1.424393 9.002273 3.75 6.80 T3S1 12.293333 2.02539708 3 8.504393 16.082273 10.16 14.19 T1S4 19.356667 5.84401688 3 15.567727 23.145607 13.97 25.57 T2S4 21.646667 6.52933636 3 17.857727 25.435607 16.71 29.05 T3S4 11.050000 2.63357172 3 7.261060 14.838940 8.04 12.93 T1S3 6.510000 0.51971146 3 2.721060 10.298940 5.92 6.90 T2S3 9.400000 0.98244593 3 5.611060 13.188940 8.46 10 T3S3 6.740000 0.34394767 3 2.951060 10.528940 6.48 7.13</pre>	Alpha: 0.05 ; DF Error: 26 Critical Value of t: 2.055529 least Significant Difference: 5.358371 Treatments with the same letter are not significantly different. Phosphore groups <pre>T2S4 21.646667 a T1S4 19.356667 a T1S2 13.760000 b T2S2 13.296667 b T3S1 12.293333 b T3S4 11.050000 bc T3S2 10.853333 bc T2S3 9.400000 bcd T1S1 6.903333 cd T3S3 6.740000 cd T1S3 6.510000 cd T2S1 5.213333 d PC 4.910000 d</pre>
Ammonium <pre>> nh4<-aov(NH4~Traitements) > summary(nh4) Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F) Traitements 12 7400710 616726 539.4 <2e-16 *** Residuals 26 29726 1143 --- Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1 > LSD.test(nh4, "Traitements", console = T) Study: nh4 ~ "Traitements" LSD t Test for NH4 Mean Square Error: 1143.308 Traitements, means and individual (95 %) CI NH4 std r LCL UCL Min Max T1S2 663.3333 25.658007 3 623.2056 703.4611 635 685 T2S2 958.3333 25.658007 3 918.2056 998.4611 930 980 T3S2 976.6667 21.501938 3 936.5389 1016.7944 955 998 PC 1705.0000 3.605551 3 1664.8723 1745.1277 1701 1708 T1S1 1116.6667 47.521925 3 1076.5389 1156.7944 1070 1165 T2S1 1276.6667 80.363756 3 1236.5389 1316.7944 1185 1335 T3S1 1384.6667 17.214335 3 1344.5389 1424.7944 1365 1397 T1S4 270.3333 24.006943 3 230.2056 310.4611 243 288 T2S4 311.3333 22.722969 3 271.2056 351.4611 287 332 T3S4 351.6667 23.437861 3 311.5389 391.7944 325 369 T2S3 442.3333 8.736895 3 402.2056 482.4611 435 452 T2S3 575.6667 35.795717 3 535.5389 615.7944 555 617 T3S3 686.6667 32.532035 3 646.5389 726.7944 655 720</pre>	Alpha: 0.05 ; DF Error: 26 Critical Value of t: 2.055529 least Significant Difference: 56.74919 Treatments with the same letter are not significantly different. NH4 groups <pre>PC 1705.0000 a T3S1 1384.6667 b T2S1 1276.6667 c T1S1 1116.6667 d T3S2 976.6667 e T2S2 958.3333 e T3S3 686.6667 f T1S2 663.3333 f T2S3 575.6667 g T2S3 442.3333 h T3S4 351.6667 i T2S4 311.3333 ij T1S4 270.3333 j</pre>

Azote total <pre>> #NTotal > Nto<-aov(Ntotal~Traitements) > summary(Nto) Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F) Traitements 12 2.5572 0.21310 174.9 <2e-16 *** Residuals 26 0.0317 0.00122 ---</pre> Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1 <pre>> LSD.test(Nto, "Traitements", console = T) Study: Nto ~ "Traitements" LSD t Test for Ntotal Mean Square Error: 0.001218256 Traitements, means and individual (95 %) CI</pre> <table><thead><tr><th></th><th>Ntotal</th><th>std</th><th>r</th><th>LCL</th><th>UCL</th><th>Min</th><th>Max</th></tr></thead><tbody><tr><td>T1S2</td><td>0.7733333</td><td>0.025166115</td><td>3</td><td>0.7319112</td><td>0.8147555</td><td>0.750</td><td>0.800</td></tr><tr><td>T2S2</td><td>0.7133333</td><td>0.005773503</td><td>3</td><td>0.6719112</td><td>0.7547555</td><td>0.710</td><td>0.720</td></tr><tr><td>T3S2</td><td>0.7133333</td><td>0.041633320</td><td>3</td><td>0.6719112</td><td>0.7547555</td><td>0.680</td><td>0.760</td></tr><tr><td>PC</td><td>0.4050000</td><td>0.002000000</td><td>3</td><td>0.3635779</td><td>0.4464221</td><td>0.403</td><td>0.407</td></tr><tr><td>T1S1</td><td>0.4866667</td><td>0.032145503</td><td>3</td><td>0.4452445</td><td>0.5280888</td><td>0.450</td><td>0.510</td></tr><tr><td>T2S2</td><td>0.4066667</td><td>0.005773503</td><td>3</td><td>0.3652445</td><td>0.4480888</td><td>0.400</td><td>0.410</td></tr><tr><td>T3S2</td><td>0.5233333</td><td>0.020816660</td><td>3</td><td>0.4819112</td><td>0.5647555</td><td>0.500</td><td>0.540</td></tr><tr><td>T1S4</td><td>1.1933333</td><td>0.015275252</td><td>3</td><td>1.1519112</td><td>1.2347555</td><td>1.180</td><td>1.210</td></tr><tr><td>T2S4</td><td>1.1066667</td><td>0.065064071</td><td>3</td><td>1.0652445</td><td>1.1480888</td><td>1.040</td><td>1.170</td></tr><tr><td>T3S4</td><td>1.1366667</td><td>0.035118846</td><td>3</td><td>1.0952445</td><td>1.1780888</td><td>1.100</td><td>1.170</td></tr><tr><td>T1S3</td><td>0.8600000</td><td>0.052915026</td><td>3</td><td>0.8185779</td><td>0.9014221</td><td>0.800</td><td>0.900</td></tr><tr><td>T2S3</td><td>0.7900000</td><td>0.010000000</td><td>3</td><td>0.7485779</td><td>0.8314221</td><td>0.780</td><td>0.800</td></tr><tr><td>T3S3</td><td>0.8366667</td><td>0.057735027</td><td>3</td><td>0.7952445</td><td>0.8780888</td><td>0.770</td><td>0.870</td></tr></tbody></table>		Ntotal	std	r	LCL	UCL	Min	Max	T1S2	0.7733333	0.025166115	3	0.7319112	0.8147555	0.750	0.800	T2S2	0.7133333	0.005773503	