

**Etude de l'efficacité des bokashis, du compost et de la solution de
biopesticide promus par le centre Songhaï pour améliorer la production de
la laitue et de l'amarante au Sud du Bénin.**

AYIDEGO CREPIN EBED HOUENOU

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

ANNÉE ACADÉMIQUE 2018-2019

(CO)-PROMOTEUR: GUY MERGEAI

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

La réalisation de ce travail n'a été possible que grâce au concours de personnes qui n'ont ménagé aucun effort pour son aboutissement. Nous présentons nos sincères remerciements :

A Dieu tout puissant, l'Eternel des armées, en qui nous avons mis toute notre confiance.

Nous remercions l'ARES pour sa contribution financière à notre formation en Belgique.

A notre promoteur, Prof. Guy MERGEAI (Faculté Agro-Bio Tech; Université de Liège) qui a accepté de m'encadrer en dépit de ses occupations. Merci pour son entière disponibilité.

A tous les enseignants de Gembloux Agro-Bio Tech (Université de Liège) spécialement ceux du Master de spécialisation en PPRN.

A nos encadreurs, Prof. Gustave DAGBENONBAKIN et Dr Ir. Tatiana KOURA pour leurs touches apportées au document.

Au personnel de l'ONG-IAPEDEL, qui n'a ménagé aucun effort pour nous octroyer une partie de leur potager pour l'expérimentation.

A tous ceux qui nous ont soutenus ou participé à cette étude.

Nous remercions tous les membres du jury pour l'amélioration de ce travail à travers leurs critiques et suggestions.

Enfin, nous remercions les membres de notre famille pour le soutien et l'encouragement.

Table des matières

Remerciements	ii
Table des matières	iii
Résumé	iv
Abstract	v
Liste des sigles et Abréviations	vi
Liste des tableaux	vii
Liste des Figures.....	viii
Introduction	1
1.1. Objectifs de recherche	2
2. Revue bibliographique	3
2.1. Agroécologie et principes	3
2.2. Matière organique du sol (MOS).....	4
2.3. Biopesticides.....	16
2.4. Cultures maraîchères	17
3. Mise en situation du contexte expérimental.....	19
3.1. Matériels	19
3.2. Méthodologies	26
3.3. Paramètres mesurés et données collectées.....	33
3.4. Méthodes de collecte des données des paramètres de croissance	34
3.5. Rendement poids frais	35
3.6. Données sur les maladies et attaques foliaires.....	36
3.7. Analyse économique.....	38
3.8. Analyse Statistique	38
4. Résultats	39
4.1. Résultats des analyses physico-chimiques du sol et des amendements.....	39
4.2. Evaluation de l'effet des bokashis, du compost et de la solution de biopesticide promu par le centre Songhaï sur la production de l'amarante et l'incidence de ses bioagresseurs .	40
4.3. Evaluation de l'effet des bokashis, du compost et de la solution de biopesticide promu par le centre Songhaï sur la production de la laitue et ses bioagresseurs	53
4.4. Analyse économique des différents traitements sur la production de la laitue et de l'amarante	67
5. Discussion	69
Conclusion et recommandations	74
Références Bibliographiques.....	76
ANNEXE 1 :	a

Résumé

Dans le Sud-Bénin, la baisse de fertilité des sols, les pertes causées par les bioagresseurs et le coût élevé des produits chimiques, ainsi que les dangers liés à leur mauvaise utilisation amènent certains centres agroécologiques à rechercher des alternatives pour une production durable. Dans ce contexte, notre objectif était d'étudier l'efficacité des bokashis (Bs et Bf), du compost (Co) et de la solution de biopesticide (EM₅) promus par le centre Songhaï pour améliorer la production de laitue et d'amarante. Le dispositif expérimental mis en place était un split-plot avec 12 traitements répétés trois fois. Le facteur principal est le type de fertilisant utilisé (Bs, Bf et Co) à la dose de 20t/ha et le couple « application d'amendement - fréquence d'application du biopesticide » comme facteur secondaire (T0=aucun amendement-aucun biopesticide, T1=amendement seul, T2=amendement+1traitement biopesticide/semaine et T3=amendement+2traitements biopesticide/semaine). Des différences très hautement significatives ($p<0,001$) ont été mises en évidence entre les traitements appliqués pour tous les paramètres de croissance et le rendement de l'amarante et de la laitue. Les deux bokashis testés ont permis d'améliorer significativement ($p<0,01$) la production des deux cultures par rapport au témoin ne recevant aucun amendement alors que l'application du compost commercialisé par Songhaï ne s'est pas traduite par une amélioration significative des rendements. Les meilleurs résultats en termes de production de biomasse d'amarante sont obtenus pour les traitements combinant l'apport de bokashi avec une ou deux pulvérisations de biopesticide par semaine selon le bokashi utilisé. L'application de biopesticide n'a cependant pas induit une augmentation significative de la production par rapport à l'application des bokashis seuls. Il en va de même pour la production de biomasse de laitue. Une ou deux pulvérisations de biopesticide par semaine ne permettent pas d'augmenter significativement le rendement en laitue par rapport à l'application de bokashi seul. L'application de biopesticide réduit significativement le taux de mortalité ($P<0,05$). Elle ne permet cependant pas de contrôler les attaques de cercosporiose chez la laitue. Seuls les témoins sans intrant (CoT0, BsT0 et BfT0), le bokashi Bf seul (BfT1) et avec un traitement biopesticide par semaine (BfT2), et le bokashi Bs seul (BfT1) génèrent une VAB positive. Tous les autres traitements se traduisent par des pertes. Aucun des traitements comparés ne génère une rémunération du travail nécessaire à leur application équivalente à celle du salaire minimum journalier du secteur informel (965 FCFA/h.j – 1,47 EUR/h.j). L'application des biopesticides testés n'est pas rentable financièrement. Elle induit systématiquement une baisse de la VAB générée par l'apport d'un amendement. Il en va de même pour l'application du compost qui induit des pertes financières de 564 FCFA/are pour la production d'amarante et de 685 FCFA/are pour la production de laitue quand il est appliqué seul. La meilleure valeur ajoutée brute générée par journée de travail s'élève à 561 FCFA/h.j (0,86 EUR/h.j). Elle est obtenue pour la production de laitue avec application de Bokashi à base de fumier de poule (Bf). Des investigations complémentaires sont nécessaires pour améliorer la rentabilité de tous les traitements testés. Songhaï doit améliorer son processus de production de compost pour augmenter la teneur en matière organique de celui-ci et sa valeur fertilisante.

Mots clés : bokashis, compost, biopesticide, amarante, laitue.

Study of the effectiveness of bokashis, compost and biopesticide solution promoted by the Songhai Center to improve the production of lettuce and amaranth in southern Benin.

Abstract

In southern Benin, the decline in soil fertility, the losses caused by pests and the high cost of chemicals, as well as the dangers associated with their misuse, are leading some agro-ecological centers to seek alternatives for sustainable production. In this context, our goal was to investigate the efficacy of bokashis (Bs and Bf), compost (Co) and biopesticide solution (EM₅) promoted by the Songhai Center to improve lettuce and amaranth production. The experimental setup put in place was a split-plot with 12 treatments repeated three times. The main factor is the type of fertilizer used (Bs, Bf and Co) at a rate of 20t / ha and the pair "amendment application - biopesticide application frequency" as a secondary factor (T0 = no amendment-no biopesticide, T1 = single amendment, T2 = amendment + 1 biopesticide treatment / week and T3 = amendment + 2 biopesticide treatments / week). Very highly significant differences ($p < 0.001$) were found between the treatments applied for all growth parameters and the yield of amaranth and lettuce. The two tested bokashis significantly improved ($p < 0.01$) the production of both crops compared to the control receiving no amendment whereas the application of the compost marketed by Songhai did not result in a significant improvement of yields. The best results in terms of biomass production of amaranth are obtained for treatments combining the intake of bokashi with one or two biopesticide sprays per week depending on the bokashi used. The application of biopesticide, however, did not induce a significant increase in production compared to the application of bokashi alone. The same is true for the production of lettuce biomass. One or two biopesticide sprays per week do not significantly increase the lettuce yield compared to the application of bokashi alone. The application of biopesticide significantly reduced the mortality rate ($P < 0.05$). However, it does not control *Cercospora* attacks in lettuce. Only controls without inputs (CoT0, BsT0 and BfT0), bokashi Bf alone (BfT1) and with biopesticide treatment per week (BfT2), and bokashi Bs alone (BfT1) generate a positive gross value added. All other treatments result in losses. None of the compared treatments generates a remuneration of the work necessary for their application equivalent to that of the daily minimum wage of the informal sector (965 FCFA / h.j -1,47 EUR / h.j). The application of the biopesticides tested is not financially profitable. It systematically induces a decrease in the GVA generated by the introduction of an amendment. The same goes for the application of compost, which induces financial losses of 564 FCFA / are for the production of amaranth and 685 FCFA / are for the production of lettuce when it is applied alone. The best gross value added generated per working day is 561 FCFA / h.j (0.86 EUR / h.j). It is obtained for the production of lettuce with application of bokashi based on chicken manure (Bf). Further investigations are needed to improve the cost-effectiveness of all treatments tested. Songhai needs to improve its compost production process to increase the organic matter content of the compost and its fertilizing value.

Key words: bokashis, compost, biopesticide, amaranth, lettuce.

Liste des sigles et Abréviations

ADG	:	Aide au Développement Gembloux (ONG)
APNAN	:	Asia Pacific Natural Agriculture Network
ARES	:	Académie de Recherche et d'Enseignement Supérieur
BIRD-IDA	:	Banque internationale pour la reconstruction et le développement- Association internationale de développement
°C	:	degré Celsius
CIRAD	:	Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement
cm	:	centimètre ;
EM	:	Effective Microorganisms
FAO	:	Food and Agriculture Organization of the United Nations
g	:	gramme
GIRAF	:	Groupe Interdisciplinaire de Recherche en Agroécologie
GTD	:	Groupe de Travail Désertification
h.j	:	homme.jour
IDMA	:	Instituto de Desarrollo y Medio Ambiente (du Pérou) – Institut du développement et de l'environnement
IRPAD	:	Institut de recherche et de promotion des alternatives en développement
INSAE	:	Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique (Bénin)
kg	:	kilogramme
l	:	litre
mm	:	millimètre
m²	:	mètre carré
MO	:	Matière Organique ;
ONG :	:	Organisation Non Gouvernementale
PFSA	:	Plate-Forme Souveraineté Alimentaire
PPRN	:	Production intégrée et Préservation des Ressources Naturelles en milieu urbain et périurbain
t/ha	:	tonne par hectare
VAB	:	Valeur Ajoutée Brute
%	:	Pour cent

Liste des tableaux

Tableau 1 : Principes de l'agroécologie (Stassart <i>et al.</i> , 2012).....	4
Tableau 2: Composition de différentes préparations de EM solides (Dorian, 2015 ; Polmans, 2018).....	9
Tableau 3: composition EM liquide (Dorian,2015 ; Polmans, 2018 ; ADG, 2009).....	9
Tableau 4: Taux de matière sèche des différents fertilisants	28
Tableau 5 : Composition Bs	Tableau 6 : Composition Bf
Tableau 7: composition EM ₅	33
Tableau 8 :Paramètres et données collectées par symptôme.....	36
Tableau 9 : Résultats des analyses chimiques des différents amendements	39
Tableau 10 : Résultat de l'analyse granulométrique	40
Tableau 11 : (a ;b) résultat des analyses chimiques du sol (0-20 cm).....	40
Tableau 12: Effet des amendements et de leur application sur le taux de reprise des plants d'amarantes : résultats des modèles linéaires à effets mixtes	41
Tableau 13 : Effet des amendements et de leur application sur le taux de mortalité des plants d'amarante : résultats des modèles linéaires à effets mixtes.....	42
Tableau 14 : Effet des amendements et de leur application sur les paramètres des plants d'amarante : résultats des modèles linéaires à effets mixtes.....	43
Tableau 15 : Effet des amendements et de leur application sur le rendement des plants d'amarantes : résultats des tests de kruskal-wallis	51
Tableau 16: Effet des amendements et de leur application sur l'incidence et la sévérité des bioagresseurs des plants d'amarantes : résultats des modèles linéaires à effets mixtes.....	53
Tableau 17 : Effet des amendements et de leur application sur le taux de reprise des plants de laitue : résultats des modèles linéaires à effets mixtes	54
Tableau 18: Effet des amendements et de leur application sur le taux de mortalité des plants d'amarantes : résultats des modèles linéaires à effets mixtes	55
Tableau 19 : Effet des amendements et de leur application sur les paramètres de croissance des plants de laitue : résultats des modèles linéaires à effets mixtes.....	56
Tableau 20 : Effet des amendements et de leur application sur le rendement des plants d'amarantes : résultats des tests de Kruskal-Wallis	63
Tableau 21: Analyse de l'effet des sources de variation de la nécrose.....	65

Tableau 22 : Valeur ajoutée brute (VAB) et salaire minimum (VAB/h.j) par jour pour la culture d'amarante	68
Tableau 23 : Valeur ajoutée brute (VAB) et salaire minimum (VAB/h.j) par jour pour la culture de laitue	68
Tableau 24 : coût de production.....	c
Tableau 25 : coût intermédiaire.....	c
Tableau 26 : Produit brute de l'amarante	d
Tableau 27 : Produit brute de la laitue	d
Tableau 28 : Quantification du nombre d'heures de travail par traitement	d

Liste des Figures

Figure 1: Système d'échappement du gaz (Dorian,2015)	10
Figure 2 : Plants d'amarante	Figure 3 : Plants de laitue..... 18
Figure 4: Principe du système intégré	21
Figure 5: Présentation de la commune d'Akpro-Misséréte.....	22
Figure 6 : diagramme ombrothermique de la commune d'Akpro-Misséréte (Source : https://fr.climate-data.org/afrique/benin/oueme/akpro-misserete-710075/ (consulté le 18 juillet 2019))	23
Figure 7: semences d'amarante (a) et de laitue (b)	23
Figure 8 : Fertilisants organiques ; (a) bokashi Bs ; (b) bokashi Bf; (c) compost Co.....	24
Figure 9 : EM ₅	Figure 10 : Matériels agricoles..... 25
Figure 11 : Matériels de préparation du bokashi.....	25
Figure 12 : Pépinière (a) ;	Mélange semence et sable (b) 27
Figure 13 :Préparation du site expérimentale ; (a) Nettoyage; (b) labour ; (c) confection des planches; (d) amendement.....	27
Figure 14 : Transplantation	28
Figure 15 : Préparation de la phase liquide du bokashi.....	30
Figure 16 : Préparation phase solide du bokashi.....	30
Figure 17 : Mélange phase liquide et solide et mise en sac du bokashi	31
Figure 18 : Evolution de la température lors de la préparation des bokashis.....	31
Figure 19 : Evolution du pH lors de la préparation des bokashis	32
Figure 20 : Prise du diamètre au collet (a) ; Mesure de la longueur feuille (b) ; Mesure de la hauteur plant d'amarante (c) ; Mesure de la hauteur plant de laitue ; Mesure du diamètre couronne (e).....	35

Figure 22 : (a) Tâches nécrotiques; (b) Nématodes sur racines	37
Figure 21 : insectes defoliateurs ; (a) criquet puant; (b, d) chenille pyrale; (c) enclos chenille pyrale.....	37
Figure 23 : Boxplot du taux de reprise de l'amarante	41
Figure 24 : Variation du taux de mortalité des plants d'amarantes suivant les amendements et les applications	42
Figure 25 : Evolution de la hauteur des plants ; (-a-) : effet du compost Co ; (-b-) : effet du bokashi Bs ; (-c-) : effet du bokashi Bf ; (-d-) : effet des amendements ; (-e-) : effet des applications.....	44
Figure 26 : Evolution du nombre de feuilles des plants d'amarante ; (-a-) : effet du compost Co ; (-b-) : effet du bokashi Bs ; (-c-) : effet du bokashi Bf ; (-d-) : effet des amendements ; (-e-) : effet des applications	46
Figure 27 : Variation de la longueur de la plus grande feuilles des plants d'amarantes suivant les amendements et leur application ; (-a-) : effet du compost Co ; (-b-) : effet du bokashi Bs ; (-c-) : effet du bokashi Bf ; (-d-) : effet des amendements ; (-e-) : effet des applications.....	48
Figure 28 : Evolution du diamètre au collet ; (-a-) : effet du compost Co ; (-b-) : effet du bokashi Bs ; (-c-) : effet du bokashi Bf ; (-d-) : effet des amendements ; (-e-) : effet des applications ..	50
Figure 29 : Boxplots du rendement d'amarante suivant les amendements et applications/ha.	52
Figure 30 : Incidence et sévérité causées par le criquet puant et les chenilles de la pyrale de la betterave sur les plants d'amarante ; (a) : Incidence des insectes défoliateurs ; (b) : sévérité des insectes défoliateurs.	53
Figure 31 : variation du taux de reprise en fonction des amendements et des applications.....	54
Figure 32 : Variation du taux de mortalité en fonction du temps ; (-a-) : effet du compost Co ; (-b-) : effet du bokashi Bs ; (-c-) : effet du bokashi Bf ; (-d-) : effet des amendements ; (-e-) : effet des applications	56
Figure 33 : Evolution de la hauteur des plants de laitue ; (-a-) : effet du compost Co ; (-b-) : effet du bokashi Bs ; (-c-) : effet du bokashi Bf ; (-d-) : effet des amendements ; (-e-) : effet des applications.....	58
Figure 34 : Evolution du nombre de feuilles de la laitue ; (-a-) : effet du compost Co ; (-b-) : effet du bokashi Bs ; (-c-) : effet du bokashi Bf ; (-d-) : effet des amendements ; (-e-) : effet des applications.....	60
Figure 35 : Evolution du diamètre couronne; (-a-) : effet du compost Co ; (-b-) : effet du bokashi Bs ; (-c-) : effet du bokashi Bf ; (-d-) : effet des amendements ; (-e-) : effet des applications ..	62
Figure 36 : Boxplots du rendement d'amarante suivant les amendements et applications/ha.	64

Figure 37 : incidence et sévérité de la nécrose des feuilles de laitue ; (-a) : incidence des applications ; (-b-) : incidence des amendements ; (-c-) : sévérité des applications ; (-d-) : sévérité des amendements ; (-e-) : incidence de la combinaison (amendement*application) ; (-f-) : sévérité de la combinaison (amendement*application) 66

Introduction

Située en Afrique de l'Ouest, la république du Bénin s'étend sur une superficie de 114.763 km². Son taux de croissance du Produit intérieur brut (Pib) réel est estimé à 5,5% en 2017 (INSAE, 2018). Dans le contexte actuel, l'agriculture représente l'un des principaux secteurs contribuant au développement économique du pays. Elle emploie plus de 42,36% de la population active (BIRD-IDA, 2017) ; contribue à 75% des recettes d'exportation et fournit environ 70% des emplois (FAO, 2018). La contribution économique de l'agriculture repose sur un certain nombre d'activités ; parmi celles-ci, la production maraîchère occupe une place très importante et contribue significativement à la souveraineté alimentaire (Kahane *et al.*, 2005), à la lutte contre la pauvreté et au revenu des familles (James *et al.*, 2010 ; Yolou *et al.*, 2015). En Afrique de l'ouest, le maraîchage constitue l'une des composantes principales de l'agriculture urbaine et péri-urbaine qui se sont fortement développées au cours des dernières décennies suite à la croissance démographique et à l'augmentation des besoins alimentaires (FAO, 2015 ; Singbo *et al.*, 2004). Au Bénin, le maraîchage emploie environ 4 % de la population active, soit 60000 emplois (Yolou *et al.*, 2015). Des données réelles indiquent que la marge générée par la production maraîchère peut atteindre 16,395 millions de Fcfa/ha/an, soit 4,31 milliards sur une superficie de 263 hectares exploités en 2000 (Hounkpodoté et Tossou, 2001 cité par Kakai *et al.*, 2010).