3	0.6719112	0.7547555	0.710	0.720	T3S2	0.7133333	0.041633320	3	0.6719112	0.7547555	0.680	0.760	PC	0.4050000	0.002000000	3	0.3635779	0.4464221	0.403	0.407	T1S1	0.4866667	0.032145503	3	0.4452445	0.5280888	0.450	0.510	T2S2	0.4066667	0.005773503	3	0.3652445	0.4480888	0.400	0.410	T3S2	0.5233333	0.020816660	3	0.4819112	0.5647555	0.500	0.540	T1S4	1.1933333	0.015275252	3	1.1519112	1.2347555	1.180	1.210	T2S4	1.1066667	0.065064071	3	1.0652445	1.1480888	1.040	1.170	T3S4	1.1366667	0.035118846	3	1.0952445	1.1780888	1.100	1.170	T1S3	0.8600000	0.052915026	3	0.8185779	0.9014221	0.800	0.900	T2S3	0.7900000	0.010000000	3	0.7485779	0.8314221	0.780	0.800	T3S3	0.8366667	0.057735027	3	0.7952445	0.8780888	0.770	0.870	Alpha: 0.05 ; DF Error: 26 Critical Value of t: 2.055529 least Significant Difference: 0.05857974 Treatments with the same letter are not significantly different. Ntotal groups <table><tbody><tr><td>T1S4</td><td>1.1933333</td><td>a</td></tr><tr><td>T3S4</td><td>1.1366667</td><td>ab</td></tr><tr><td>T2S4</td><td>1.1066667</td><td>b</td></tr><tr><td>T1S3</td><td>0.8600000</td><td>c</td></tr><tr><td>T3S3</td><td>0.8366667</td><td>cd</td></tr><tr><td>T2S3</td><td>0.7900000</td><td>de</td></tr><tr><td>T1S2</td><td>0.7733333</td><td>e</td></tr><tr><td>T3S3</td><td>0.7133333</td><td>f</td></tr><tr><td>T2S3</td><td>0.7133333</td><td>f</td></tr><tr><td>T3S1</td><td>0.5233333</td><td>g</td></tr><tr><td>T1S1</td><td>0.4866667</td><td>g</td></tr><tr><td>T2S1</td><td>0.4066667</td><td>h</td></tr><tr><td>PC</td><td>0.4050000</td><td>h</td></tr></tbody></table>	T1S4	1.1933333	a	T3S4	1.1366667	ab	T2S4	1.1066667	b	T1S3	0.8600000	c	T3S3	0.8366667	cd	T2S3	0.7900000	de	T1S2	0.7733333	e	T3S3	0.7133333	f	T2S3	0.7133333	f	T3S1	0.5233333	g	T1S1	0.4866667	g	T2S1	0.4066667	h	PC	0.4050000	h
	Ntotal	std	r	LCL	UCL	Min	Max																																																																																																																																																	
T1S2	0.7733333	0.025166115	3	0.7319112	0.8147555	0.750	0.800																																																																																																																																																	
T2S2	0.7133333	0.005773503	3	0.6719112	0.7547555	0.710	0.720																																																																																																																																																	
T3S2	0.7133333	0.041633320	3	0.6719112	0.7547555	0.680	0.760																																																																																																																																																	
PC	0.4050000	0.002000000	3	0.3635779	0.4464221	0.403	0.407																																																																																																																																																	
T1S1	0.4866667	0.032145503	3	0.4452445	0.5280888	0.450	0.510																																																																																																																																																	
T2S2	0.4066667	0.005773503	3	0.3652445	0.4480888	0.400	0.410																																																																																																																																																	
T3S2	0.5233333	0.020816660	3	0.4819112	0.5647555	0.500	0.540																																																																																																																																																	
T1S4	1.1933333	0.015275252	3	1.1519112	1.2347555	1.180	1.210																																																																																																																																																	
T2S4	1.1066667	0.065064071	3	1.0652445	1.1480888	1.040	1.170																																																																																																																																																	
T3S4	1.1366667	0.035118846	3	1.0952445	1.1780888	1.100	1.170																																																																																																																																																	
T1S3	0.8600000	0.052915026	3	0.8185779	0.9014221	0.800	0.900																																																																																																																																																	
T2S3	0.7900000	0.010000000	3	0.7485779	0.8314221	0.780	0.800																																																																																																																																																	
T3S3	0.8366667	0.057735027	3	0.7952445	0.8780888	0.770	0.870																																																																																																																																																	
T1S4	1.1933333	a																																																																																																																																																						
T3S4	1.1366667	ab																																																																																																																																																						
T2S4	1.1066667	b																																																																																																																																																						
T1S3	0.8600000	c																																																																																																																																																						
T3S3	0.8366667	cd																																																																																																																																																						
T2S3	0.7900000	de																																																																																																																																																						
T1S2	0.7733333	e																																																																																																																																																						
T3S3	0.7133333	f																																																																																																																																																						
T2S3	0.7133333	f																																																																																																																																																						
T3S1	0.5233333	g																																																																																																																																																						
T1S1	0.4866667	g																																																																																																																																																						
T2S1	0.4066667	h																																																																																																																																																						
PC	0.4050000	h																																																																																																																																																						

Conductivité électrique > summary(cee) Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F) Traitements 12 593580 49465 37.62 2.45e-13 *** Residuals 26 34190 1315 Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1 > LSD.test(cee, "Traitements", console = T) Study: cee ~ "Traitements" LSD t Test for CE Mean Square Error: 1315 Traitements, means and individual (95 %) CI <table><thead><tr><th></th><th>CE</th><th>std</th><th>r</th><th>LCL</th><th>UCL</th><th>Min</th><th>Max</th></tr></thead><tbody><tr><td>T1S2</td><td>829.0000</td><td>17.776389</td><td>3</td><td>785.9646</td><td>872.0354</td><td>815</td><td>849</td></tr><tr><td>T2S2</td><td>892.3333</td><td>26.312228</td><td>3</td><td>849.2979</td><td>935.3687</td><td>864</td><td>916</td></tr><tr><td>T3S2</td><td>849.3333</td><td>20.256686</td><td>3</td><td>806.2979</td><td>892.3687</td><td>833</td><td>872</td></tr><tr><td>PC</td><td>805.0000</td><td>2.000000</td><td>3</td><td>761.9646</td><td>848.0354</td><td>803</td><td>807</td></tr><tr><td>T1S1</td><td>808.6667</td><td>2.516611</td><td>3</td><td>765.6313</td><td>851.7021</td><td>806</td><td>811</td></tr><tr><td>T2S1</td><td>628.0000</td><td>26.057628</td><td>3</td><td>584.9646</td><td>671.0354</td><td>603</td><td>655</td></tr><tr><td>T3S1</td><td>649.0000</td><td>18.027756</td><td>3</td><td>605.9646</td><td>692.0354</td><td>634</td><td>669</td></tr><tr><td>T1S4</td><td>916.0000</td><td>49.122296</td><td>3</td><td>872.9646</td><td>959.0354</td><td>872</td><td>969</td></tr><tr><td>T2S4</td><td>1071.6667</td><td>31.817186</td><td>3</td><td>1028.6313</td><td>1114.7021</td><td>1035</td><td>1092</td></tr><tr><td>T3S4</td><td>995.0000</td><td>90.702811</td><td>3</td><td>951.9646</td><td>1038.0354</td><td>901</td><td>1082</td></tr><tr><td>T1S3</td><td>815.6667</td><td>3.055050</td><td>3</td><td>772.6313</td><td>858.7021</td><td>813</td><td>819</td></tr><tr><td>T2S3</td><td>966.3333</td><td>50.639247</td><td>3</td><td>923.2979</td><td>1009.3687</td><td>918</td><td>1019</td></tr><tr><td>T3S3</td><td>971.0000</td><td>20.880613</td><td>3</td><td>927.9646</td><td>1014.0354</td><td>957</td><td>995</td></tr></tbody></table>		CE	std	r	LCL	UCL	Min	Max	T1S2	829.0000	17.776389	3	785.9646	872.0354	815	849	T2S2	892.3333	26.312228	3	849.2979	935.3687	864	916	T3S2	849.3333	20.256686	3	806.2979	892.3687	833	872	PC	805.0000	2.000000	3	761.9646	848.0354	803	807	T1S1	808.6667	2.516611	3	765.6313	851.7021	806	811	T2S1	628.0000	26.057628	3	584.9646	671.0354	603	655	T3S1	649.0000	18.027756	3	605.9646	692.0354	634	669	T1S4	916.0000	49.122296	3	872.9646	959.0354	872	969	T2S4	1071.6667	31.817186	3	1028.6313	1114.7021	1035	1092	T3S4	995.0000	90.702811	3	951.9646	1038.0354	901	1082	T1S3	815.6667	3.055050	3	772.6313	858.7021	813	819	T2S3	966.3333	50.639247	3	923.2979	1009.3687	918	1019	T3S3	971.0000	20.880613	