Cependant, la production maraîchère en zone urbaine et péri-urbaine est limitée par plusieurs facteurs tels que la réduction des espaces cultivés due aux problèmes fonciers, l'épuisement des sols en éléments nutritifs suite à leur surexploitation et la vulnérabilité des cultures aux bioagresseurs, mentionnée comme étant l'une des principales causes de baisse de rendement (Singbo *et al.*, 2008 ; Kanda *et al.*, 2014). Ainsi, pour remédier à ces problèmes, les producteurs utilisent souvent des engrais chimiques pour la fertilisation des sols et l'intensification de la production, et des pesticides de synthèse pour pallier aux dommages causés par les bioagresseurs (Matthews, 2008). D'après les travaux d'Ahouangninou (2013), la quantité annuelle moyenne de pesticides appliqués par exploitation en 2010 sur les sites maraîchers du sud-Bénin est de 12,75 kg de matières actives (m.a) à l'hectare, avec une dose maximale de 27,89 Kg m.a/ha (m. a : l'endosulfan, le chlorpyrifos-éthyl, manèbe. etc.). De même, les indices des fréquences des traitements fongicide et insecticide moyens observés par culture sont respectivement de 13,25 et 14,95 applications par culture. Parallèlement, les études menées par Assogba-komlan *et al.*(2007) et Agueh *et al.*(2015) révèlent des niveaux de contamination du sol et des produits maraîchers en métaux lourds, nitrates et ammonium

supérieurs aux normes exigées par la CODEX STAN 193- 1995 révisé en 2007 (Codex Stan, 2007).

Par ailleurs, plusieurs études ont révélé que l'emploi des produits chimiques (engrais chimiques et pesticides) sur les cultures en production maraîchère, en zone urbaine et péri-urbaine, compromet dans une large mesure la santé des sols; la qualité de l'environnement et le bien-être des personnes exposées non seulement au cours de la production mais aussi lors de la consommation des produits de récolte (Xiang *et al.*, 2000, Levario-Carrillo *et al.*, 2004). En effet, la résistance des ravageurs (Ninsin, 2015; Agboyi *et al.*, 2016), l'élimination des ennemis naturels (Ahmad *et al.*, 2011), la présence de résidus de pesticides dans les légumes (Assogbakomlan *et al.*, 2007 ; Ahouangninou, 2013 ; Agueh *et al.*, 2015) et la pollution de l'environnement sont autant de nuisances liées à l'utilisation irrationnelle des produits synthétiques sur les périmètres maraîchers.

Face à cela, plusieurs alternatives de production et/ou de combinaisons de certaines pratiques agricoles sont développées et promues pour une production durable (Boni *et al.*, 2017; Amoatey & Acquah, 2010). Parmi celles-ci, la production agroécologique, via la valorisation des différentes formes de matières organiques (compost, bokashi, fumier, etc.), des biopesticides naturels (Weber *et al.*, 2007), et l'emploi des microorganismes efficaces (EM), sont susceptibles de réduire significativement la pression des bioagresseurs, tout en contribuant à la santé des écosystèmes (Houenou, 2013).

Ainsi, cette étude a pour objectif, d'évaluer l'efficacité des pratiques agroécologiques promues par le centre Songhaï pour la gestion de la fertilité du sol et le contrôle des bioagresseurs en production maraîchère, par l'application des bokashis, du compost et de solution de biopesticide à base d'« Effective Microorganisms » (EM) sur la production de la laitue et de l'amarante au Sud du Bénin.

1.1. Objectifs de recherche

1.1.1. Objectif Général : contribuer à la sécurité alimentaire en production maraîchère par des pratiques agroécologiques par l'utilisation de bokashis, de compost et de biopesticide associés aux microorganismes efficaces, au Sud Bénin.

1.1.2. Objectifs spécifiques : il s'agira :

D'évaluer l'efficacité des bokashis, du compost et de la solution de biopesticide promus par le centre Songhaï sur la production de laitue et d'amarante et sur les attaques que subissent ces cultures de la part des bioagresseurs.

2. Revue bibliographique

2.1. Agroécologie et principes

Apparu pour la première fois dans la littérature scientifique au cours des années 1930, le concept de l'agroécologie s'inscrit comme l'une des solutions aux problèmes que rencontre le monde face à un certain nombre de défis cruciaux : nourrir une population croissante de plus en plus urbaine, lutter contre la pauvreté et les inégalités et assurer une gestion durable des ressources naturelles et de l'environnement. Les auteurs ayant révolutionné ce concept, tels que Miguel Altieri, Eduardo Sevilla Guzmán, à l'origine, définissaient l'agroécologie au sens strict du terme, comme étant une tentative d'intégrer les principes de l'écologie à la redéfinition de l'agronomie (Altieri, 1983 ; Stassart *et al.*, 2012). De nos jours, grâce aux mouvements sociaux, l'agroécologie est perçue comme un ensemble de principes qui contribuent à leur manière à rechercher des alternatives au système agro-industriel dominant et défaillant. Elle apparaît de ce fait comme un concept à vocation "fédératrice" qui permettrait aux acteurs promouvant de telles pratiques d'être plus audibles par les politiques et reconnaissables par les consommateurs. Les questions agroécologiques s'adressent donc à différents publics qu'elles contribuent à construire et qui en retour les construisent elles-mêmes. Ces publics peuvent suggérer ou transformer des problématiques, modifier les méthodologies et contribuer à ses résultats en intégrant des savoirs et pratiques profanes (locaux, citoyens, traditionnels) et savoirs savants (Holtz-Gimenez, 2010, Stassart *et al.*, 2012). Il s'agit donc d'interroger les relations entre sciences et sociétés par le biais des relations entre chercheurs et publics (Stassart *et al.*, 2012).

2.1.1. Principes de l'Agroécologie

Historiquement, les premiers penseurs qui se sont intéressés au concept d'agroécologie situaient l'application de celui-ci essentiellement à l'échelle des parcelles agricoles et considéraient qu'il se basait sur cinq grands principes (Altieri, 1995, Tripp, 2008, Stassart *et al.*, 2012) (Tableau 1). Cette série de cinq principes va devenir la référence canonique de la version restreinte de l'agroécologie considérée comme une science dont Altieri se fait le porte-parole et est citée par de nombreux auteurs (Ollivier et Bellon, 2010). Ceux-ci sont particulièrement pertinents par rapport à la portée de notre travail.

Tableau 1 : Principes de l'agroécologie (Stassart *et al.*, 2012)

Principes « historiques » de l'agroécologie (Altieri, 1995, cité par Reijntjes, Haverkot et Water-Bayer (1992)) 1. Permettre le recyclage de la biomasse, optimiser la disponibilité de nutriments et équilibrer le flot de nutriments. 2. Garantir les conditions de sol favorables à la croissance des plantes, en gérant en particulier la matière organique et en améliorant l'activité biotique du sol. Ceci suppose, au regard de la rareté des ressources pétrolières, une réduction drastique de l'usage d'intrants externes produits de la chimie de synthèse (engrais, pesticides et pétrole). 3. Minimiser les pertes de ressources liées aux flux des radiations solaires, de l'air et du sol par le biais de la gestion microclimatique, la collecte d'eau, la gestion du sol À travers l'accroissement de la couverture du sol et le jeu des complémentarités territoriales entre différentes orientations technico-économiques (notamment élevage, culture). 4. Favoriser la diversification génétique et d'espèces de l'agroécosystème dans l'espace et le temps. 5. Permettre les interactions et les synergies biologiques bénéfiques entre les composantes de l'agro biodiversité de manière à promouvoir les processus et services écologiques clefs

2.2. Matière organique du sol (MOS)

2.2.1. Définition

La matière organique peut se définir comme la matière spécifique des êtres végétaux et animaux (Mustin, 1987). Le terme « matières organiques du sol » regroupe l'ensemble des constituants organiques morts ou vivants, d'origine végétale, animale ou microbienne, transformés ou non, présents dans le sol, et représentant en général 1 à 10 % de la masse des sols (Duprarque et Rigalle, 2011). Elle est un « continuum de matières plus ou moins complexes en perpétuel renouvellement » (Bernoux *et al.*, 2011) issu principalement des débris végétaux de toute nature : feuilles, pailles, fruits, résidus de récolte, branches et tronc d'arbre tombant au sol et ceux se trouvant préalablement dans le sol (racines, exsudats racinaires). A ceux-là, il faut ajouter le terreau, le fumier, le compost, les résidus industriels, les algues marines et les boues...etc. apportés par l'homme (Demelon, 1952 ; Koglevi, 1982 ; Duthil, 1973; Gamrasin, 1979 cité par Zounde, 1998). Ses différents états dépendent des conditions pédoclimatiques, de l'utilisation et de la gestion des sols. Elle constitue l'un des réservoirs du carbone (C) continental de la planète et est composée de 58% de carbone organique (Stevenson 1994, Cardinal, 2015 cité par Bounouara, 2018).

2.2.2. Recyclage et Valorisation de la Matière organique

Selon Torquebiau (2015), le recyclage des déchets organiques (Matières organiques) en agriculture peut améliorer l'efficacité du cycle de nutriments et réduire directement ou indirectement les sources principales et croissantes des émissions de gaz à effet de serre. Il peut

également améliorer la fertilité des sols et la résilience de l'agriculture au changement climatique. Ainsi, parmi les produits obtenus du recyclage de la matière organique, nous pouvons citer : le bokashi, le compost, etc.

2.2.3. Bokashi et Microorganismes efficaces (EM)

Le mot bokashi (ou bocashi) signifie « matière organique fermentée » ou « engrais organique fermenté » en japonais (Arias, 2001 ; Daly, 2007). Il est obtenu par la dégradation aérobie ou anaérobie de matériaux d'origine végétale et /ou animale avec un inoculant microbien. Il est à présent adopté dans les communautés agricoles d'Amérique centrale et d'Amérique du Sud (Dana Mae, 2017) et un peu partout dans le monde grâce à l'invention et la promotion des Microorganismes Efficaces (EM) (Higa, Université des Ryukyus, Okinawa, 1986).

Les EM sont constitués d'un mélange de plusieurs dizaines de souches de microorganismes bénéfiques. Ils contiennent principalement des bactéries photosynthétiques, des bactéries fixatrices d'azote, des bactéries acido-lactiques, des actinomycètes, des levures et des champignons filamenteux (Pegorer *et al.*, 1995). Les bactéries acido-lactiques représentent la masse la plus importante de l'ensemble. Ces petits êtres vivants peuvent vivre en équilibre, les uns vivant des nutriments produits par les autres et vice-versa. Chaque famille de microorganismes remplit des tâches particulières et leur combinaison crée une synergie qui multiplie les effets individuels de chacun (Higa, 1994 ; Higa, 2011 ; Dorian, 2015). Ils coexistent dans des milieux liquides acides, d'un pH de 3,5 ; et peuvent intervenir dans une large gamme de préoccupations environnementales, y compris la qualité de l'eau, la dépollution des métaux lourds du sol, la gestion des mauvaises odeurs et dans le compostage, mais leur utilisation prédominante est l'amélioration de la qualité des sols et la croissance des plantes en milieu agricole (Higa 2003). Les EM peuvent être dilués et utilisés en pulvérisation pour améliorer la croissance des plantes, ou combinés avec la matière organique pour faire du bokashi et du compost. Ils peuvent être aussi associés aux extraits de plantes pour supprimer les maladies au niveau des cultures (Higa, 1991).

2.2.4. Mécanismes d'actions des EM

✓ Fermentation

La fermentation des matières organiques présentes dans le sol ou dans le substrat de compost (bokashi), est facilitée par les EM, et permet la libération de nombreuses substances bioactives comme des acides organiques, alcools, minéraux chélatés, sucres, acides aminés, enzymes, vitamines, antibiotiques, antioxydants, etc. Ces transformations ne produisent pas de dérivés

nocifs (comme l'ammoniac ou le méthane), au contraire ceux-ci sont dégradés (Zarb et Chiang, 2001 ; Dorian, 2015).

✓ **Antioxydation**

Les EM produisent des substances antioxydantes qui combattent les radicaux libres, responsables de l'oxydation qui créent un milieu favorable au développement d'agents pathogènes responsables des maladies. Un milieu oxydé provoque une augmentation de l'entropie et une dispersion de l'énergie du sol, sous forme de molécules toujours plus pauvres et moins profitables aux végétaux. Les EM permettent une inversion de l'entropie, le sol s'enrichit, le milieu se régénère et retrouve sa vitalité et sa santé. Les effets antioxydants favorisent la décomposition de la matière organique et la création d'humus, tout en limitant le développement des maladies (Higa, 1994 cité par Dorian, 2015).

✓ **Dépollution**

Les EM transforment les molécules chimiques de synthèse présentes dans le sol (insecticides, fongicides) et contribuent ainsi à la dépollution des terres. Les métaux lourds sont complexés par les EM, évitant leur assimilation par les plantes (Higa, 1991 ; Higa 1999) ; la dégradation naturelle des dioxines est aussi accélérée par ces derniers (Kyan *et al.*, 1999).

2.2.5. Méthodes de formulations des EM

Il existe des différences majeures dans la manière dont les EM sont formulés ; selon la méthode utilisée (manière artisanale ou industrielle) et selon les sources de matières premières utilisées. Les EM peuvent être formulés sous forme liquide ou solide. L'important est de bien comprendre le rôle de chacun des composants pour pouvoir les substituer sans erreur. Toutes les formulations comprennent des sources qui apportent l'inoculât riche en EM, des sucres, de l'amidon, des lactobacilles et de l'humidité.

Les principales **sources d'inoculat de EM** sont la litière de forêt peu perturbée et la terre provenant de l'horizon supérieur des terrains fertilisés de façon biologique. Il faut rechercher un site à intense activité microbienne qui présente des masses blanches caractéristiques du développement de champignons du sol. A Cuba, il est conseillé d'utiliser la litière présente sous les forêts de bambous, car elle serait particulièrement riche en microorganismes efficaces, d'autres utilisateurs préfèrent prendre de la terre qui se trouve sous les aulnes car elle est enrichie en bactéries fixatrices d'azote (Dorian, 2015 ; Hopkins, 2003), ou combiner des litières de forêt naturelle et de bosquets de bambou et d'autres essences (Olivera *et al.*, 2014).

La mélasse est la meilleure **source de sucre facilement fermentescible** mais elle peut être remplacée par toute source de sucre comme de l'eau sucrée, le jus de canne pressée et la canne

moulue, le miel, le jus de fruit sucré, etc. Les sucres servent d'énergie pour le développement des microorganismes (Dorian, 2015).

La semoule de riz est la **source d'amidon et de fibre** la plus utilisée, mais elle peut être remplacée par la semoule de maïs, du blé et d'autres céréales, en prenant le soin d'ajouter des fibres sous forme de paille sèche (Blanco & Garcia, 2012). La source d'amidon permet de fournir des glucides qui permettront la survie des microorganismes. La paille sèche comme source de carbone.

Source de lactobacilles : le petit lait ; yaourt (de lait ou de soja) ou du lait frais (non bouilli, ni pasteurisé). Les bactéries acidolactiques, et plus particulièrement l'acide lactique qu'elles secrètent, sont importantes pour la stabilité du produit final. Elles présentent un effet inhibiteur de la croissance bactérienne et confèrent une certaine stabilité lors du stockage des EM (Blanco & Garcia, 2012).

L'eau est importante pour garantir le taux d'humidité adéquat, de préférence de l'eau de puits ou de pluie. L'eau de ville doit être au préalable laissée à l'air libre pendant 5-10 minutes minimum pour évaporer le chlore.

2.2.6. Préparations EM solides

Les quantités de matières premières utilisées pour la préparation du substrat solide varient selon les sources et les ingrédients utilisés (Tableau 2).

✓ **Mode de préparation**

Une fois les ingrédients obtenus, on procède au mélange de la façon suivante (ADG, 2009, Olivera *et al.*, 2014).

Mélanger dans un seau ou un bidon à part les composants liquides (mélasse, petit lait, eau en petite quantité, etc...) ;

Arroser la phase solide préalablement brassée et bien homogénéisée (litière, semoule de riz, semoule de blé, etc.) avec la phase liquide et remuer pendant 5-10 mn jusqu'à obtenir un mélange le plus homogène possible. L'ensemble (composants liquides et solides) est humidifié à raison de 40-50% pour permettre une fermentation correcte, en prenant soin d'enfermer le mélange dans un récipient étanche pour garantir la fermentation anaérobie. Le meilleur moyen de vérifier le taux d'humidité est le test du poing : lorsqu'on écrase avec force une poignée de mélange, il ne doit pas y avoir de gouttes qui coulent (excès d'eau), mais la poignée de mélange doit rester compacte lorsqu'on ouvre la main (Polmans, 2018).

2.2.7. Préparations EM liquide

La formulation d'une suspension liquide, consiste à procéder à la conversion des EM de l'état solide à l'état liquide. Pour le faire, une certaine quantité d'EM solide est prélevée dans un

récepteur de volume variable (Tableau 3). En fonction de la quantité d'EM solide utilisée on ajoute de la mélasse, de l'eau puis du lait et l'ensemble est hermétiquement enfermé dans un récepteur muni d'un dispositif de contrôle de l'échappement des gaz (figure1) Bonfim *et al.*, 2011.

➤ EM du commerce

Aujourd'hui un peu partout en Europe et en Amérique, la technologie de production de solution des EM a considérablement évolué avec une large gamme de produits disponibles dans le commerce. Les principaux produits commerciaux que l'on peut trouver sur le marché sont repris ci-dessous.

SCD Probiotics (Kansas City, MO), vend un inoculant microbien liquide appelé ProBio Balance Original TM, répertorié dans la liste « **United States Department of Agriculture Bio Preferred Catalog** ». Il est censé accélérer le compostage à grande et petite échelle, faciliter le traitement des déchets de récolte et de réduire les odeurs nauséabondes (<https://www.scdprobiotics.com/>).

D'autres technologies EM ont été lancées par l'organisation de recherche pour l'environnement et le secteur agricole EMRO (<https://www.emrojan.com/>) qui a développé une grande variété de produits dont le Microferm – EM liquide, utilisé en agriculture biologique pour la production du bokashi, au niveau du compostage et améliorer le rendement.

Des solutions d'EM sont aussi commercialisées en Afrique de l'Ouest (cas du Bénin) par des centres agroécologiques dont le centre Songhaï.

2.2.8. Bokashi et formulations

Plus rapide à produire que le compost, le bokashi mis au point par le professeur Higa permet d'obtenir un produit final moins décomposé contenant plus d'énergie que ce dernier. Selon Higa (1991) et Restrepo (2001), cité par Dorian, 2015, l'objectif du bokashi est d'activer et d'augmenter l'activité bactérienne du sol, par sa forte teneur en matière organique, en énergie et en microorganismes, alors qu'il est pauvre en éléments inorganiques. on peut citer l'augmentation de la teneur en microorganismes efficaces du sol soit sa biodiversité microbienne et la production d'engrais organique pour le sol (FAO, 1991).

Tableau 2: Composition de différentes préparations de EM solides (Dorian, 2015 ; Polmans, 2018)

Matière première	IHplus, EEPFIH, Cuba (Blanco & Garcia, 2010)	Université de Sancti Spiritus, Cuba (olivera <i>et al.</i> , 2014)	Gonzales, Cardenas , Cuba	Canada (Olivera <i>et al.</i> , 2014)	Microben Costa Rita	Tulkens 2017 (Cambodge)	Polmans 2018 (Cambodge)
Litière /bokashi	30 kg	30 kg	1 sac (=15 kg)	30 kg	15 kg	15 kg (bokashi)	15 kg (bokashi)
Source de sucres rapides	10 l de mélasse	10 l de mélasse	2 l de mélasse ou 5 l de jus de canne	10 l de mélasse	4 l de mélasse	-	Fruits mûrs : banane-mangue (3kg). (source de bactéries lactiques et de sucre)
Source d'amidon et de fibres	46kg de semoule de riz	46 kg de semoule de riz	3kg de semoule de riz et 20 kg de canne à sucre moulue	40 kg de farine de blé complet	30 kg de semoule de riz	3 kg de Poussière de riz	3 kg de riz cuits
Sources de lactobacilles	10l de petit lait	10l de petit lait	1 l de lait de yaourt	10 l de yaourt Bio	4 l de petit lait	1 l de lait	0.6 l de lait
Eau	Selon l'épreuve du poing		7-10l, selon l'épreuve du poing	Selon l'épreuve du poing	16l	7-10 l	7-10l

Tableau 3: composition EM liquide (Dorian,2015 ; Polmans, 2018 ; ADG, 2009)

Matière première	Manuel de fabrication d'IHplus, EEPFIH, Cuba (Blanco & Garcia, 2010)	Université de Sancti Spiritus, Cuba (olivera <i>et al.</i> , 2014)	Gonzales, Cardenas, Cuba	Canada (Olivera <i>et al.</i> , 2014)	Microben Costa Rita	ADG (2009)	Polmans, 2018 (Cambodge)
Volume	200 l	100 l	50 l	20 l	200 l	120 l	50 l
EM solide	10 kg	5 kg	2,5 kg	3 kg	4 kg	4 kg	2,5 kg
Mélasse	10 l	5 l	1,5 l	0,5 l	20 l	4 l	1,5 kg
Petit lait ou substituts	10l	5 l	1 l	0,5 l	20 l	1 l	1 l
Eau	Jusqu'à remplir le récipient			16 l	140 l	Remplir le récipient	44,5 l

Il existe plusieurs méthodes de formulation qui varient selon le type de fermentation utilisée (aérobie ou anaérobie), mais aussi en fonction des matières premières disponibles.



Figure 1: Système d'échappement du gaz (Dorian,2015)

2.2.9. Composition du bokashi

Appliqué comme engrais au sol, tout bokashi comprend six types d'ingrédients qui apportent de l'azote, du carbone, des microorganismes, des sucres, de l'humidité et des compléments :

- Source d'azote : fumier de volaille, déjections animales, légumineuses ...etc.
- Source de carbone : paille, balle de riz...etc. La balle de riz permet d'aérer, d'améliorer l'infiltration et le développement des racines. Elle permet aussi de structurer le bokashi, d'accélérer l'activité biologique et elle constitue une source de carbone à dégradation lente. Enfin, elle contient de la silice qui joue un rôle dans la protection contre les insectes et les maladies (Arias, 2001).
- Source de microorganismes : la terre de sous-bois, de la levure, du bokashi prêt, des EM en formulation solide ou liquide déjà préparée ;
- Source d'énergie des microorganismes : les sucres. La mélasse est la meilleure solution mais elle peut être remplacée par toute source de sucre comme de l'eau sucrée. Les sucres servent de substrat au développement des microorganismes ;
- Source d'humidité : l'eau. Il est indispensable d'ajouter de l'eau au mélange pour homogénéiser le bokashi et favoriser la multiplication et l'activité des microorganismes.

Un ensemble d'autres éléments peut ou doit être ajouté au bokashi pour l'améliorer. Il s'agit : du charbon de bois, de la chaux, des cendres de cuisine, de la « farine de roche », etc. Parmi eux, le charbon de bois est un élément indispensable du bokashi. Il permet entre autres d'améliorer la structure du bokashi (aération, absorption de l'humidité et de la chaleur) et de favoriser l'activité microbienne (Deleixhe, 2017).

2.2.10. Préparation du bokashi

Selon APNAN, 1996 ; Kyan *et al.*, 1999 ; ADG, 2009 ; Alattar 2012, Dorian, 2015 ; Polmans, 2018 ; préparer un bokashi doit tenir compte d'un certain nombre d'étapes.

- Bien mélanger les éléments solides;
- Diluer la mélasse dans de l'eau (tiède si nécessaire) ;
- Ajouter les EM à la solution obtenue ;
- Mélanger les phases solides et liquides, en vérifiant le taux d'humidité (30 à 40 %) par le test du poing).

Le bokashi anaérobie doit être maintenu dans un sac (polyéthylène) ou un contenant, hermétiquement fermé pour empêcher toute entrée d'air. La température doit être maintenue entre 50-60° C. Dans les zones basses, il est conseillé de retourner le bokashi deux fois par jour les premiers jours. Dans les zones d'altitude (>3000m) il est envisageable de ne retourner le bokashi qu'une fois tous les deux jours.

Le bokashi aérobie est placé sur un sol ferme (de préférence cimenté) et couvert avec de la paille ou autre matériau similaire. Ce dernier est maintenu à l'abri de la pluie et de l'exposition du soleil. La température doit être maintenue entre 35 et 45°C.

Le temps de fermentation est fonction de la zone et du climat. Le pH doit être maintenu autour de la neutralité (6,5-7,5). Un pH trop acide ou trop alcalin entraînerait une décomposition/minéralisation moins rapide de la matière organique.

Le rapport C/N (carbone/azote) déterminé par le matériel de base entrant dans la composition doit être attentivement étudié pour être maintenu autour de 25. La source principale de carbone étant la paille et la source d'azote, les déjections animales.

La taille des particules contenues dans le mélange joue sur le temps de décomposition et de minéralisation. Plus les particules seront petites et plus rapide sera la décomposition/minéralisation. Cependant, de trop petites particules peuvent entraîner une compaction du mélange.

Après deux à trois semaines, le bokashi devrait être à une température ambiante et avoir une couleur tirant dans les gris. Le bokashi est prêt lorsqu'il présente une odeur de fermentation douceâtre.

En général, pour le maraîchage, on conseille d'appliquer de 100 à 200 grammes de bokashi par m² de sol. Pour un sol très pauvre, on peut aller jusqu'à 1-2 kg/m².

2.2.11. Réponse des cultures aux bokashi et à l'EM

Des expériences sur cultures ont permis de prouver l'efficacité du bokashi et des microorganismes sur l'amélioration du rendement et les caractéristiques chimiques du sol.

D'après les résultats obtenus par Polmans (2018), le rendement obtenu en poids sec sous EM et bokashi (600 g/m²) avec la culture de laitue (53,5t/ha) au Cambodge était supérieur aux rendements obtenus en agriculture durable, avec l'utilisation de compost (32t/ha) appliqué à raison de 2-5 kg/m². Ce rendement s'avère aussi supérieur au rendement obtenu en production conventionnelle avec les intrants chimiques relevés à New York (27-35t/ha) par Maynard et Hochmuth, 1997.

L'étude de Milagrosa et Balaki (1999) qui comparait différents traitements (bokashi, EM, NPK recommandé, bokashi + EM, ½ NPK + bokashi + EM, 1/2NPK et Fumier de poule) sur des choux, des laitues et des pommes de terre, arrive à des conclusions différentes suivant la culture. Au niveau du rendement, les choux traités avec des engrais synthétiques tout comme le traitement au fumier de poule ont montré les rendements les plus importants (±45t/ha) reléguant le bokashi utilisé seul loin derrière (±5t/ha) et le bokashi + EM à un niveau un peu plus proche (±25t/ha). Par contre, le meilleur résultat en poids moyen de laitue est obtenu avec le mélange bokashi + EM (±450g/laitue), viennent ensuite le bokashi seul, le fumier de poule et le mélange bokashi+EM+1/2NPK (±360g/laitue). Enfin, les pommes de terre ont un rendement supérieur avec le traitement bokashi+EM (±22t/ha) suivi par trois traitements (bokashi, EM, 1/2NPK+bokashi+EM) (17t/ha).

Des applications de bokashi sur la bette à cadre ont montré un effet négligeable sur la qualité nutritionnelle mais ont affecté positivement le rendement (Daiss *et al.*, 2008). De même, une étude en serre avec des tomates, montre que l'application d'EM avec la poudre de roche comme engrais liquide a augmenté les rendements en fruits. Les plants de tomates recevant le traitement présentaient également une incidence plus faible de pourriture de la fleur par rapport au témoin, ce qui peut être attribué à l'apport de calcium provenant de la poudre de roche (Ndona *et al.*, 2011).

Des améliorations de rendement sont également observées au Japon avec l'utilisation d'EM sur la culture d'arachide (3,5t/ha) et la carotte (28t/ha) comparée à la pratique conventionnelle (arachide :2t/ha ; carotte :25t/ha) (Arakawa, 1998).

L'ajout d'EM dans le bokashi favorise/accélère le compostage (minéralisation). Les conclusions des études réalisées sur cette question varient. Au Cuba la réduction de la durée de maturation a été noté grâce à l'ajout des EM. Ainsi le processus de compostage peut être réduit de 3-6 mois à 1-2 mois (APROLAB, 2007). Ces derniers (EM) permettent également de réduire considérablement la présence de métaux lourds dans le produit final (Paredes, 2013).

Des travaux effectués à l'aide d'isotopes stables N¹⁵ ont permis de déterminer le comportement de l'azote sous cultures avec l'usage des EM (Weerasekera, 1999). Ainsi les

meilleures absorptions d'azote par le niébé (*Vigna unguiculata*) et le haricot mungo (*Vigna radiata*) étaient obtenues sous EM avec une concentration de 1 :500 (1litre d'EM/500litres d'eau). Cette étude a permis de constater une meilleure décomposition de la matière organique (résidus de récolte de maïs).

Cependant, une étude portant sur un compost à base de résidus de bananes n'a pu mettre en avant de meilleures caractéristiques de croissance de bananiers entre l'utilisation de compost type bokashi avec/sans EM (Formowitz *et al.*, 2007 cité par Deleixhe, 2012). Enfin, une étude menée durant quatre ans sur le rendement des cultures maraîchères fertilisées avec du bokashi contenant des EM et du bokashi seul n'a pas mis en évidence de différences significatives, ce qui met en doute l'utilité des EM pour une meilleure mise à disposition d'éléments minéraux (Mayer *et al.*, 2010). Cette même étude remet également en question l'amélioration des caractéristiques physico-chimiques du sol grâce à l'ajout de EM dans le bokashi.

2.2.12. Compostage/compost

S'appuyant sur la définition de Haug (1993), Mason, 2007, cité par Pujol (2012), le compostage est défini comme étant « [...] la décomposition biologique et la stabilisation des substrats organiques, sous des conditions qui permettent le développement de températures thermophiles résultant de la production de chaleur biologique, afin d'obtenir un produit final qui soit stable, peu humide, dénué d'agents pathogènes et de graines, et qui puisse être bénéfique à la terre ». Le produit final obtenu lors du compostage est appelé compost. C'est un produit riche en humus issu d'une fermentation de déchets biodégradables.

2.2.13. Préparation du compost

Depuis l'avènement de l'agriculture, les « déchets » organiques sont utilisés pour fertiliser les terres agricoles (Petitjean, 1996 ; Joncoux, 2013 ; Wasenaar, 2014). La progression de l'agro-industrie, l'intensification de l'agriculture et la forte croissance démographique ont contribué à élargir le panel des déchets composables. Les composts sont souvent dérivés de résidus végétaux, litières et déjections d'animaux, des « déchets » organiques (ordures ménagères, déchets agro-industriels, les effluents d'élevage, des ateliers industriels) utilisés seuls ou en combinaison (Mbatha, 2008 ; Pujol, 2012 ; FAO, 2005 ; Atalaëso *et al.*, 2017 ; Koura *et al.*, 2015 ; Faveria, 2016). Aujourd'hui, les EM sont utilisés pour accélérer le compostage et enrichir le produit final (Dorian 2015).

Selon Mbatha (2008), le temps de compostage varie en fonction de la durée d'exposition à l'air, du climat, des matières premières disponibles associées à la taille des particules, et du type de compostage. Il est généralement compris entre 3 et 6 mois voire plus. Le compostage peut être

divisé en deux catégories : le compostage anaérobie, où la décomposition se produit lorsque l'oxygène est absent ou présent en quantité limitée, et le compostage aérobie, qui a lieu en présence de grandes quantités d'oxygène. Le compostage aérobie est généralement le plus pratiqué (Oviasogie *et al.*, 2010 ; CTA, 2011). Les pertes d'azote par volatilisation et de potassium par lessivage sont des facteurs qui affectent la composition chimique des composts. Par ailleurs, de nouvelles technologies de compostage se développent par le biais des EM, utilisés pour enrichir le compost et accélérer sa maturation (Villatoro, 2000 ; Olivera, 2013 ; APROLAB, 2007). Ces derniers favorisent également la libération de composés solubles, améliorent les caractéristiques physiques, chimiques et biologiques du compost et la réduction des métaux lourds dans le produit final (Paredes, 2013). Ils sont généralement aspergés par dilution dans de l'eau (2%) entre les différentes couches de matériaux lors du processus de compostage (BID, 2009).

Un bon processus de décomposition passe par 2 phases consécutives: une phase oxydative et une phase de maturation.

La phase oxydative (ou de décomposition) débute par une période mésophile caractérisée par une température inférieure à 45°C, et la multiplication rapide des microorganismes présents grâce aux sucres et acides aminés disponibles présents dans la MO labile. Cette forte activité a pour première conséquence de débiter la période thermophile avec des températures comprises entre 70 à 80°C durant les deux premiers jours (Sierra *et al.*, 2013), pendant laquelle prédomine la décomposition des fibres végétales par les bactéries.

A cette phase oxydative succède, une phase de maturation qui débute par un refroidissement (retour à la température ambiante) du compost marqué par un net ralentissement de l'activité microbienne. Les processus d'humification (réactions secondaires de condensation et polymérisation) dominent et aboutissent à la formation d'humus, dont les acides humiques, composés très résistants à la dégradation. L'humus est le produit final du compostage et se compose de substances stables et peu biodégradables (Faveria, 2016).

Quand le compost est prêt, les particules qui le composent sont de petites tailles et homogènes. La texture du produit fini est homogène, sa couleur est brune foncé à noir (FAO, 2005).

2.2.14. Réponses du sol et des cultures au compost avec ou sans EM

✓ Sol

Plusieurs études ont prouvé le rôle bénéfique du compost sur les qualités physiques et chimiques des sols amendés (Ramdani, 2015) ; par exemple, une amélioration des propriétés physiques, une augmentation de la conductivité hydrique et une diminution de la densité des

sols ont été observées par Wong *et al.*, (1999) ; Pujol (2012). De même, l'incorporation de compost au sol s'avère efficace pour lutter contre la dégradation de la surface du sol (Bresson *et al.*, 2001). Pagliai *et al.* (2004) ont montré que l'ajout de compost dans un sol améliore sa porosité et sa structure. Les amendements en matière organique stable augmentent le pouvoir tampon et la capacité d'échange des sols, deux paramètres qui conditionnent la nutrition minérale des plantes (Mustin, 1987). De plus, l'incorporation de compost permet de réduire l'acidité du sol et de diminuer ainsi les risques d'exportation des métaux vers la plante (Bolan *et al.*, 2003).

✓ Réponse des cultures au compost

Le rôle agronomique des composts avec ou sans apport des EM est souvent compris comme étant l'apport d'éléments fertilisants pour l'amélioration de la croissance des cultures. Ainsi plusieurs auteurs (Crichton *et al.*, 2000 ; Laos *et al.*, 2000 ; Douglas *et al.*, 2003; Kowaljew et Mazzarino 2007 ; Weber *et al.*, 2007, Btissam *et al.*, 2010 ; Michel *et al.*, 2014 ; Kitabala *et al.*, 2016) affirment que l'utilisation des composts produits par les déchets organiques rendent disponibles les nutriments dans le sol et favorisent la croissance des plantes. Jaza (2008), a prouvé, au Cameroun, sur des sols ferrallitiques pauvres en matières organiques, une amélioration du rendement de laitue (12,80 t/ha) avec le compost par rapport au témoin (10,50 t/ha). Des études comparatives de *Tithonia diversifolia* (feuilles sèches, les jeunes tiges) et de compost à base de pelures de manioc + fumier de volaille sur *Celosia argentea* (plante ornementale), menées par Shokalu *et al.* (2011), au Nigéria, ont montré que l'application de compost (20/ha) améliore le nombre de feuilles, la hauteur des plants et le diamètre de la tige, et induit un rendement plus élevé (45,52 t/ha) de *Celosia argentea* que l'application du *Tithonia* (engrais vert) (40,17 t/ha). Des améliorations significatives du rendement de la tomate ($15,01 \pm 7,8$ t/ha) sont obtenus par Kitabala *et al.*, 2016 avec du compost (constitué de *Tithonia diversifolia* (Hemsley), feuilles de bananier (*Musa sp*), fane de soja (*Glycine max L.* (Merril), fane de haricot (*Phaseolus vulgaris L.*), drêche de Brasserie, bouse, crottin des chèvres et fientes de poules) d'une durée de trois mois dans la ville de Kolwezi, Province du Lualaba (RD Congo), à une dose de 30t/ha comparé au témoin 0t/ha ($9,3 \pm 2,4$ t/ha). Les travaux menés par Babajide *et al.*, (2008) au Nigéria, ont montré que le compost des déchets de tournesol sans ferment peut avec succès fournir une quantité appréciable de nutriments pour accroître le rendement des plants de tomate, qui est comparable avec l'application combinée des fertilisants minéraux et d'autres résidus végétaux. Un essai comparatif de l'influence du compost et des fertilisants chimiques sur une culture de tomate, mené au

Bangladesh, a montré que le compost et les engrais minéraux permettaient d'obtenir le nombre de fruits par plant (3,33), le poids des fruits (0,104 kg par plant) et le rendement (28,61 t/ha), les plus élevés (Meherunnessa *et al.*, 2011). Des résultats similaires sont obtenus par Ahsanur *et al.* (2012) sur la chile ou chili (piment fort, utilisé en Amérique latine). Par ailleurs, Ngom *et al.*, (2017) à partir du compost fabriqué à base des feuilles de neem (*Azadirachta indica*), d'anacarde (*Anacardium occidentale*), de fiente de volaille et de cendre de bois ont trouvé des réponses meilleures que le témoin mais variables en fonction de la dose et de la culture. Ainsi avec une dose de 30t/ha des meilleurs rendements sont obtenus pour la tomate (27,21t/ha) et l'oignon (105,26t/ha) ; la dose de 10t/ha était suffisante pour le chou (144,53t/ha) et la pomme de terre (55,16t/ha) ; par contre la dose de 20t/ha favorise un meilleur rendement pour le poivron (32,53t/ha).

Hu et Qi (2013) ont cherché à déterminer si l'inoculation de composts avec de l'EM avantage les cultures de blé et la qualité du sol au cours d'une expérience de terrain de onze ans en Chine. Il ressort de leurs résultats que les plantes de blé recevant le traitement EM produisent plus de matière sèche au niveau de la tige et des feuilles, présentent des quantités importantes en azote, phosphore et potassium dans les feuilles des céréales par rapport aux traitements traditionnels au compost. Les chercheurs ont estimé que les organismes introduits avec l'inoculat EM stimulent la décomposition des matières organiques et, par conséquent, la minéralisation des nutriments pour l'absorption par les plantes, entraînant des effets positifs sur les rendements et la qualité du blé (Hu et Qi, 2013).

2.3. Biopesticides

2.3.1. Définition

L'Agence de Protection Environnementale (EPA, 2007) définit les biopesticides comme des pesticides dérivés des animaux, des bactéries, des champignons, des plantes et de certains minéraux. Ils sont généralement regroupés en trois classes : les pesticides biochimiques (phéromones sexuelles et extraits de plantes) qui procurent des substances naturelles (peu toxiques à l'homme) pour contrôler les ravageurs des cultures ; les pesticides à base de microorganismes (bactéries, champignons, virus entomopathogènes ou protozoaires) qui peuvent contrôler les différents types de ravageurs et les protecteurs systémiques (Coulibaly *et al.*, 2006). L'utilisation des biopesticides permet de mieux contrôler les ravageurs et de protéger par la même occasion la santé des consommateurs. Par exemple, le neem (*Azadirachta indica* A. Juss) est un produit naturel et paraît non toxique pour l'homme. Il est 100% biodégradable, protège mieux l'environnement et a un large spectre d'action sur plus de deux cents (200)

espèces de ravageurs (EPA, 1993). Récemment, grâce à la découverte des microorganismes efficaces par le professeur Higa, et des propriétés de ces derniers, des préparations de biopesticides voient davantage le jour, par fermentation avec des plantes ayant des propriétés pesticides. Au centre songhaï, le nom donné à de telles solutions est l'EM₅.