3	927.9646	1014.0354	957	995	Alpha: 0.05 ; DF Error: 26 Critical Value of t: 2.055529 least Significant Difference: 60.86126 Treatments with the same letter are not significantly different. CE groups <table><tbody><tr><td>T2S4</td><td>1071.6667</td><td>a</td></tr><tr><td>T3S4</td><td>995.0000</td><td>b</td></tr><tr><td>T3S3</td><td>971.0000</td><td>bc</td></tr><tr><td>T2S3</td><td>966.3333</td><td>bc</td></tr><tr><td>T1S4</td><td>916.0000</td><td>cd</td></tr><tr><td>T2S2</td><td>892.3333</td><td>de</td></tr><tr><td>T3S2</td><td>849.3333</td><td>ef</td></tr><tr><td>T1S2</td><td>829.0000</td><td>f</td></tr><tr><td>T1S3</td><td>815.6667</td><td>f</td></tr><tr><td>T1S1</td><td>808.6667</td><td>f</td></tr><tr><td>PC</td><td>805.0000</td><td>f</td></tr><tr><td>T3S1</td><td>649.0000</td><td>g</td></tr><tr><td>T2S1</td><td>628.0000</td><td>g</td></tr></tbody></table>	T2S4	1071.6667	a	T3S4	995.0000	b	T3S3	971.0000	bc	T2S3	966.3333	bc	T1S4	916.0000	cd	T2S2	892.3333	de	T3S2	849.3333	ef	T1S2	829.0000	f	T1S3	815.6667	f	T1S1	808.6667	f	PC	805.0000	f	T3S1	649.0000	g	T2S1	628.0000	g
	CE	std	r	LCL	UCL	Min	Max																																																																																																																																																	
T1S2	829.0000	17.776389	3	785.9646	872.0354	815	849																																																																																																																																																	
T2S2	892.3333	26.312228	3	849.2979	935.3687	864	916																																																																																																																																																	
T3S2	849.3333	20.256686	3	806.2979	892.3687	833	872																																																																																																																																																	
PC	805.0000	2.000000	3	761.9646	848.0354	803	807																																																																																																																																																	
T1S1	808.6667	2.516611	3	765.6313	851.7021	806	811																																																																																																																																																	
T2S1	628.0000	26.057628	3	584.9646	671.0354	603	655																																																																																																																																																	
T3S1	649.0000	18.027756	3	605.9646	692.0354	634	669																																																																																																																																																	
T1S4	916.0000	49.122296	3	872.9646	959.0354	872	969																																																																																																																																																	
T2S4	1071.6667	31.817186	3	1028.6313	1114.7021	1035	1092																																																																																																																																																	
T3S4	995.0000	90.702811	3	951.9646	1038.0354	901	1082																																																																																																																																																	
T1S3	815.6667	3.055050	3	772.6313	858.7021	813	819																																																																																																																																																	
T2S3	966.3333	50.639247	3	923.2979	1009.3687	918	1019																																																																																																																																																	
T3S3	971.0000	20.880613	3	927.9646	1014.0354	957	995																																																																																																																																																	
T2S4	1071.6667	a																																																																																																																																																						
T3S4	995.0000	b																																																																																																																																																						
T3S3	971.0000	bc																																																																																																																																																						
T2S3	966.3333	bc																																																																																																																																																						
T1S4	916.0000	cd																																																																																																																																																						
T2S2	892.3333	de																																																																																																																																																						