2.3.2. Composition

Les plantes qui présentent un potentiel pesticide sont très nombreuses au Bénin (Boni *et al.*, 2017). Il n'est pas possible de donner la liste de l'ensemble de ces plantes et encore moins de s'y attarder. Ainsi le type de préparation est fonction de la propriété des plantes utilisées.

Il est important de réaliser un mélange de plantes car chacune a un effet/mode d'action particulier. Les effets sont regroupés en cinq catégories : insecticides, fongicides, bactéricides et nématocides.

2.3.3. Réalisation du biopesticide EM₅ (Source principale : Songhaï 2016)

Une fois les plantes récoltées ou achetées (1,5kg environ pour un bidon de 20l), elles doivent être coupées en morceaux de petite dimension (5 à 10 cm au maximum). Les morceaux doivent être déposés dans un bidon de 20l avec 1l de EM sous forme liquide. A cela il faut ajouter :

- 1l de vinaigre pour, notamment, abaisser le pH et permettre le développement de bactéries lactiques ;
- 1l d'alcool (70%) pour permettre une meilleure extraction des molécules actives contenues dans le matériel végétal et
- 1l de mélasse pour le développement des EM. Le reste du bidon est rempli avec de l'eau non trouble (eau de source).

Avant utilisation du produit, le bidon de 20l doit être fermé hermétiquement pendant 2 à 3 semaines pour permettre une fermentation anaérobie et la macération des plantes (pendant cette phase de fermentation, il faut ouvrir le bidon quotidiennement pour permettre l'évacuation des gaz). La quantité à utiliser varie en fonction de la culture et du stade de développement. La quantité standard se situe entre 200 et 300ml de EM₅ par pulvérisateur à dos de 20l en traitement préventif et curatif.

2.4. Cultures maraîchères

Les cultures maraîchères sont produites dans toutes les régions du Bénin, surtout au Sud, en zones urbaines et périurbaines et dans la vallée de l'Ouémé où le maraîchage est en pleine extension (Adorgloh-Hessou, 2006 ; Houadakpodé, 2018). En Afrique de l'Ouest, environ vingt-sept espèces légumières (indigènes et exotiques) sont cultivées pour leur importance dans la sécurité alimentaire (Yarou, 2018). Les espèces légumières les plus cultivées sont

successivement les légumes feuilles, fruits, racines, bulbes, gousses et tubercules (Kanda *et al.*, 2014). Parmi ces cultures maraîchères, les légumes feuilles occupent une place importante en terme de consommation par les populations (Gockowski *et al.*, 2003 ; Kanda *et al.*, 2014 cité par Houadakpode, 2018). Plusieurs légumes sont produits au Bénin dont l'amarante et la laitue qui sont utilisées dans notre travail.

✓ **Amarante**

Famille : *Amaranthacea*, Genre : *Amaranthus*, Espèce : *hybridus* (Demol *et al.*, 2002). L'*Amaranthus hybridus* (figure 2) est une plante annuelle de 20-80 cm, pubescente, à tige dressée, simple ou brièvement rameuse ; feuilles vertes sombres sur leur face supérieure, rhomboïdes-ovales obtuses, brusquement atténuées en pétiole ; fleurs verdâtres, en épis grêles, les uns axillaires, les autres en panicule terminale compacte non feuillée, dépassant le péricarpe, s'ouvrant en travers (Bock, 2012). Selon la variété, les couleurs des feuilles aussi varient du vert foncé au violet ou pourpre (Dossoukpevi, 1992).

✓ **Laitue**

Taxonomie : Famille : *Asteracea*, Genre : *Lactuca*, Espèce : *sativa* et Parrain : Linné (E. Křístková *et al.*, 2008). *Lactuca sativa* (figure 3) est une plante annuelle glabre avec une racine pivotante fine et une tige dressée de 30–100 cm de hauteur, ramifiée dans la partie supérieure. Les feuilles sont disposées en spirale, formant une rosette dense ou une tête avant verrouillage (Grulich 2004).



Figure 2 : Plants d'amarante



Figure 3 : Plants de laitue

3. Mise en situation du contexte expérimental

L'expérimentation sur les pratiques agroécologiques du centre Songhaï pour restaurer le sol et protéger les plants cultivés a été réalisée en quatre (4) étapes.

La première étape a consisté à nous imprégner de la pratique de production des bokashi, du compost et de la solution de biopesticide (EM₅) de contrôle mise au point par le centre Songhaï.

La deuxième étape a consisté à la formulation des bokashis, et à l'évaluation de l'efficacité des bokashis, du compost (avec EM) et de la solution de biopesticide (EM₅), à partir d'un test en champ réalisé avec de l'amarante (*Amaranthus hybridus*) et de la laitue (*Lactuca sativa*). Ce test visait à évaluer l'effet des amendements et des applications de biopesticides sur la croissance et le rendement des cultures et sur l'incidence des bioagresseurs.

La troisième étape de l'étude consistait à réaliser une analyse statistique des données collectées afin de mettre en évidence d'éventuelles différences significatives entre les traitements comparés.

La quatrième étape a consisté en l'analyse en laboratoire du pouvoir fertilisant des bokashis et du compost.

3.1. Matériels

➤ Milieu d'étude :

L'expérimentation a été menée dans la ferme de l'ONG – IAPEDEL (Initiatives Agro-Pastorales et Economiques Pour le Développement Local), située dans la commune d'Akpro-Missérété, de la période du 25 Mars au 22 Juin 2019.

➤ Présentation

Située entre 6°32'36.0''N et 2°34'45.7''E dans la commune d'Akpro-Missérété, la ferme de l'ONG IAPEDEL a été créée en 2010 et est reconnue comme une initiative de développement local durable. Le modèle de production de l'ONG-IAPEDEL est basé sur le modèle de production holistique intégrée du centre Songhaï (Figure 4). Dans la pratique, ce modèle encourage l'utilisation des ressources locales, la combinaison des pratiques agricoles traditionnelles et modernes, l'adaptation technologique et la diversification des activités. Ainsi, ce modèle offre aux communautés rurales la possibilité d'utiliser et de gérer leurs ressources de manière durable tout en favorisant le développement économique local.

La commune d'Akpro-Missérété est située dans le département de l'Ouémé et couvre une superficie de 79 Km². Elle est limitée au Sud par les Communes de Porto-Novo et des

Aguégoués ; au Nord par les Communes d'Adjohoun et de Sakété ; à l'Est par la Commune d'Avrankou et à l'Ouest par la Commune de Dangbo (Figure 5). Le climat y est de type sub-tropical à deux saisons de pluie et deux saisons sèches. La grande saison de pluie va de Mars à Juillet et permet une culture de premier cycle, tandis que la petite saison de pluie qui permet une culture de deuxième cycle va de Septembre à Novembre. Au cours des deux saisons des pluies, il est généralement enregistré une pluviométrie annuelle voisine de 1100 à 1300 mm (PDC, 2013). La différence de précipitations entre le mois le plus sec et le mois le plus humide est de 271 mm. Une différence de 3,6 °C existe entre la température la plus basse et la plus élevée sur toute l'année (figure 6).

Le relief de la commune d'Akpro-Missérété est peu accidenté. Il se termine à l'Est par des dépressions. Dans cette commune on rencontre trois (03) types de sols :

- Les sols des plateaux : sols ferrallitiques, de couleur rouge et à texture sablo-argileuse (terres de barre), ils couvrent environ 80% de la superficie totale de la Commune.
- Les sols de bas de pente : sols de coloration brune claire, à texture sableuse et faciles à travailler, ils se situent en bordures des bas-fonds marécageux, soit dans des dépressions fermées.
- Les sols des bas-fonds : ce sont des sols hydromorphes argileux, riches en matières organiques. Ils sont situés dans les zones inondables.

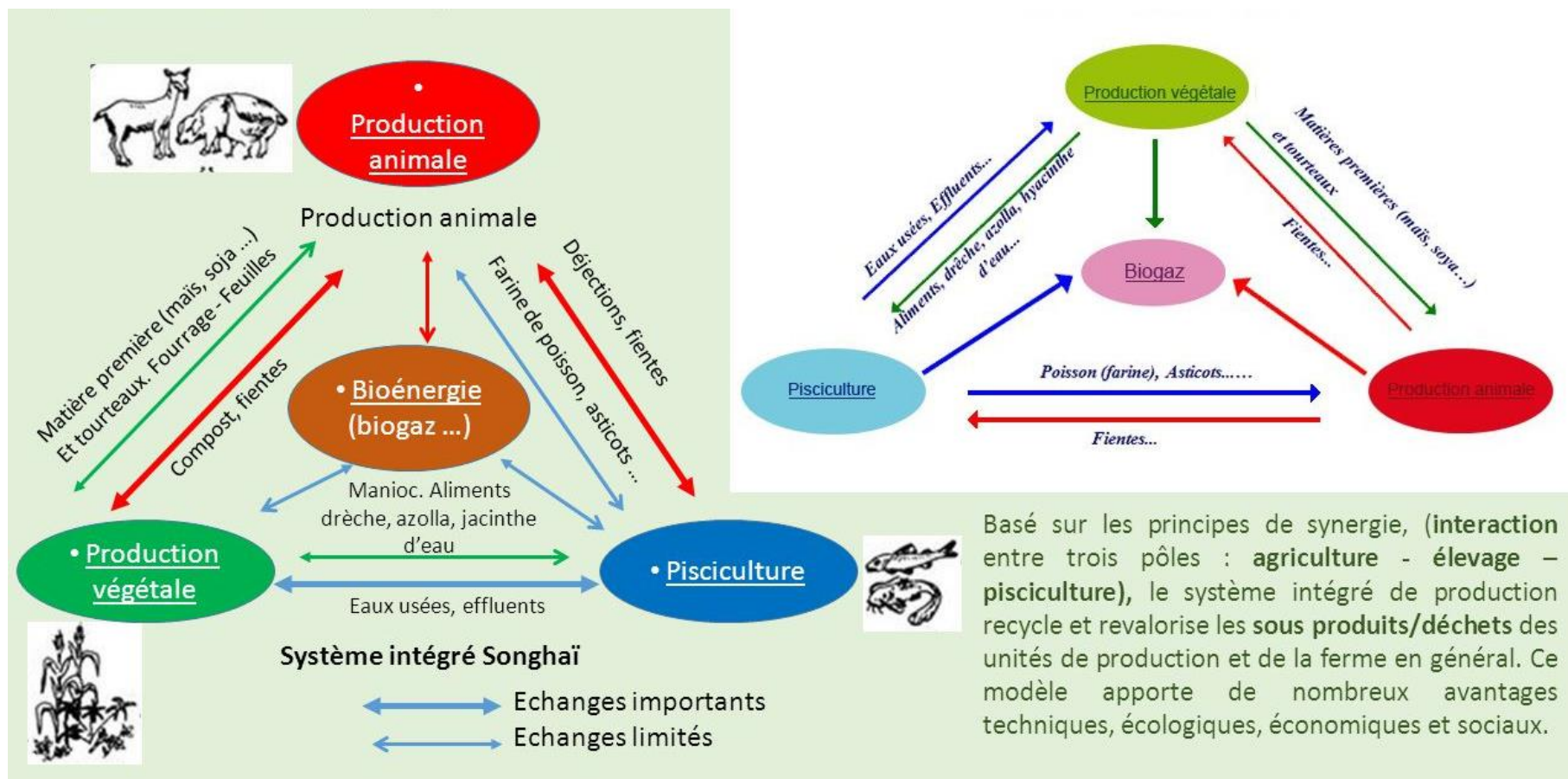
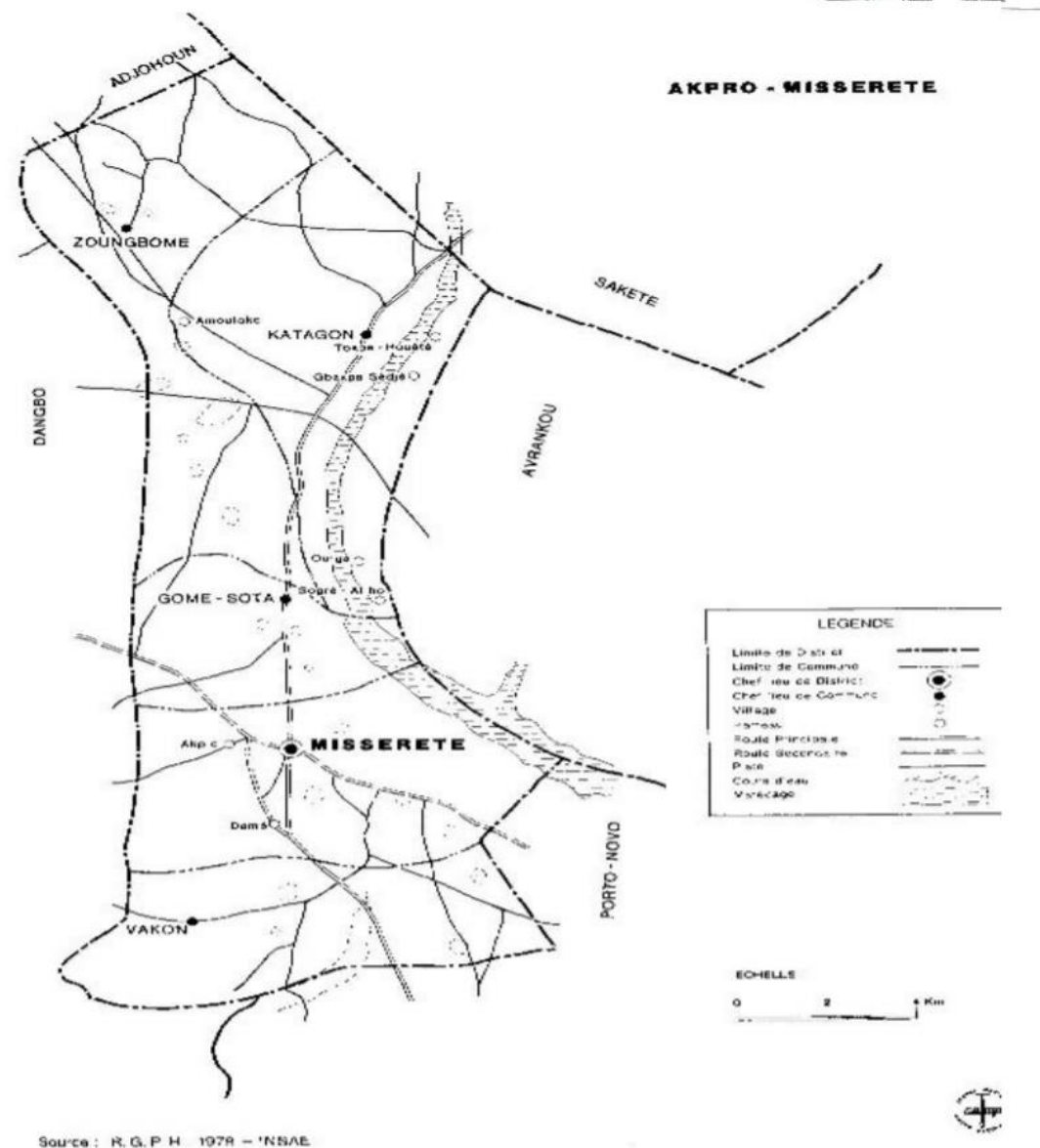


Figure 4: Principe du système intégré



Figure 5: Présentation de la commune d'Akpro-Missérété
Source : PDC, 2006



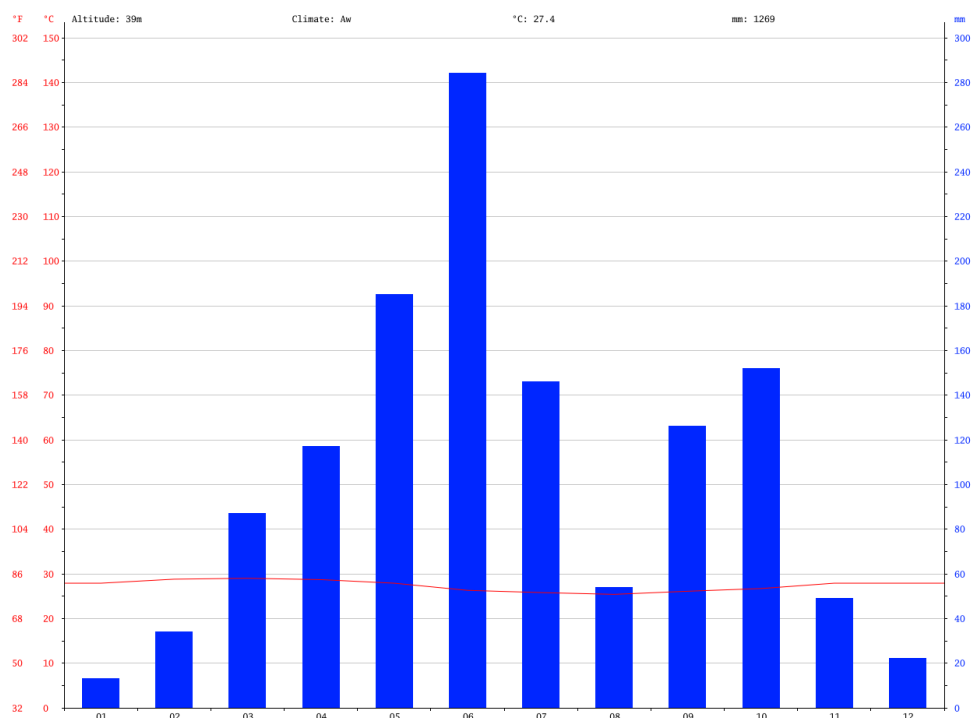


Figure 6 : diagramme ombrothermique de la commune d'Apkro-Misserété (Source : <https://fr.climate-data.org/afrique/benin/oueme/akpro-misserete-710075/> (consulté le 18 juillet 2019))

3.1.1. Matériels végétaux

Les matériels végétaux employés dans le cadre de cette étude sont constitués de la variété Fotete d'*Amaranthus hybridus* produite par la société Technisem (figure 7a) et de la variété Eden de *Lactuca sativa* également produite par la société Technisem (figure 7 b). Les semences ont été achetées dans une structure agréée nommée « Affaire paysan » située dans le quartier Gbégamey à Cotonou (département du Littoral).



Figure 7: semences d'amarante (a) et de laitue (b)

3.1.2. Matériel non végétal

Le matériel non végétal est composé des fertilisants organiques, d'une solution de biopesticide, des matériels agricoles de préparation du bokashi et de collecte des données.

3.1.3. Fertilisants organiques

Les fertilisants organiques utilisés sont composés de :

bokashi à base du son et balle de riz et des feuilles de moringa (*Moringa oleifera*) comme ferment (Bs) (figure 8a); bokashi à base du son et balle de riz et de la litière de volaille comme ferment (Bf) (figure 8b) et du compost à base des résidus décomposables du centre de production Songhai (Co) (figure 8c).

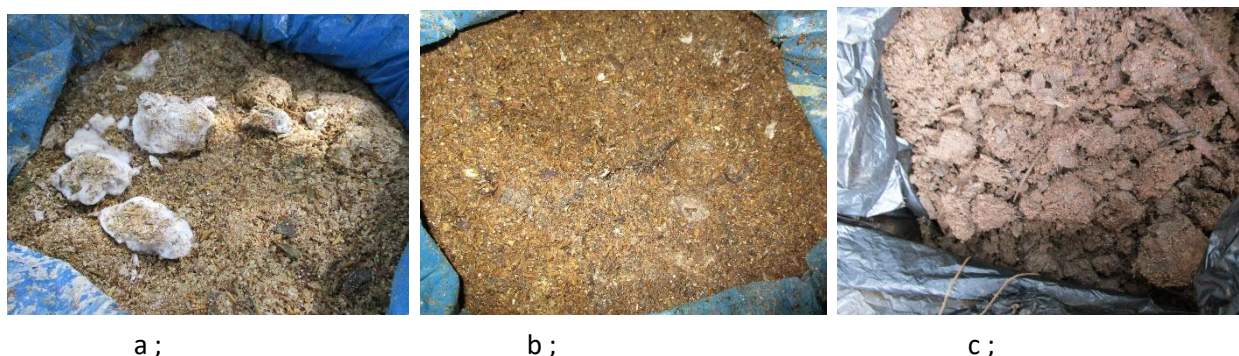


Figure 8 : Fertilisants organiques ; (a) bokashi Bs ; (b) bokashi Bf; (c) compost Co

3.1.4. Solution de biopesticides (EM₅)

La solution de biopesticide EM₅ (figure 9), obtenue à partir des EM et de plantes à propriétés biopesticides (feuilles de neem et de tabac ; fruits de piment séchés et gousses d'ail) a été utilisée et évaluée au cours de l'expérimentation.

3.1.5. Matériels agricoles et de prise des données

Les matériels de mise en place et du suivi de l'expérimentation (figure 10) sont composés de :

- ✓ une houe utilisée pour la confection des parcelles élémentaires ;
- ✓ un râtelier utilisé pour ajuster la surface des planches de la pépinière et des planches de repiquage ;
- ✓ deux arrosoirs manuels d'une capacité de 11 litres utilisés pour arroser les plants ;
- ✓ une binette utilisée pour biner les planches en vue de faciliter l'infiltration de l'eau et l'aération du sol ;
- ✓ un décimètre pour la délimitation de la parcelle ;
- ✓ des cordeaux pour le piquetage ;
- ✓ un mètre ruban pour la prise de la longueur des plants ;
- ✓ une balance de marque Lion star de portée 20 kg pour la pesée de la récolte par planche ;
- ✓ un décimètre pour prendre la hauteur des plants ;

- ✓ un pied à coulisse électronique de 150 mm pour mesurer le diamètre de la tige au collet;
- ✓ une règle plate de 30 cm pour mesurer la longueur de la feuille;
- ✓ des sachets pour le prélèvement des échantillons du sol, des fertilisants et de feuilles.



Figure 9 : EM₅



Figure 10 : Matériels agricoles

3.1.6. Matériels pour la préparation des Bokashis

Les Matériels pour la préparation des bokashis (figure 11) se composent :

- ✓ de bols et bassines pour le mélange des composantes liquides du bokashi ;
- ✓ des sacs en polyéthylènes pour la fermentation aérobie des bokashis (figure 11 b);
- ✓ d'un thermomètre à sonde (D-Wertheim) pour la prise de la température (figure 11 d) ;
- ✓ d'un pHmètre à sonde de marque Nature, pour la prise de l'acidité (figure 11 c);
- ✓ d'un pulvérisateur à motricité humaine d'une capacité de 16 l pour le traitement des plants ;
- ✓ d'une balance de marque LION STAR pour la pesée des amendements;
- ✓ des éprouvettes graduées de contenance de 100 et 500 ml pour prélever les doses du miel et d'EMAS (figure 11a).

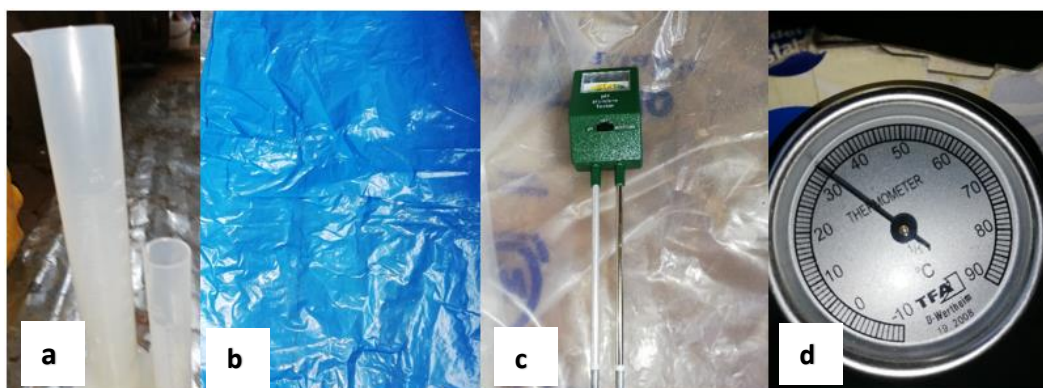


Figure 11 : Matériels de préparation du bokashi

3.2. Méthodologies

3.2.1. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental (Annexe 1) mis en place est un split-plot, avec comme facteur principal le type de fertilisant organique (amendement), et le couple (application de fertilisant et fréquence d'application de l'EM₅) comme facteur secondaire. Le facteur principal (type d'amendements) a trois (3) niveaux :

- Niveau 1: bokashi à base du son et balle de riz avec des feuilles de Moringa comme ferment (Bs);
- Niveau 2: bokashi à base du son et balle de riz avec la litière de volaille comme ferment (Bf);
- Niveau 3: compost à base des résidus décomposables du centre Songhai (Co).

Le facteur secondaire (doses d'applications) a quatre (4) niveaux :

- (0 t/ha, 0) : pas d'application de fertilisant et pas d'application de biopesticide (T0) ;
- (20 t/ha, 0): application de fertilisant et pas d'application de biopesticide (T1) ;
- (20 t/ha, 1): application du fertilisant et application de biopesticide une fois par semaine (T2) ;
- (20 t/ha, 2) : application du fertilisant et application de biopesticide deux fois par semaine (T3).

Douze (12) traitements ont été donc constitués et répétés 3 fois. Tous les traitements sont randomisés. Donc il y avait 3 types d'amendement x 4 types d'application de la solution biopesticide x 3 répétitions = 36 unités expérimentales pour chaque culture. Les dimensions des unités expérimentales (planches) sont de 1 m x 1 m soit 1 m². Des allées de 0,5 m sont maintenues entre les unités expérimentales et une distance de 1 m est maintenue entre les essais. La densité des plants par planche était de 25, soit un écartement de 20cm*20cm. Un écartement de 10 cm de chaque côté a été observé pour limiter les effets de bordure.

3.2.2. Travaux culturaux

➤ Pépinière

Les pépinières des deux cultures ont été réalisées le vendredi 12 Avril 2019. Les semences une fois mélangées avec du sable fin à raison de 5g pour 250 g de sable (figure 12b), ont été semées en lignes espacées de 20 cm (figure 12 a), avec une densité de 5g de semence pour 2m². Les pépinières ont duré respectivement 18 et 24 jours pour les cultures d'amarante et de laitue.



Figure 12 : Pépinière (a) ; Mélange semence et sable (b)

➤ Préparation du site expérimental

Dans un premier temps, la surface expérimentale a été délimitée à l'aide de piquets, d'un décamètre et de cordeaux. Elle était de 264 m². Dans un second temps, l'espace a été nettoyé par sarclage (figure 13 a); puis les planches ont été délimitées. Par la suite, les planches ont été confectionnées après un labour profond (figure 13 b). Cette phase a duré une semaine (15 au 21 Mars 2019). Suite à cela, les planches carrées de surface (1m x 1 m) ont été étiquetées pour l'identification des traitements (figure 13c). Au final, les fertilisants ont été pesés et appliqués comme fumure de fond en les enfouissant dans les planches suivant le dispositif expérimental (figure 13 d).



Figure 13 :Préparation du site expérimentale ; (a) Nettoyage; (b) labour ; (c) confection des planches; (d) amendement

➤ Détermination de la quantité des fertilisants appliqués

Les différents fertilisants utilisés lors de notre expérimentation, ont été appliqués, selon les recommandations du centre de production intégré Songhaï, à raison de 20t/ha, soit une quantité de 2kg /m². Les quantités en matières sèches par fertilisant ont été déterminé après

étuvage à 65°C au laboratoire des Sciences du Sol, Eau et Environnement (LSSEE), pendant 5 jours et sont présentées dans le tableau 4.

Avec : taux de matière sèche = $(\text{poids sec} - \text{poids contenant}) * 100 / (\text{poids humide} - \text{poids contenant})$; quantité de matière sèche/m² = $(\text{taux de matière sèche} * 2\text{kg})/100$

Tableau 4: Taux de matière sèche des différents fertilisants

<i>Fertilisants</i>	<i>Bokashi (Bs)</i>	<i>Bokashi (Bf)</i>	<i>Compost (Co)</i>
<i>Poids humide</i>	202,9 g	177,2	260,9
<i>Poids contenant</i>	14,6 g	14,4 g	14,5 g
<i>Poids sec</i>	128,9 g	101,8 g	208,4
<i>Taux de matière sèche(%)</i>	60,70 %	53,69 %	78,69%
<i>Quantité de Matière sèche/m2</i>	1,21 kg	1,07 kg	1, 57 kg

➤ **Transplantation**

La transplantation a eu lieu lorsque les plants avaient 3 à 5 feuilles ouvertes. Elle s'est déroulée le lundi 29 Avril et le lundi 06 Mai 2019 (figure 14) respectivement pour les plants d'amarante et de laitue. L'écartement considéré entre plants est de 20 cm sur 20 cm. La transplantation a eu lieu dans la soirée à partir de 17 h. Chaque planche a reçu 25 plants.

➤ **Entretien des planches**

L'entretien a consisté en un arrosage matin et soir. Les deux premières semaines chaque planche a reçu journalièrement une quantité de 5,5 l d'eau par arrosage, et 11 l d'eau par arrosage le reste de la période expérimentale. De plus, après une pluie copieuse, les plants ne sont pas arrosés. Les planches sont désherbées manuellement et binées lorsque le besoin s'est fait sentir.



Figure 14 : Transplantation

3.2.3. Préparation des fertilisants

Trois (3) fertilisants ont été utilisés au cours de notre expérimentation. Les différents bokashis ont été préparés sur le site de production de l'ONG-IAPEDEL selon les recommandations du centre Songhaï. Le compost utilisé est produit et commercialisé par le centre Songhaï.

3.2.4. Préparation des bokashis

La préparation des bokashis a été faite selon la méthode anaérobie de fermentation. Les matières premières utilisées et les quantités prélevées variaient en fonction du type de bokashi (tableaux 4 et 5). La formulation de nos bokashis a été réalisée en trois (3) étapes :

La première étape a consisté au prélèvement et au mélange homogène dans une bassine des matières liquides (miel, eau et EMAS (Solution Activée de Microorganismes Efficaces)) à l'aide d'une éprouvette graduée (figure 15).

La seconde étape a consisté au prélèvement par pesée, suivi d'un mélange homogène des matières premières solides (son de riz, balle de riz, feuilles de Moringa ou litière de volaille) (figure 16).

La troisième étape a consisté au mélange des produits liquide et solide précédemment obtenus. Notons que l'humidité normale a été vérifiée par le test du poing (figure 17). Les différentes matières premières à savoir l'EMAS, le miel ont été achetées au centre Songhaï ; le son et les balles de riz proviennent du site régional d'étuvage des producteurs de riz de l'Ouémé et du Plateau, tandis que les feuilles de Moringa et la litière de volaille sont obtenues sur le site de l'ONG-IAPEDEL.

Tableau 5 : Composition Bs

Bokashi Bs		
son de riz	50	kg
balle riz	5	kg
eau	16,5	l
EM activés	0,495	l
miel	0,495	ml
feuilles de Moringa	5	Kg
Total	77,49	

Tableau 6 : Composition Bf

Bokashi Bf		
Fumier	40	Kg
son de riz	20	Kg
balle de riz	20	Kg
eau	7,5	l
EM activés	0,075	dm3
miel	0,075	dm3
Total	87,65	Kg



Figure 15 : Préparation de la phase liquide du bokashi



Figure 16 : Préparation phase solide du bokashi



Figure 17 : Mélange phase liquide et solide et mise en sac du bokashi

✓ **Evolution des paramètres des bokashis**

Les figures 18 et 19 présentent respectivement l'évolution de la température et du pH des bokashis Bs et Bf. Les températures des bokashis (plus élevées au niveau du bokashi Bf), diminuent respectivement pour atteindre la valeur de la température du milieu (30°C) après la troisième semaine. Des effets similaires ont été observés pour le pH (figure 19), où le bokashi Bs a présenté le pH le plus faible (4,5) suivi du Bf (4,75).

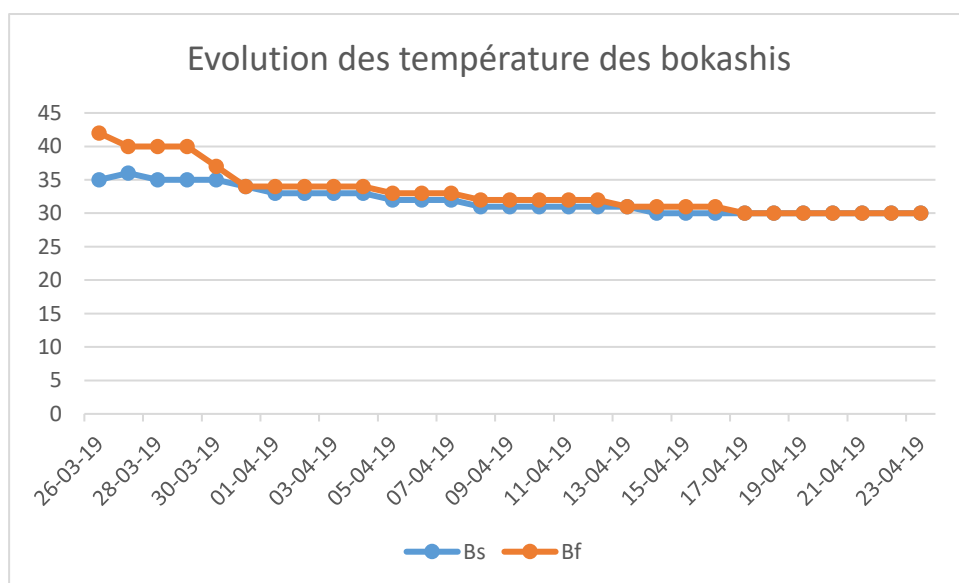


Figure 18 : Evolution de la température lors de la préparation des bokashis

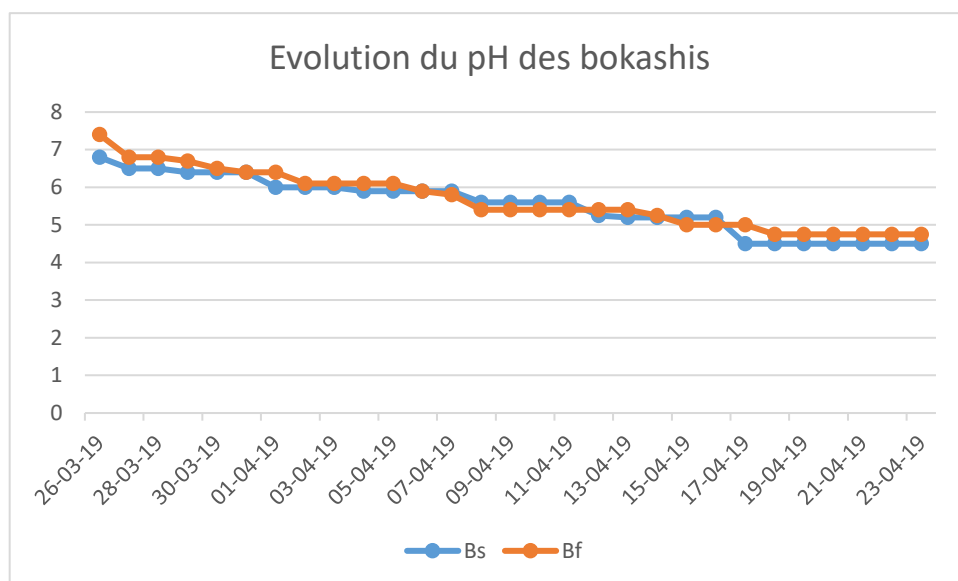


Figure 19 : Evolution du pH lors de la préparation des bokashis

3.2.5. Préparation du compost

Le compost du centre songhaï est produit à partir d'une large gamme de composants. Il est obtenu après valorisation des déchets décomposables des différentes sections de production, combiné avec la solution EMAS (Solution de Microorganismes Efficaces activée). L'attention est portée sur le rationnement des différentes matières utilisées pour avoir un produit de qualité. L'enrichissement du compost est basé sur les sources suivantes :

Source d'azote et d'éléments minéraux : Litière et fiente de volaille ;

Source de microorganismes : solution d'EMAS ;

Source de carbone : papier carton ; paille et résidus de récolte (feuilles sèches, résidus de jardin, etc.) ;

Source de sucre et vitamines: résidus de transformation (déchets d'ananas, mangue, fruits pourris...).

Les différents éléments sont apportés en couches successives en commençant par les résidus de récolte préalablement coupés (pour réduire la taille des particules et faciliter une décomposition rapide), en prenant le soin de les arroser avec la solution d'EMAS (2ml EMAS /1 l d'eau). L'ensemble du tas est couvert de paille pour garder l'humidité et protéger les microorganismes contre les rayonnements solaires. Ce procédé permet également de limiter les pertes par évaporation. Un arrosage est effectué chaque 2 semaines suivi d'un retournement chaque mois. Le compost mûr est obtenu après trois mois et est appliqué à raison de 2 kg/m².

3.2.6. Solution de biopesticide (EM₅)

Utilisée pour combattre les maladies et les insectes, la solution EM₅ est obtenue après fermentation, en présence de microorganismes efficaces, d'extraits de plantes dont les feuilles de neem (*Azadirachta indica*) et de tabac (*Nicotiana tabacum*), des fruits de piment séché (*Capsicum spp*) et des gousses d'ail (*Allium sativum*) (tableau 4). La durée de fermentation est de 14 jours, avec un pH<4.

Tableau 7: composition EM₅

Composition	Utilisation
10%(Vs) EM + 10%(Vs) Mélasse +10%(Vs) d'alcool + 10% (Vs) Vinaigre + 60% (Vs) d'eau + 15%(Vs) de feuilles de neem et de tabac, du piment, de l'ail, Durée fermentation : 2 semaines (pH<4) Durée conservation : 3 mois condition normale à l'abri de la lumière/ 6 mois chambre froide. Dosage d'application : 1l/100l d'eau en traitement préventif, 2-3 fois/semaine	lutter contre les insectes (mouches blanches, araignées rouges) et les maladies des plantes

Vs : Volume de la solution ; **EM** : solution liquide de Microorganismes Efficaces

✓ Préparation

Dans un premier temps, les composants seront prélevés en fonction du volume de la solution finale désiré, tout en respectant les proportions. Ainsi pour 10l de solution EM₅ à préparer, 1l de la solution liquide de EM, 1l de mélasse, 1l de vinaigre et 1 l d'alcool (70%) sont prélevés et mélangés de façon homogène. Une fois les plantes récoltées (1,5kg environ), elles sont coupées en morceaux de petite dimension (5 à 10 cm au maximum).

Dans un second temps, on procède au mélange de la solution liquide et des plantes avec de l'eau à raison de 6l dans un bidon, qui sera fermé hermétiquement pendant deux (2) semaines, pour permettre une fermentation anaérobique et la macération des plantes. Notons que pendant la phase de fermentation, le bidon est ouvert chaque semaine pour permettre l'évacuation des gaz.

3.3. Paramètres mesurés et données collectées

Pour mieux évaluer l'effet des différents traitements ; les différents paramètres ont été collectés:

3.3.1. Observations de terrain de la qualité du sol

Les observations sur le sol ont porté sur :

- Couleur
- pH (test colorimétrique)
- Texture (test du boudin)

3.3.2. Caractéristiques physiques et chimiques du sol d'étude

Un échantillon composite de 600 g sol a été prélevé entre 0-20 cm à l'aide d'une tarière et analysé au Centre Provincial de l'Agriculture et de la Ruralité de La Hulpe (Belgique).