T3S2	849.3333	ef																																																																																																																																																						
T1S2	829.0000	f																																																																																																																																																						
T1S3	815.6667	f																																																																																																																																																						
T1S1	808.6667	f																																																																																																																																																						
PC	805.0000	f																																																																																																																																																						
T3S1	649.0000	g																																																																																																																																																						
T2S1	628.0000	g																																																																																																																																																						

Matière organique totale <pre>> mote<-aov(MOT~Traitements) > summary(mote) Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F) Traitements 12 500.5 41.71 22.63 9.7e-11 *** Residuals 26 47.9 1.84 ---</pre> Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1 <pre>> LSD.test(mote, "Traitements", console = T) Study: mote ~ "Traitements" LSD t Test for MOT Mean Square Error: 1.842951 Traitements, means and individual (95 %) CI</pre> <table><thead><tr><th></th><th>MOT</th><th>std</th><th>r</th><th>LCL</th><th>UCL</th><th>Min</th><th>Max</th></tr></thead><tbody><tr><td>T1S2</td><td>33.06667</td><td>0.83116384</td><td>3</td><td>31.45558</td><td>34.67776</td><td>32.30</td><td>33.95</td></tr><tr><td>T2S2</td><td>30.59667</td><td>0.49074773</td><td>3</td><td>28.98558</td><td>32.20776</td><td>30.03</td><td>30.88</td></tr><tr><td>T3S2</td><td>32.01000</td><td>1.63789499</td><td>3</td><td>30.39891</td><td>33.62109</td><td>30.83</td><td>33.88</td></tr><tr><td>PC</td><td>38.28000</td><td>0.07937254</td><td>3</td><td>36.66891</td><td>39.89109</td><td>38.22</td><td>38.37</td></tr><tr><td>T1S1</td><td>33.50667</td><td>1.58001055</td><td>3</td><td>31.89558</td><td>35.11776</td><td>31.93</td><td>35.09</td></tr><tr><td>T2S1</td><td>31.69667</td><td>1.31127165</td><td>3</td><td>30.08558</td><td>33.30776</td><td>30.42</td><td>33.04</td></tr><tr><td>T3S1</td><td>34.42000</td><td>2.71611855</td><td>3</td><td>32.80891</td><td>36.03109</td><td>32.41</td><td>37.51</td></tr><tr><td>T1S4</td><td>26.36000</td><td>1.07763630</td><td>3</td><td>24.74891</td><td>27.97109</td><td>25.45</td><td>27.55</td></tr><tr><td>T2S4</td><td>25.82667</td><td>1.26749096</td><td>3</td><td>24.21558</td><td>27.43776</td><td>24.42</td><td>26.88</td></tr><tr><td>T3S4</td><td>27.19000</td><td>1.15112988</td><td>3</td><td>25.57891</td><td>28.80109</td><td>26.30</td><td>28.49</td></tr><tr><td>T1S3</td><td>28.19667</td><td>1.20176259</td><td>3</td><td>26.58558</td><td>29.80776</td><td>26.85</td><td>29.16</td></tr><tr><td>T2S3</td><td>26.90667</td><td>1.46073041</td><td>3</td><td>25.29558</td><td>28.51776</td><td>25.22</td><td>27.76</td></tr><tr><td>T3S3</td><td>28.64333</td><td>1.03616279</td><td>3</td><td>27.03224</td><td>30.25442</td><td>27.58</td><td>29.65</td></tr></tbody></table>		MOT	std	r	LCL	UCL	Min	Max	T1S2	33.06667	0.83116384	3	31.45558	34.67776	32.30	33.95	T2S2	30.59667	0.49074773	3	28.98558	32.20776	30.03	30.88	T3S2	32.01000	1.63789499	3	30.39891	33.62109	30.83	33.88	PC	38.28000	0.07937254	3	36.66891	39.89109	38.22	38.37	T1S1	33.50667	1.58001055	3	31.89558	35.11776	31.93	35.09	T2S1	31.69667	1.31127165	3	30.08558	33.30776	30.42	33.04	T3S1	34.42000	2.71611855	3	32.80891	36.03109	32.41	37.51	T1S4	26.36000	1.07763630	3	24.74891	27.97109	25.45	27.55	T2S4	25.82667	1.26749096	3	24.21558	27.43776	24.42	26.88	T3S4	27.19000	1.15112988	3	25.57891	28.80109	26.30	28.49	T1S3	28.19667	1.20176259	3	26.58558	29.80776	26.85	29.16	T2S3	26.90667	1.46073041	3	25.29558	28.51776	25.22	27.76	T3S3	28.64333	1.03616279	3	27.03224	30.25442	27.58	29.65	Alpha: 0.05 ; DF Error: 26 Critical Value of t: 2.055529 least Significant Difference: 2.278426 Treatments with the same letter are not significantly different. MOT groups <table><tbody><tr><td>PC</td><td>38.28000</td><td>a</td></tr><tr><td>T3S1</td><td>34.42000</td><td>b</td></tr><tr><td>T1S1</td><td>33.50667</td><td>bc</td></tr><tr><td>T1S2</td><td>33.06667</td><td>bc</td></tr><tr><td>T3S2</td><td>32.01000</td><td>cd</td></tr><tr><td>T2S1</td><td>31.69667</td><td>cd</td></tr><tr><td>T2S2</td><td>30.59667</td><td>de</td></tr><tr><td>T3S3</td><td>28.64333</td><td>ef</td></tr><tr><td>T1S3</td><td>28.19667</td><td>fg</td></tr><tr><td>T3S4</td><td>27.19000</td><td>fgh</td></tr><tr><td>T2S3</td><td>26.90667</td><td>fgh</td></tr><tr><td>T1S4</td><td>26.36000</td><td>gh</td></tr><tr><td>T2S4</td><td>25.82667</td><td>h</td></tr></tbody></table>	PC	38.28000	a	T3S1	34.42000	b	T1S1	33.50667	bc	T1S2	33.06667	bc	T3S2	32.01000	cd	T2S1	31.69667	cd	T2S2	30.59667	de	T3S3	28.64333	ef	T1S3	28.19667	fg	T3S4	27.19000	fgh	T2S3	26.90667	fgh	T1S4	26.36000	gh	T2S4	25.82667	h