- **Paramètre mesurés** : texture, pHeau et pHkcl ; taux de la matière organique ; le taux de carbone, l'azote total, le phosphore assimilable ; la CEC, la teneur en calcium et de magnésium.

3.3.3. Caractéristique chimique et hydrique du bokashi et du compost

Les caractéristiques chimiques des bokashis et du compost ont été analysées au Centre Provincial de l'Agriculture et de la Ruralité de La Hulpe.

3.4. Méthodes de collecte des données des paramètres de croissance

Dix (10) et cinq (5) plants ont été sélectionnés 3 jours après la transplantation sur chaque parcelle élémentaire (en suivant le sens des aiguilles d'une montre) pour réaliser les observations tout au long de l'essai, respectivement pour la culture d'amarante et de la laitue. A la suite de cette étape, après la reprise des plants soit une semaine pour les plants d'amarante et dix (10) jours pour la laitue, la collecte des données a démarré. Pour ne pas endommager les plants les mesures suivantes ont été effectuées :

- Plant d'amarante : Nombre de feuilles ; hauteur des plants, longueur feuille, diamètre au collet et le rendement à la récolte.

- Plant de laitue : Nombre de feuilles, hauteur des plants et diamètre couronne.

Les mesures sont prises tous les cinq jours pour toutes les cultures. La méthodologie de collecte se présente comme suit :

- La hauteur des plants : mesurée du collet à l'apex à l'aide du mètre en ruban (figures 20 c et d) ;
- Le nombre de feuilles : compté à la main et prend en compte toutes les feuilles des plants ;
- Le diamètre : mesuré au collet de chaque plant (figure 20 a) à l'aide d'un pied à coulisse électronique de 150 mm ;
- La longueur de la plus grande feuille : elle prend en compte la longueur du limbe de la feuille la plus longue ;
- Le diamètre de la couronne (figure 20 e) : il a été mesuré en considérant le diamètre formé par les feuilles des plants de laitue ;
- Le rendement : évalué à la récolte sur chaque parcelle élémentaire par une pesée de toute la biomasse récoltée à l'aide d'une balance de marque Lyon star ;

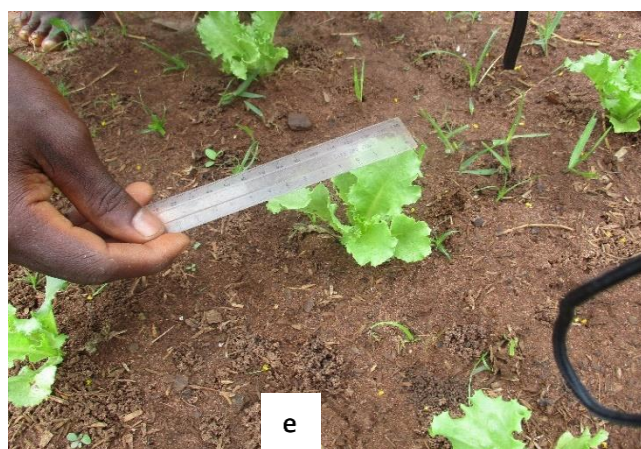
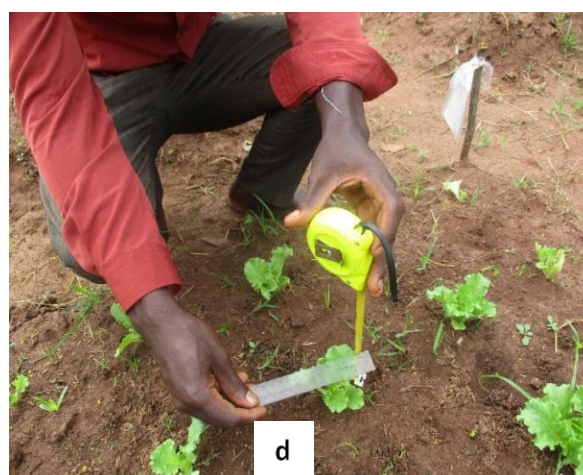
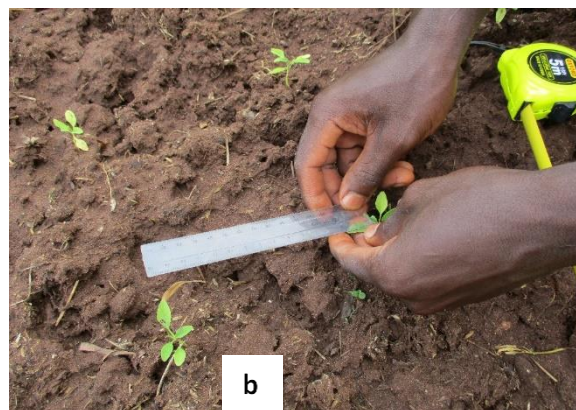
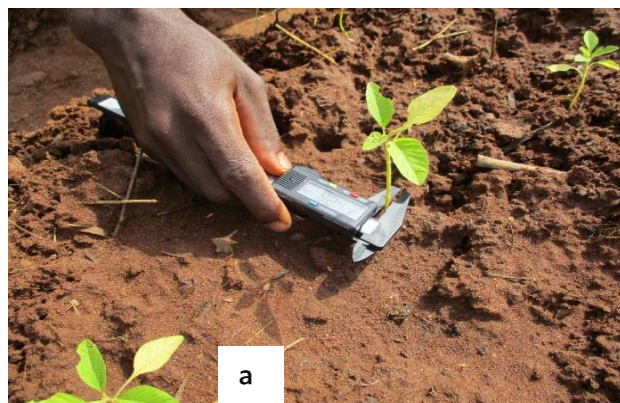


Figure 20 : Prise du diamètre au collet (a) ; Mesure de la longueur feuille (b) ; Mesure de la hauteur plant d'amarante (c) ; Mesure de la hauteur plant de laitue ; Mesure du diamètre couronne (e).

3.5. Rendement poids frais

Une fois que les cultures ont atteint la maturation pour la commercialisation (soit 30 jours après la transplantation pour l'amarante, et 35 jours après la transplantation pour la laitue) l'ensemble des plants par traitement et par parcelle sont récoltés et pesés individuellement à l'aide d'une balance de précision 2kg.

$$R(t/ha) = \text{poids mesuré} / \text{surface}$$

3.6. Données sur les maladies et attaques foliaires

Puisqu'il y a plusieurs maladies et attaques foliaires, la collecte des données a concerné l'identification des symptômes de chaque maladie et attaque pour chaque culture. La collecte des données a eu lieu de façon hebdomadaire une semaine après la reprise. Les différents symptômes considérés sont : feuilles détruites, petits trous ronds, feuilles pliées et enroulées, présence de galeries sur la feuille, chlorose, présence de poudre blanchâtre sur les feuilles, plants morts, tâches nécrosées, flétrissement de la plante ; qui sont identifiés à partir des guides d'identification (Guide de défense des cultures au Tchad (Bijlmakers & Verhoek, 1995) et du livre "Gestion intégrée des nuisibles en production maraîchères" (James *et al.*, 2010)). Les paramètres mesurés et les données collectées pour chaque type de symptôme sont consignés dans le tableau 8.

Tableau 8 : Paramètres et données collectées par symptôme

Paramètres	Formule	Données collectées
Incidence de l'attaque		
Pourcentage de plants atteints par planche	Nombre de plants atteints x 100/nombre de plants par planche	Les plants atteints sur chaque planche, le nombre de plants par planche
Sévérité de l'attaque au niveau des feuilles		
Nombre moyen de feuilles atteintes par plant	Nombre total de feuilles atteintes sur l'ensemble des plantes / nombre de plants atteints	Nombre de feuilles atteintes par plant ; nombre de plants atteints par parcelle

➤ Bioagresseurs

Plusieurs bioagresseurs ont été suivis lors de l'expérimentation sur chaque culture, mais ceux qui seront évalués sont :

Cultures d'amarante : perforation et destruction des feuilles causées par l'action combinée de la pyrale de la betterave et du criquet puant (*Zonocerus variegatus*) (figure 21). La chlorose observée au niveau des plants serait due à une carence en azote et à la senescence des vieilles feuilles.

Culture de laitue : Nécrose des feuilles causées par *Cercospora longissima* (figure 22a). La chlorose observée au niveau des plants serait due à une carence en azote et à la senescence

des vieilles feuilles. Aussi la présence de nématodes (figure 22 b) a été notée sur une parcelle fertilisée avec le bokashi Bf (litière de volaille comme ferment) sans apport de la solution de biopesticide (T1).

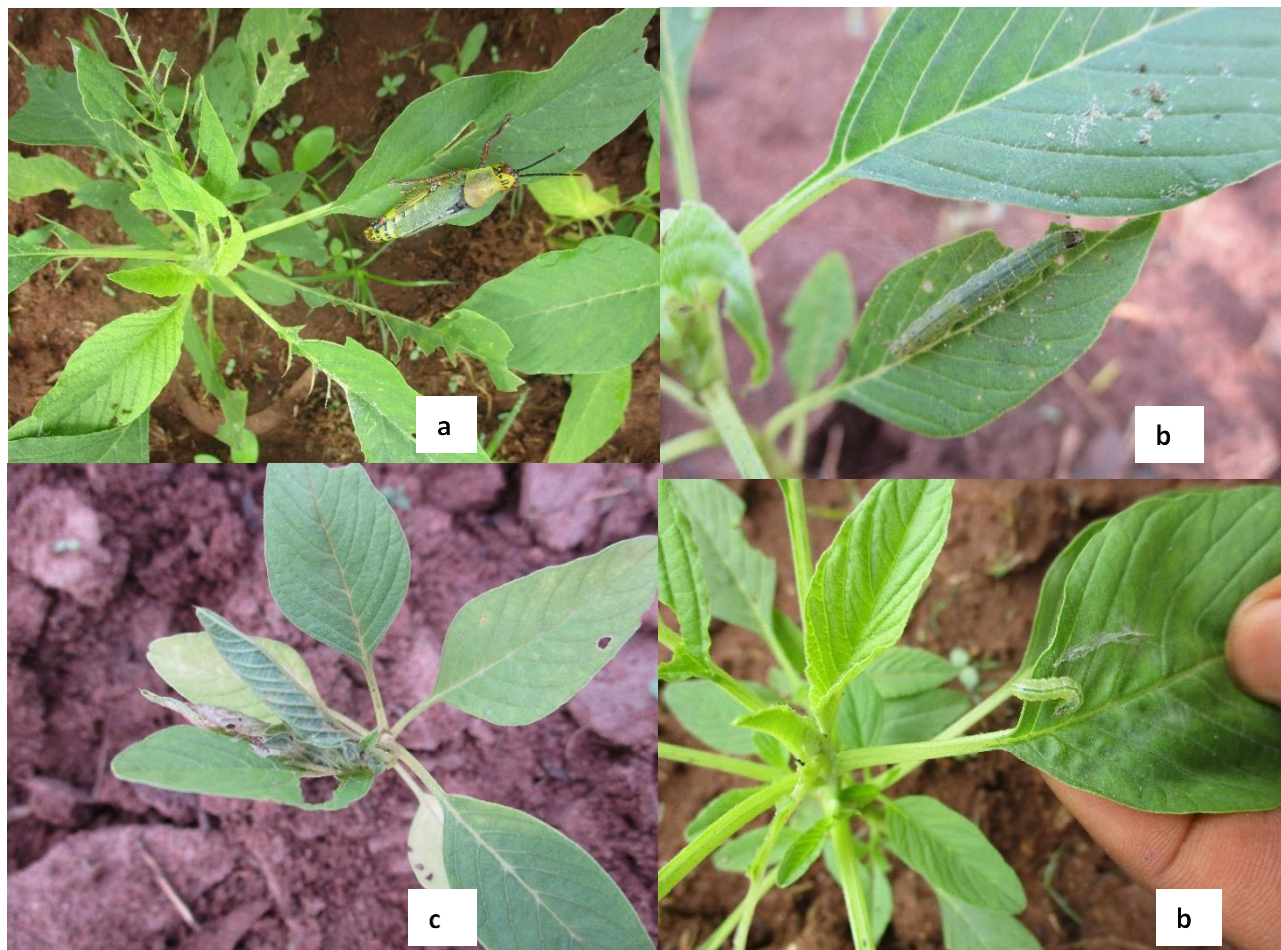


Figure 22 : insectes defoliateurs ; (a) criquet puant; (b, d) chenille pyrale; (c) enclos chenille pyrale

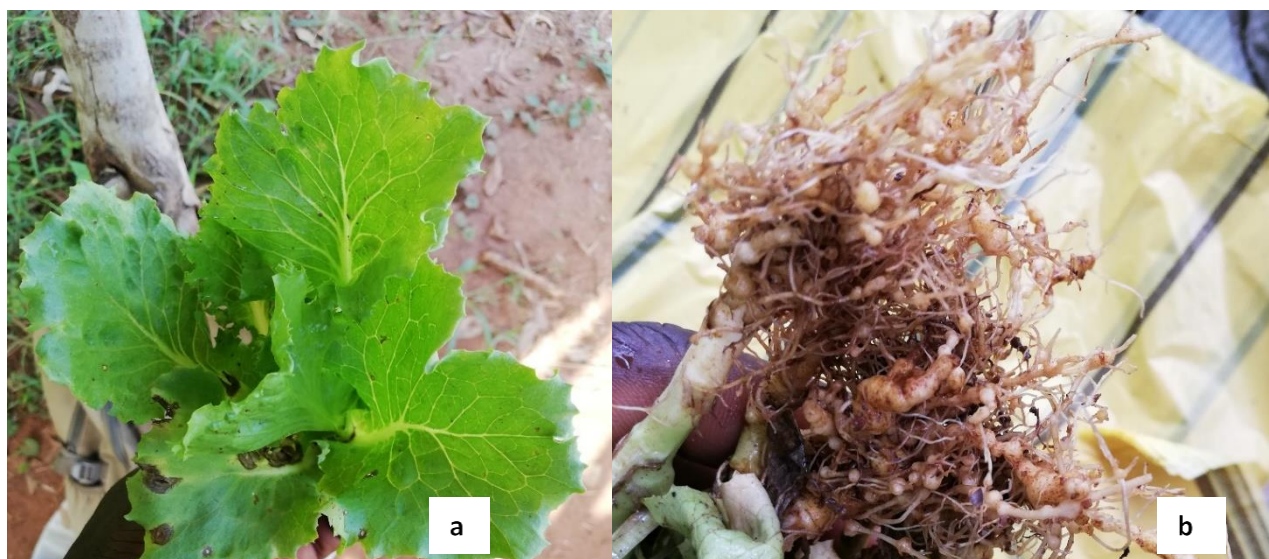


Figure 21 : (a) Tâches nécrotiques; (b) Nématodes sur racines

3.7. Analyse économique

Il a été question de calculer la marge nette générée par les différents traitements.

➤ Calcul de la rentabilité économique

La rentabilité économique a été évaluée par le calcul de la valeur ajoutée brute. Elle prend en compte les valeurs du produit brute (PB) et des consommations intermédiaires (CI).

$$VAB = PB - CI$$

Le calcul du produit brute a été fait à partir des références obtenues sur le marché. Ainsi le prix d'un pied de plant de laitue de 150 g est vendu en moyenne à 75 FCFA. Celui d'une botte d'amarante de 300g est vendue à 50 FCFA, couvrant la période de mai à Juin. Le calcul de la consommation intermédiaire pour la production des légumes prend en compte le coût des matières premières et des services achetés par les producteurs pour la production des légumes.

3.8. Analyse Statistique

Pour apprécier l'efficacité des bokashis du compost et de la solution de biopesticides promus par le centre Songhaï sur le taux de mortalité et les paramètres de croissance (hauteur, diamètre au collet/ couronne longueur de la plus grande feuille), les modèles linéaires à effets mixtes sur données longitudinale ont été réalisés en utilisant la fonction *lmer* (Kuznetsova et al., 2017) des packages *lmerTest* et *lme4*. L'amendement, l'application et la période ont été considérés comme facteurs fixes, et le bloc en tant que facteur aléatoire. Le plan étant parfaitement équilibré, les statistiques descriptives (moyennes et écart-type) ont été calculées et ont servi à réaliser des courbes de tendances montrant l'évolution de chacun de ses paramètres dans le temps.

En ce qui concerne, le taux de reprise, la sévérité et l'incidence, des modèles linéaires à effets mixtes ont été réalisés. Des statistiques descriptives (moyennes et écart-type/ coefficient de variation) ont été calculées et ont servi à réaliser des boxplots ou histogrammes à titre illustratif. Pour ce qui est des paramètres de rendement, la normalité et l'homogénéité des données étaient respectivement vérifiées par les tests de Shapiro-Wilk et Leven. Le non-respect de ces conditions a conduit à la réalisation du test de Kruskal-Wallis ayant permis de mettre en évidence les différences de médiane entre les traitements (amendement et application). La fonction *posthoc.kruskal.dunn.test* des packages *PMCMR* et *multcompView* (Pohlert T, 2014) a permis de réaliser le test de structuration de médiane de Tukey et des boxplots (boîtes à moustaches) ont été représentés par la suite afin de décrire les différences observées.

Toutes les analyses statistiques ont été réalisées dans le logiciel R version 3.5.1 (R Core Team, 2018).

4. Résultats

4.1. Résultats des analyses physico-chimiques du sol et des amendements

4.1.1. Composition nutritives des amendements utilisés

Le tableau 9 présente les résultats de l'analyse chimique complète des différents amendements utilisés lors de l'expérimentation. Les différents bokashis présentent un pH acide et un rapport C/N relativement élevée (environ 20, indice d'un bon potentiel de production d'humus). Par contre, le compost (Co), présente un pH plus au moins neutre (7,6) ; et un faible rapport C/N 10,5, indice d'un faible potentiel de production de l'humus). La composition en éléments fertilisants principaux (N, P, K) varie en fonction du type d'amendements. Les bokashis Bs et Bf présentent des teneurs plus élevées en N, P et K, comparés au compost Co. La teneur en matière organique du compost est faible (10 % de la MS).

Tableau 9 : Résultats des analyses chimiques des différents amendements

Déterminations	Bokashi Bf		Bokashi Bs		Compost Co	
	Sur matière fraîche	Sur matière sèche	Sur matière fraîche	Sur matière sèche	Sur matière fraîche	Sur matière sèche
Matière Sèche	56,7 %		57,8 %		76,2 %	
Cendres totales	12,42 %	21,90 %	7,67 %	13,28 %	68,48 %	89,89 %
Cendres insolubles	6,60 %	11,64 %	2,87 %	4,97 %	60,21 %	79,04 %
Chlorure	0,07 %	0,12 %	0,00 %	0,00 %	0,06 %	0,07 %
Matière organique totale	443 kg/T	78,10 %	501 kg/T	86,72 %	77 kg/T	10,11 %
Azote ammoniacal N-NH ₄ ⁺	1,27 kg/T	0,22 %	1,76 kg/T	0,30 %	<à 0,001%	
Azote total N	12,18 kg/T	2,15 %	15,34 kg/T	2,66 %	4,28 kg/T	0,56 %
Phosphore P ₂ O ₅	9,66 kg/T	1,70 %	27,97 kg/T	4,84 %	6,97 kg/T	0,91 %
Potassium K ₂ O	6,89 kg/T	1,21 %	9,68 kg/T	1,68 %	3,44 kg/T	0,45 %
Calcium CaO	18,96 kg/T	3,34 %	0,66 kg/T	0,11 %	20,54 kg/T	2,70 %
Magnésium MgO	3,32 kg/T	0,58 %	8,49 kg/T	1,47 %	1,60 kg/T	0,21 %
Sodium Na ₂ O	1,09 kg/T	0,19 %	0,05 kg/T	0,01 %	1,14 kg/T	0,15 %
Fer (Fe)	473 mg/kg	834 mg/kg	131 mg/kg	226 mg/kg	2.595 mg/kg	3.406 mg/kg
Manganèse Mn	114 mg/kg	200 mg/kg	147 mg/kg	255 mg/kg	120 mg/kg	157 mg/kg
Cuivre Cu	6 mg/kg	11 mg/kg	-	<5 mg/kg	11	15 mg/kg
Zinc Zn	49 mg/kg	86 mg/kg	43 mg/kg	74 mg/kg	81 mg/kg	106 mg/kg
pH	5,0		4,6		7,6	
Rapport C/N*	21,1		19		10,5	

Source : Centre Provincial de l'Agriculture et de la Ruralité (2019)

NB : Rapport C/N <15: matière à faible rapport C/N, produit peu d'humus mais décomposition et libération rapide d'azote ; Rapport C/N compris entre 15 et 30, permet une bonne humification, les microorganismes trouvent assez d'azote pour leur croissance

4.1.2. Composition physico-chimique du sol

Les tableaux 10 et 11 présentent respectivement les résultats des analyses granulométriques et chimiques de l'échantillon composite du sol. Ainsi, le sol de notre site expérimental a une texture sableuse à dominance de sable grossier (73,7%). D'après la caractérisation du niveau de fertilité des sols selon Quemada et Cabrera (1995) cité par Igué *et al.*, 2013, ce sol se retrouve dans la classe IV (sol présentant plus d'une limitation sévère). Les limitations sont remarquées au niveau des teneurs en N, P et K et de la CEC. Ainsi le sol du site expérimental à un très faible niveau de fertilité.