	MOT	std	r	LCL	UCL	Min	Max																																																																																																																																																	
T1S2	33.06667	0.83116384	3	31.45558	34.67776	32.30	33.95																																																																																																																																																	
T2S2	30.59667	0.49074773	3	28.98558	32.20776	30.03	30.88																																																																																																																																																	
T3S2	32.01000	1.63789499	3	30.39891	33.62109	30.83	33.88																																																																																																																																																	
PC	38.28000	0.07937254	3	36.66891	39.89109	38.22	38.37																																																																																																																																																	
T1S1	33.50667	1.58001055	3	31.89558	35.11776	31.93	35.09																																																																																																																																																	
T2S1	31.69667	1.31127165	3	30.08558	33.30776	30.42	33.04																																																																																																																																																	
T3S1	34.42000	2.71611855	3	32.80891	36.03109	32.41	37.51																																																																																																																																																	
T1S4	26.36000	1.07763630	3	24.74891	27.97109	25.45	27.55																																																																																																																																																	
T2S4	25.82667	1.26749096	3	24.21558	27.43776	24.42	26.88																																																																																																																																																	
T3S4	27.19000	1.15112988	3	25.57891	28.80109	26.30	28.49																																																																																																																																																	
T1S3	28.19667	1.20176259	3	26.58558	29.80776	26.85	29.16																																																																																																																																																	
T2S3	26.90667	1.46073041	3	25.29558	28.51776	25.22	27.76																																																																																																																																																	
T3S3	28.64333	1.03616279	3	27.03224	30.25442	27.58	29.65																																																																																																																																																	
PC	38.28000	a																																																																																																																																																						
T3S1	34.42000	b																																																																																																																																																						
T1S1	33.50667	bc																																																																																																																																																						
T1S2	33.06667	bc																																																																																																																																																						
T3S2	32.01000	cd																																																																																																																																																						
T2S1	31.69667	cd																																																																																																																																																						
T2S2	30.59667	de																																																																																																																																																						
T3S3	28.64333	ef																																																																																																																																																						
T1S3	28.19667	fg																																																																																																																																																						