Tableau 10 : Résultat de l'analyse granulométrique

Argile % < 0,002 mm	Limon fin % 0,002 - 0,02 mm	Limon grossier % 0,02 - 0,05 mm	Sable fin % 0,05 - 0,2 mm	Sable grossier % 0,2 - 2 mm
» 6,9	» 1,8	» 2,2	» 15,5	» 73,7
Méthodes PTPS1 : Granulométrie: Dérivée de NF X 31-107.				

Tableau 11 : (a ;b) résultat des analyses chimiques du sol (0-20 cm)

a		b	
Eléments	Teneurs en mg/100g	Paramètres	Teneurs
Phosphore (P)	0,8	Fer (Fe)	59 mg/kg
Potassium (K)	<2,5	Manganèse (Mn)	231 mg/kg
Magnesium (Mg)	5	Sodium (Na)	2 mg/kg
Calcium (Ca)	52	Azote total	<0,047 %
pH-KCl 1N	5,4	Carbone/Azote	13
Carbone organique	<5,3 g/kg	Chlorure de sodium	2,9 mg/100g
Humus	<1.1 %	Conductivité	22
		pH-eau	6,4
		Capacité d'échange	1,5 meq/100g
		Cationique	

Source : Centre Provincial de l'Agriculture et de la Ruralité (2019)

4.2. Evaluation de l'effet des bokashis, du compost et de la solution de biopesticide promus par le centre Songhaï sur la production de l'amarante et l'incidence de ses bioagresseurs

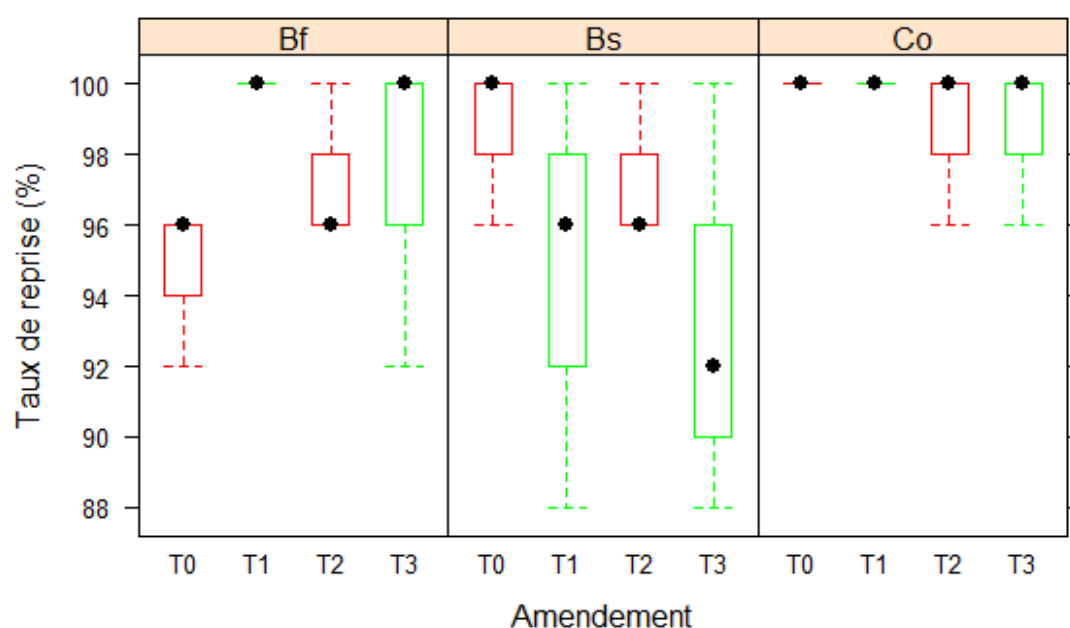
4.2.1. Taux de reprise de la culture d'amarante

Les résultats des modèles linéaires à effets mixtes testant l'effet des amendements et de l'application de biopesticides sur le taux de reprise des plants d'amarante ont indiqué que ni l'amendement, ni l'application de biopesticide n'induisaient un effet significatif ($p > 0.05$) sur la reprise des plants d'amarantes (tableau 12). A la date du 05 mai 2019, le taux de reprise par

unité parcelaire était supérieur à 90% ; les meilleures reprises ont été notées avec les traitements (BfT1, CoT0, CoT1), pour lesquelles aucune mortalité n'a été relevée (figure 23).

Tableau 12: Effet des amendements et de leur application sur le taux de reprise des plants d'amarantes : résultats des modèles linéaires à effets mixtes

Sources de variations	Valeur de F	Pr (>F)
Amendements	3,17	0,060
Applications	0,50	0,686
Amendement × Application	1,33	0,281



Légende :

Co : Compost Songhaï ; Bs : bokashi avec feuilles de moringa comme ferment ; Bf : bokashi avec litière de volailles comme ferment ; (T0=aucun amendement-aucun biopesticide, T1=amendement seul, T2=amendement+1traitement biopesticide/semaine et T3=amendement+2traitements

Figure 23 : Boxplot du taux de reprise de l'amarante

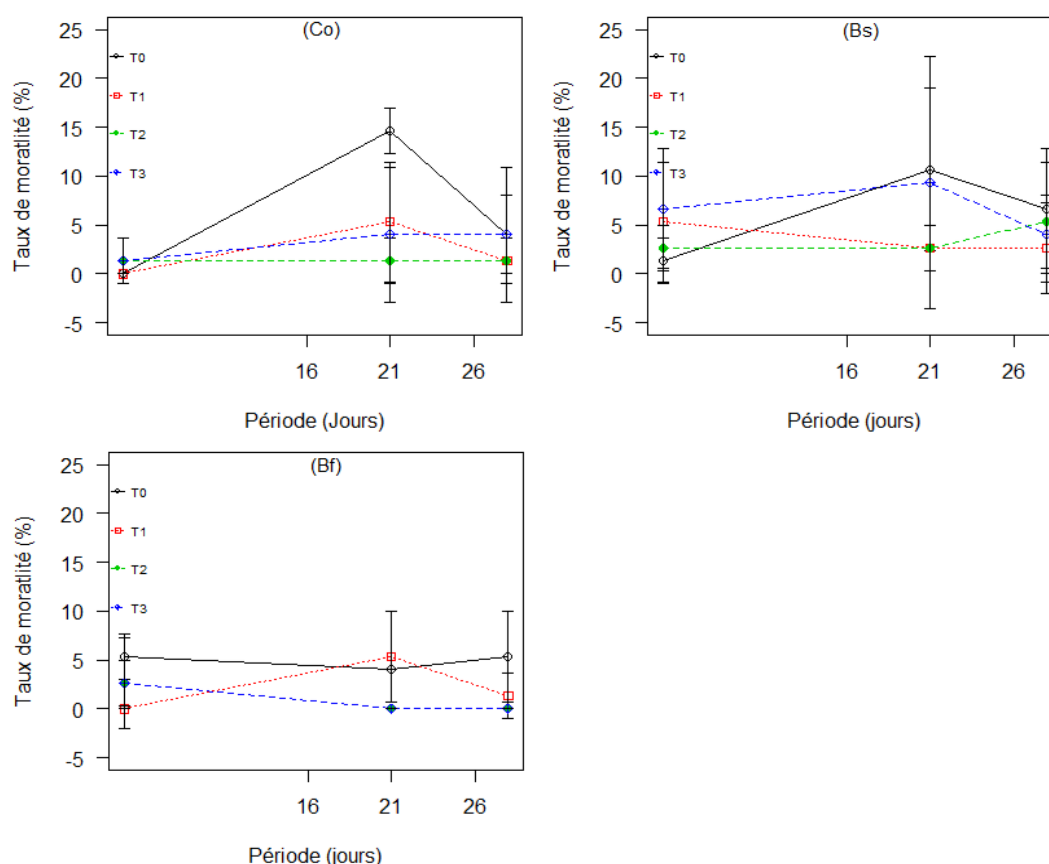
4.2.2. Effet sur le taux de mortalité des cultures d'amarantes

Les résultats des modèles linéaires à effets mixtes testant l'effet des amendements et de l'application de biopesticides sur le taux de mortalité des plants d'amarante ont indiqué que les différences observées étaient seulement dues aux effets des facteurs principaux (le type d'amendement et l'application de biopesticide) ($p < 0.05$) (tableau13). D'après l'analyse de la figure 24, le taux de mortalité après la reprise (05 Mai 2019), augmente et atteint sa valeur élevée le 21 Mai 2019. De l'analyse statistique, on retient que le non apport de compost et d'application de biopesticide (CoT0) entraîne une augmentation du taux de mortalité (14,67%), significativement plus élevée comparée aux autres traitements (CoT1, CoT3 et CoT1).

S'agissant de l'application des bokashis, l'apport ou non du bokashi à base de feuille de Moringa (Bs) associé à l'application du biopesticide à raison de deux (2) fois par semaine, soient BsT0 et BsT3 induisent des différences significatives comparées aux autres traitements (BsT1 et Bs T2). Le taux de mortalité est par contre plus élevé avec le traitement témoin (10,67%). Pour ce qui en est du bokashi à base de fiente de volaille, l'application du biopesticide réduit de manière significative le taux de mortalité comparé aux traitements (Bf T0 (4,84%) et Bf T1 (5,33%)).

Tableau 13 : Effet des amendements et de leur application sur le taux de mortalité des plants d'amarante : résultats des modèles linéaires à effets mixtes.

Sources de variations	Valeur de F	Pr (>F)
Période	1.03	0.310
Amendement	3.27	0.042
Application	3.45	0.019
Amendement × application	0.52	0.789



Légende :

Co : compost Songhaï ; Bs : bokashi avec feuilles de moringa comme ferment ; Bf : bokashi avec litière de volailles comme ferment ; (T0=aucun amendement-aucun biopesticide, T1=amendement seul, T2=amendement+1traitement biopesticide/semaine et T3=amendement+2traitements biopesticide/semaine)

Figure 24 : Variation du taux de mortalité des plants d'amarantes suivant les amendements et les applications

4.2.3. Effet sur les paramètres de croissance

Le tableau 14 présente les résultats des modèles linéaires à effets mixtes testant l'effet des amendements et des applications de biopesticide sur la croissance en hauteur, du diamètre au collet, de la longueur de la plus grande feuille et de l'émission des feuilles des plants d'amarantes.

Tableau 14 : Effet des amendements et de leur application sur les paramètres des plants d'amarante : résultats des modèles linéaires à effets mixtes

Sources de variation	Hauteur		Diamètre au collet		Longueur des feuilles		Nombre de feuilles	
	Valeur de F	Pr (>F)	Valeur de F	Pr (>F)	Valeur de F	Pr (>F)	Valeur de F	Pr (>F)
Période d'obs	34,33	< 0,001	1763,16	< 0,001	1521,06	< 0,001	10065,00	< 0,001
Amendement	72,24	< 0,001	85,54	< 0,001	75,70	< 0,001	28786,00	< 0,001
Applications	2003,37	< 0,001	100,40	< 0,001	86,38	< 0,001	25652,00	< 0,001
Amendement × Application	3,99	0,001	12,96	< 0,001	7,99	< 0,001	9696,00	< 0,001

➤ Effet des amendements et de leur application sur la hauteur des plants d'amarante

Quel que soit le type d'amendement et la fréquence d'application du biopesticide, les plants d'amarante croissent lentement les 10 premiers jours après la reprise. Après, une accélération de la croissance en hauteur est notée, influencée par les différents traitements (figure 25). Selon les amendements et leurs applications, bien que l'allure de la hauteur soit la même, les effets varient d'un traitement à un autre.

- Effet des amendements avec /sans biopesticide sur la hauteur des plants

Pour l'application du compost, des différences significatives sont obtenues au 25^{ième} jour avec l'apport du compost avec ou sans biopesticide (T1, T2 et T3) comparé au témoin (T0). La meilleure croissance est obtenue lorsque le biopesticide est appliqué deux fois par semaine CoT3 (14,7cm) (figure 25 a). Par contre, avec l'application des bokashis Bs et Bf (figures 26 b et c) des différences très hautement significatives sont observées à partir du 25^{ième} jour (soit 25 jours après la transplantation) avec l'apport d'amendement avec/sans biopesticide comparé au témoin. De même, les meilleures hauteurs sous bokashis sont obtenues lorsque le biopesticide est appliqué une fois par semaine (BfT2 (24,95 cm) BsT2 (24,35 cm)).

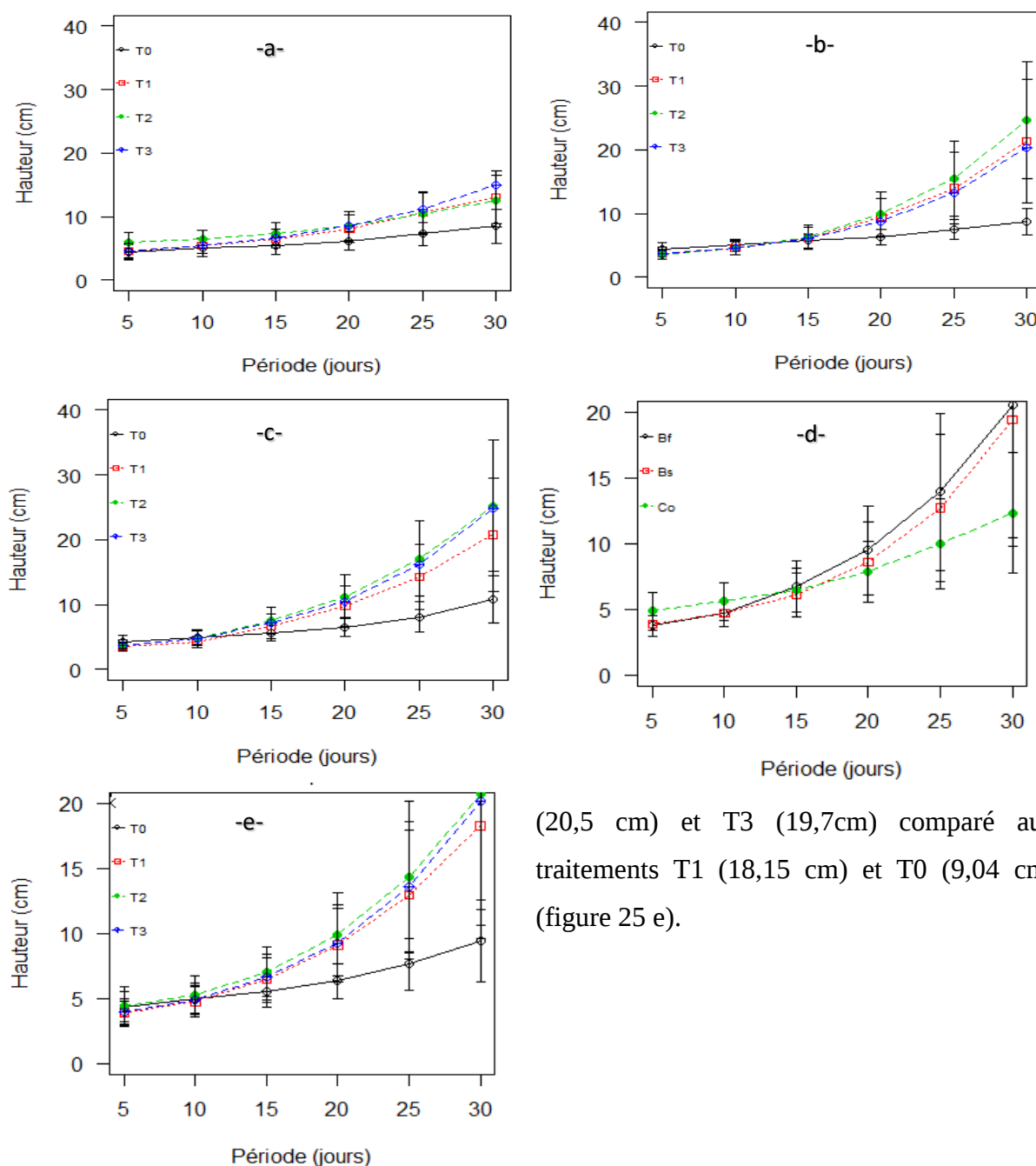
- Effet des amendements sur la hauteur des plants d'amarante

Parallèlement, l'apport des bokashis Bf et Bs permettent d'induire de meilleure croissance, avec des différences significatives comparées à celui du compost à partir du 25^{ième} jour pour atteindre des valeurs moyennes respectives de 20,08 cm, 18,55 cm et 11,93 cm au 30^{ième} jour (figure 25d).

- Effet des applications sur la hauteur des plants d'amarante

L'apport d'amendement à la dose de 20t/ha, avec/sans l'application de biopesticide (T1, T2 et T3) induit une croissance plus élevée très hautement significative de la hauteur des plants comparée au traitement témoin (T0) au 30^{ème} jour.

Par contre, les hauteurs les plus élevées sont obtenues avec l'application de biopesticide T2



(20,5 cm) et T3 (19,7cm) comparé aux traitements T1 (18,15 cm) et T0 (9,04 cm) (figure 25 e).

Légende :

Co : compost Songhai ; Bs : bokashi avec feuilles de moringa comme ferment ; Bf : bokashi avec litière de volailles comme ferment ; (T0=aucun amendement-aucun biopesticide, T1=amendement seul, T2=amendement+1traitement biopesticide/semaine et T3=amendement+2traitements biopesticide/semaine)

Figure 25 : Evolution de la hauteur des plants ; (-a-) : effet du compost Co ; (-b-) : effet du bokashi Bs ; (-c-) : effet du bokashi Bf ; (-d-) : effet des amendements ; (-e-) : effet des applications

➤ **Effet des amendements et de leur application sur l'émission des feuilles d'amarante**

Tout comme la hauteur, l'émission des feuilles évolue lentement les 10 premiers jours après la reprise. La vitesse d'émission des feuilles s'accélère les jours suivants quel que soit le type d'amendement et la fréquence d'application de biopesticide (figure 26).

- **Effet des amendements avec /sans biopesticide sur l'émission des feuilles**

Des effets similaires à ceux observés pour la hauteur sont obtenus en ce qui concerne l'émission des feuilles des plants d'amarante. Ainsi on note une augmentation significative du nombre de feuilles avec l'application du compost (20 contre 12 feuilles pour le traitement témoin) au 30^{ième} jour. Ce nombre est considérablement accru avec l'utilisation du biopesticide deux fois par semaine. (figure 26 a).