T3S4	27.19000	fgh																																																																																																																																																						
T2S3	26.90667	fgh																																																																																																																																																						
T1S4	26.36000	gh																																																																																																																																																						
T2S4	25.82667	h																																																																																																																																																						

Teneur en eau <pre>> #TE > tee<-aov(TE~Traitements) > summary(tee) Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F) Traitements 12 534.6 44.55 15.36 7.33e-09 *** Residuals 26 75.4 2.90 ---</pre> Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1 <pre>> LSD.test(tee, "Traitements", console = T) Study: tee ~ "Traitements" LSD t Test for TE Mean Square Error: 2.900077 Traitements, means and individual (95 %) CI</pre> <table><thead><tr><th></th><th>TE</th><th>std</th><th>r</th><th>LCL</th><th>UCL</th><th>Min</th><th>Max</th></tr></thead><tbody><tr><td>T1S2</td><td>56.53000</td><td>2.2751483</td><td>3</td><td>54.50899</td><td>58.55101</td><td>54.27</td><td>58.82</td></tr><tr><td>T2S2</td><td>57.05667</td><td>1.4360478</td><td>3</td><td>55.03566</td><td>59.07767</td><td>55.59</td><td>58.46</td></tr><tr><td>T3S3</td><td>58.30000</td><td>0.9482088</td><td>3</td><td>56.27899</td><td>60.32101</td><td>57.40</td><td>59.29</td></tr><tr><td>PC</td><td>66.99667</td><td>0.8602519</td><td>3</td><td>64.97566</td><td>69.01767</td><td>66.50</td><td>67.99</td></tr><tr><td>T1S1</td><td>53.78000</td><td>2.1311265</td><td>3</td><td>51.75899</td><td>55.80101</td><td>51.69</td><td>55.95</td></tr><tr><td>T2S1</td><td>54.64000</td><td>1.5539305</td><td>3</td><td>52.61899</td><td>56.66101</td><td>52.87</td><td>55.78</td></tr><tr><td>T3S1</td><td>56.58333</td><td>2.4355971</td><td>3</td><td>54.56233</td><td>58.60434</td><td>53.97</td><td>58.79</td></tr><tr><td>T1S4</td><td>50.99000</td><td>1.3380583</td><td>3</td><td>48.96899</td><td>53.01101</td><td>49.99</td><td>52.51</td></tr><tr><td>T2S4</td><td>53.06333</td><td>1.5282125</td><td>3</td><td>51.04233</td><td>55.08434</td><td>51.37</td><td>54.34</td></tr><tr><td>T3S3</td><td>54.32000</td><td>1.2374571</td><td>3</td><td>52.29899</td><td>56.34101</td><td>53.04</td><td>55.51</td></tr><tr><td>T1S3</td><td>54.92000</td><td>1.1926441</td><td>3</td><td>52.89899</td><td>56.94101</td><td>53.92</td><td>56.24</td></tr><tr><td>T2S3</td><td>57.24667</td><td>2.4566305</td><td>3</td><td>55.22566</td><td>59.26767</td><td>55.31</td><td>60.01</td></tr><tr><td>T3S3</td><td>58.45667</td><td>1.6793550</td><td>3</td><td>56.43566</td><td>60.47767</td><td>56.54</td><td>59.67</td></tr></tbody></table>		TE	std	r	LCL	UCL	Min	Max	T1S2	56.53000	2.2751483	3	54.50899	58.55101	54.27	58.82	T2S2	57.05667	1.4360478	3	55.03566	59.07767	55.59	58.46	T3S3	58.30000	0.9482088	3	56.27899	60.32101	57.40	59.29	PC	66.99667	0.8602519	3	64.97566	69.01767	66.50	67.99	T1S1	53.78000	2.1311265	3	51.75899	55.80101	51.69	55.95	T2S1	54.64000	1.5539305	3	52.61899	56.66101	52.87	55.78	T3S1	56.58333	2.4355971	3	54.56233	58.60434	53.97	58.79	T1S4	50.99000	1.3380583	3	48.96899	53.01101	49.99	52.51	T2S4	53.06333	1.5282125	3	51.04233	55.08434	51.37	54.34	T3S3	54.32000	1.2374571	3	52.29899	56.34101	53.04	55.51	T1S3	54.92000	1.1926441	3	52.89899	56.94101	53.92	56.24	T2S3	57.24667	2.4566305	3	55.22566	59.26767	55.31	60.01	T3S3	58.45667	1.6793550	3	56.43566	60.47767	56.54	59.67	Alpha: 0.05 ; DF Error: 26 Critical Value of t: 2.055529 least Significant Difference: 2.858136 Treatments with the same letter are not significantly different. TE groups <table><tbody><tr><td>PC</td><td>66.99667</td><td>a</td></tr><tr><td>T3S3</td><td>58.45667</td><td>b</td></tr><tr><td>T3S2</td><td>58.30000</td><td>b</td></tr><tr><td>T2S3</td><td>57.24667</td><td>bc</td></tr><tr><td>T2S2</td><td>57.05667</td><td>bcd</td></tr><tr><td>T3S1</td><td>56.58333</td><td>bcde</td></tr><tr><td>T1S2</td><td>56.53000</td><td>bcde</td></tr><tr><td>T1S3</td><td>54.92000</td><td>cdef</td></tr><tr><td>T2S1</td><td>54.64000</td><td>cdef</td></tr><tr><td>T3S4</td><td>54.32000</td><td>def</td></tr><tr><td>T1S1</td><td>53.78000</td><td>efg</td></tr><tr><td>T2S4</td><td>53.06333</td><td>fg</td></tr><tr><td>T1S4</td><td>50.99000</td><td>g</td></tr></tbody></table>	PC	66.99667	a	T3S3	58.45667	b	T3S2	58.30000	b	T2S3	57.24667	bc	T2S2	57.05667	bcd	T3S1	56.58333	bcde	T1S2	56.53000	bcde	T1S3	54.92000	cdef	T2S1	54.64000	cdef	T3S4	54.32000	def	T1S1	53.78000	efg	T2S4	53.06333	fg	T1S4	50.99000	g
	TE	std	r	LCL	UCL	Min	Max																																																																																																																																																	
T1S2	56.53000	2.2751483	3	54.50899	58.55101	54.27	58.82																																																																																																																																																	
T2S2	57.05667	1.4360478	3	55.03566	59.07767	55.59	58.46																																																																																																																																																	
T3S3	58.30000	0.9482088	3	56.27899	60.32101	57.40	59.29																																																																																																																																																	
PC	66.99667	0.8602519	3	64.97566	69.01767	66.50	67.99																																																																																																																																																	
T1S1	53.78000	2.1311265	3	51.75899	55.80101	51.69	55.95																																																																																																																																																	
T2S1	54.64000	1.5539305	3	52.61899	56.66101	52.87	55.78																																																																																																																																																	
T3S1	56.58333	2.4355971	3	54.56233	58.60434	53.97	58.79																																																																																																																																																	
T1S4	50.99000	1.3380583	3	48.96899	53.01101	49.99	52.51																																																																																																																																																	
T2S4	53.06333	1.5282125	3	51.04233	55.08434	51.37	54.34																																																																																																																																																	
T3S3	54.32000	1.2374571	3	52.29899	56.34101	53.04	55.51																																																																																																																																																	
T1S3	54.92000	1.1926441	3	52.89899	56.94101	53.92	56.24																																																																																																																																																	
T2S3	57.24667	2.4566305	3	55.22566	59.26767	55.31	60.01																																																																																																																																																	
T3S3	58.45667	1.6793550	3	56.43566	60.47767	56.54	59.67																																																																																																																																																	
PC	66.99667	a																																																																																																																																																						
T3S3	58.45667	b																																																																																																																																																						
T3S2	58.30000	b																																																																																																																																																						
T2S3	57.24667	bc																																																																																																																																																						
T2S2	57.05667	bcd																																																																																																																																																						
T3S1	56.58333	bcde																																																																																																																																																						
T1S2	56.53000	bcde																																																																																																																																																						
T1S3	54.92000	cdef																																																																																																																																																						
T2S1	54.64000	cdef																																																																																																																																																						
T3S4	54.32000	def																																																																																																																																																						
T1S1	53.78000	efg																																																																																																																																																						
T2S4	53.06333	fg																																																																																																																																																						
T1S4	50.99000	g																																																																																																																																																						