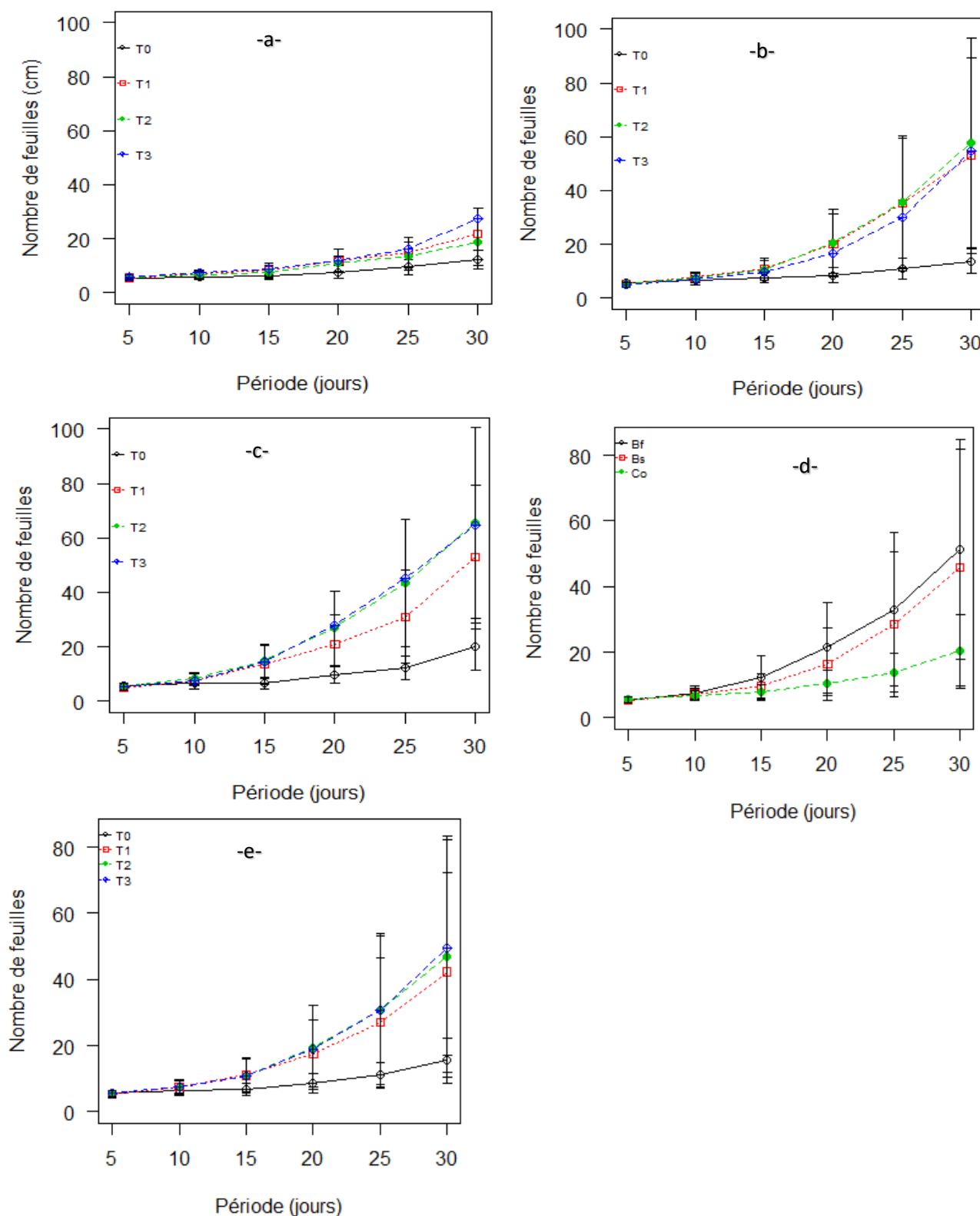
Quant à l'application des bokashis Bs et Bf (figures 26 b et c), des différences significatives sont observées plutôt à partir du 20^{ième} jour avec l'apport d'amendement avec/sans biopesticide comparé au témoin. Ces différences sont hautement significatives avec les bokashi Bf et Bs au 30^{ième} jour (soit 25 jours après la reprise). Les nombres de feuilles les plus élevés sont obtenus lorsque le biopesticide est appliqué une fois par semaine (BfT2 (66 feuilles) et BsT2 (58 feuilles)).

- **Effet des amendements sur l'émission des feuilles d'amarante**

Les bokashis Bf et Bs, donnent les meilleurs nombres de feuilles avec des différences significatives comparées à celui du compost, ceci à partir du 20^{ième} jour (figure 27 c). En moyenne, 51, 45 et 20 feuilles sont obtenues respectivement avec l'apport des bokashis Bf, Bs et du compost Co au 30^{ième} jour.

- **Effet des applications sur l'émission des feuilles d'amarante**

Bien que l'application de biopesticide à raison de deux et d'une fois par semaine semble augmenter le nombre de feuilles des plants d'amarante aucune différence significative n'a été observé par rapport à l'absence de traitement biopesticide. Comparé au traitement témoin (T0), l'apport des amendements à la dose de 20t/ha, avec/sans l'application de biopesticide (T1, T2 et T3), améliore significativement la vitesse d'émission des feuilles, déjà à partir du 20^{ième} jour; pour des valeurs maximales au 30^{ième} jour à raison de 49, 47, 43 et 15 feuilles respectivement pour les traitements T3, T2, T1 et T0.



Légende :

Co : compost Songhai ; Bs : bokashi avec feuilles de moringa comme ferment ; Bf : bokashi avec litière de volailles comme ferment ; (T0=aucun amendement-aucun biopesticide, T1=amendement seul, T2=amendement+1traitement biopesticide/semaine et T3=amendement+2traitements biopesticide/semaine)

Figure 26 : Evolution du nombre de feuilles des plants d'amarante ; (-a-) : effet du compost Co ; (-b-) : effet du bokashi Bs ; (-c-) : effet du bokashi Bf ; (-d-) : effet des amendements ; (-e-) : effet des applications

➤ **Effet des amendements et de leur application sur la longueur de la plus grande feuille des plants d'amarante**

L'évolution de la longueur plus grande feuille varie comme les autres paramètres précédemment décrits, selon l'effet des amendements et de leur application sur le comportement de l'amarante. La longueur de la plus grande feuille comme le nombre de feuilles, évolue lentement les 5 premiers jours après la reprise, puis s'accélère les jours suivants jusqu'au 30^{ième} jour quel que soit le type de traitement (figure 27).

- **Effet des amendements avec /sans l'application de biopesticide sur l'élongation des feuilles.**

La longueur de la plus grande feuille des plants d'amarante évolue en fonction du type d'amendement et de l'application de biopesticide (figures 27 a, b, c). Tout comme le nombre de feuilles, l'apport du compost à la dose de 20t/ha avec/sans biopesticide (CoT1 et Co T2 et CoT3) accélère, de manière significative l'élongation des feuilles d'amarante à partir du 25^{ième} jour comparé au témoin (CoT0). En cela, l'élongation des feuilles est plus marquée avec l'apport du biopesticide à raison de deux applications par semaine, pour une valeur moyenne de 7,49 cm au 30^{ième} jour. Bien que la vitesse d'élongation soit plus marquée avec l'apport des bokashis comparé au compost, les bokashi Bs et Bf avec/sans biopesticide induisent des différences hautement significatives au 20^{ième} jour, comparé au témoin. A partir du 25^{ième} jour, ces différences sont hautement et très hautement significatives respectivement avec le bokashi Bf et Bs. Ainsi, sous le contrôle des bokashis Bf et Bs, l'apport du biopesticide une fois par semaine, améliore l'élongation des feuilles avec des valeurs moyennes respectives 12,05 et 10,77 cm (figures 27 b et c).

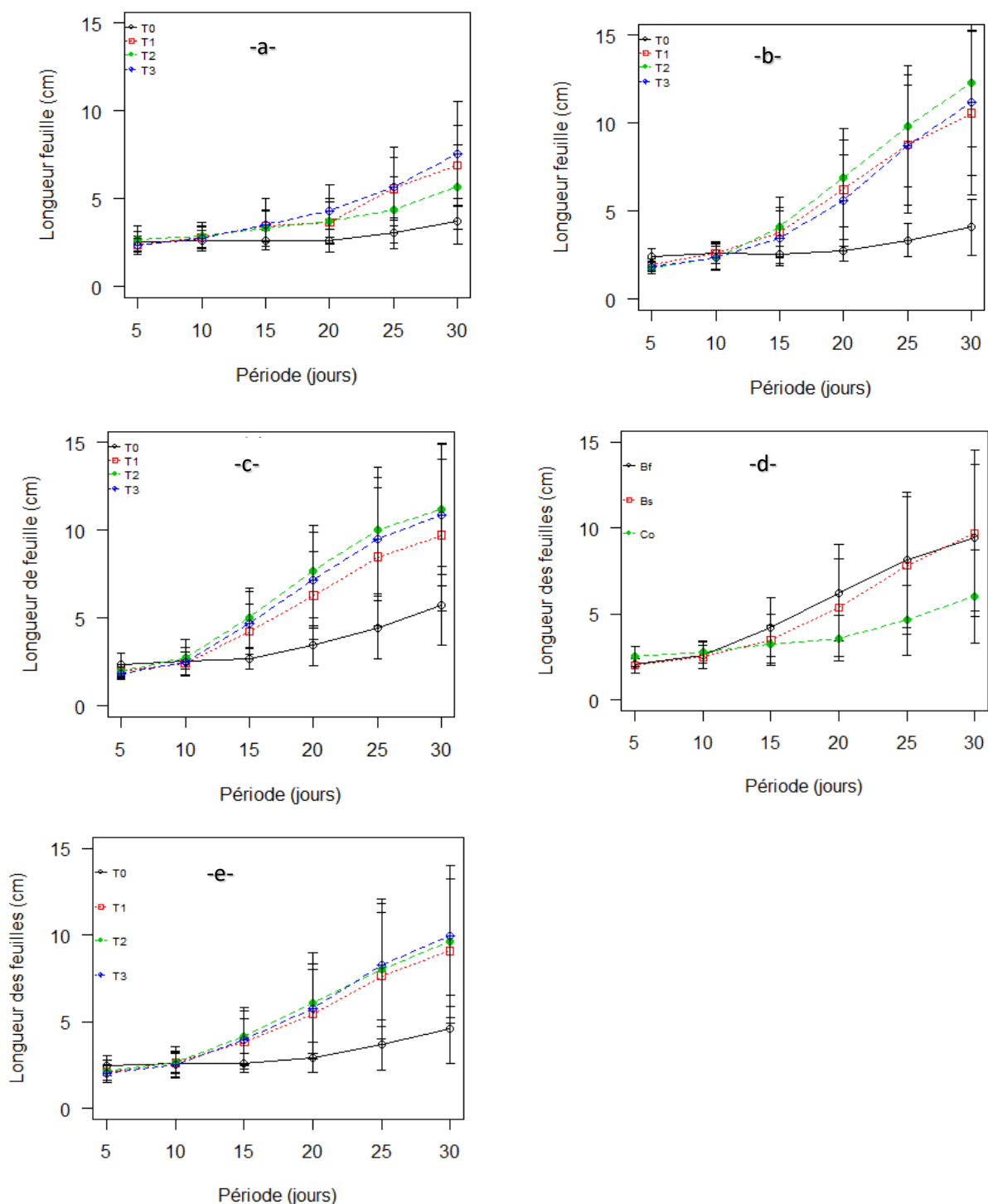
- **Effet des amendements sur l'élongation des feuilles d'amarante**

Quinze (15) jours après la reprise des plants d'amarante, des différences significatives sont remarquées avec l'apport des bokashis comme fumure de fond comparé à celui du compost. Les élongations maximales en feuilles ont été obtenues avec les bokashi Bs (9, 16cm) et Bf (9 cm). L'apport du compost a induit une faible élongation à raison de 5,61 cm au 30^{ième} jour (figure 27 d).

- **Effet des applications sur l'élongation des feuilles d'amarante**

Bien que des différences très hautement significatives sont obtenus avec l'apport d'amendement avec/sans biopesticide (T1, T2, T3) comparé au témoin (T0) ; aucune différence n'est observée entre les applications T1, T2 et T3. Par contre, les élongations les plus élevées sont obtenus grâce à l'application de biopesticide (T3, T2) comparées aux traitements sans

biopesticide T1 et T0 avec des valeurs moyennes respectives de 9,5 ; 9,36 ; 8,74 et 3,71 cm (figure 27 e).



Légende :

Co : compost Songhai ; Bs : bokashi avec feuilles de moringa comme ferment ; Bf : bokashi avec litière de volailles comme ferment ; (T0=aucun amendement-aucun biopesticide, T1=amendement seul, T2=amendement+1traitement biopesticide/semaine et T3=amendement+2traitements biopesticide/semaine)

Figure 27 : Variation de la longueur de la plus grande feuilles des plants d'amarantes suivant les amendements et leur application ; (-a-) : effet du compost Co ; (-b-) : effet du bokashi Bs ; (-c-) : effet du bokashi Bf ; (-d-) : effet des amendements ; (-e-) : effet des applications.

➤ **Effet des amendements et de leur application sur le diamètre au collet des plants d'amarante**

La vitesse de croissance du diamètre au collet évolue lentement les cinq (5) premiers jours après la reprise, puis s'accélère les jours suivants (figure 28).

- **Effet des amendements avec /sans l'application de biopesticide sur la croissance du diamètre au collet**

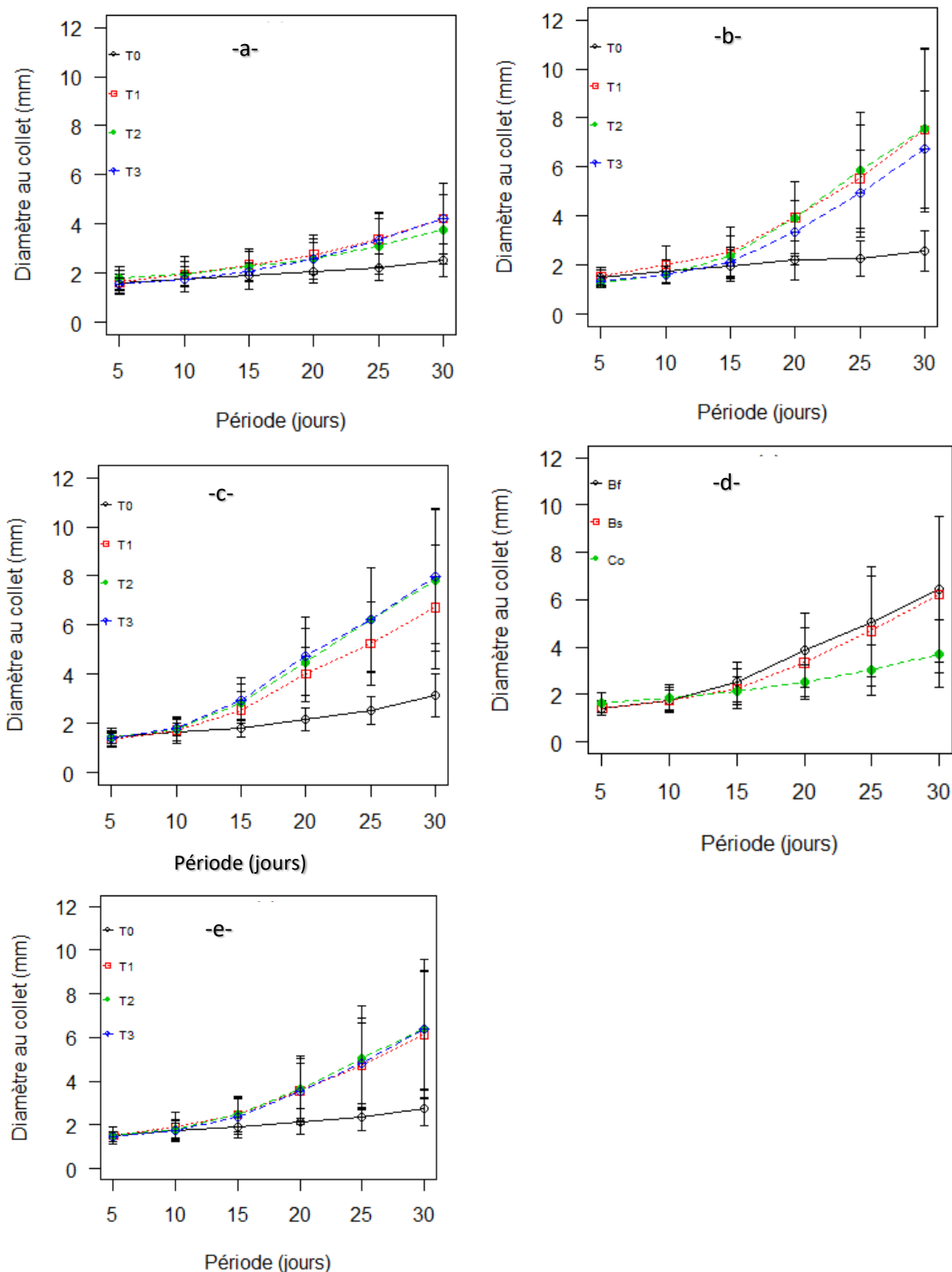
En fonction du type d'amendement, les courbes de croissance présentent les mêmes allures avec des différences (figures 28 a, b et c). Le compost associé avec ou sans biopesticide, permet d'accélérer la vitesse de croissance des plants d'amarante. A partir du 25^{ième} jour, des différences significatives sont notées entre les traitements avec ou sans biopesticide comparé au témoin. Le diamètre le plus élevé est obtenu avec une fréquence d'application de deux fois par semaine du biopesticide (3,86 mm). Bien que des différences très hautement significatives soient notées avec l'apport des bokashis comparé au traitement témoin individuel, les meilleures croissances des diamètres sont obtenues au niveau du bokashi Bs avec l'apport du traitement biopesticide une fois par semaine (BsT2), et avec une application de deux fois par semaine (T3). Les valeurs moyennes relevées au 30^{ième} jour pour le bokashi Bs et Bf sont de l'ordre de 7,30 mm (BsT2) et 7,72 mm (BfT3).

- **Effet des amendements sur le diamètre au collet**

Le développement du diamètre est influencé par le type d'amendement. Les bokashis permettent une croissance significativement plus élevée par rapport à celle du compost. De même, cette différence est plus marquée avec le bokashi à base de fiente de volaille. Les valeurs moyennes relevées avec l'apport des amendements de bokashis Bf et Bs et celui du compost au 30^{ième} jour sont de : 6,02 mm (Bf), 5,92 mm (Bs) et de 3,21 mm (Co) (figure 28 d).

- **Effet des applications sur le diamètre au collet**

S'agissant de l'effet des traitements, des différences significatives sont notées entre l'apport d'amendement avec ou sans biopesticide comparé au témoin. Cette différence est marquée déjà à partir du 20^{ième} jour. Les diamètres les plus élevés sont obtenus lorsque le biopesticide est appliqué une (1) et deux (2) fois par semaine pour des valeurs respectives de 6,04 mm et 6,03 mm (figure 28e).



Légende :

Co : compost Songhaï ; Bs : bokashi avec feuilles de moringa comme ferment ; Bf : bokashi avec litière de volailles comme ferment ; (T0=aucun amendement-aucun biopesticide, T1=amendement seul, T2=amendement+1traitement biopesticide/semaine et T3=amendement+2traitements biopesticide/semaine)

Figure 28 : Evolution du diamètre au collet ; (-a-) : effet du compost Co ; (-b-) : effet du bokashi Bs ; (-c-) : effet du bokashi Bf ; (-d-) : effet des amendements ; (-e-) : effet des applications

4.2.4. Effet des bokashis, du compost et du biopesticide sur le rendement de l'amarante

Les résultats des tests de Kruskal-wallis testant les effets des amendements et applications sur les rendements à la première coupe et total ont montré que les facteurs principaux de même que leur interaction induisaient un effet significatif ($p < 0,05$) (tableau 15).

Tableau 15 : Effet des amendements et de leur application sur le rendement des plants d'amarantes : résultats des tests de kruskal-wallis

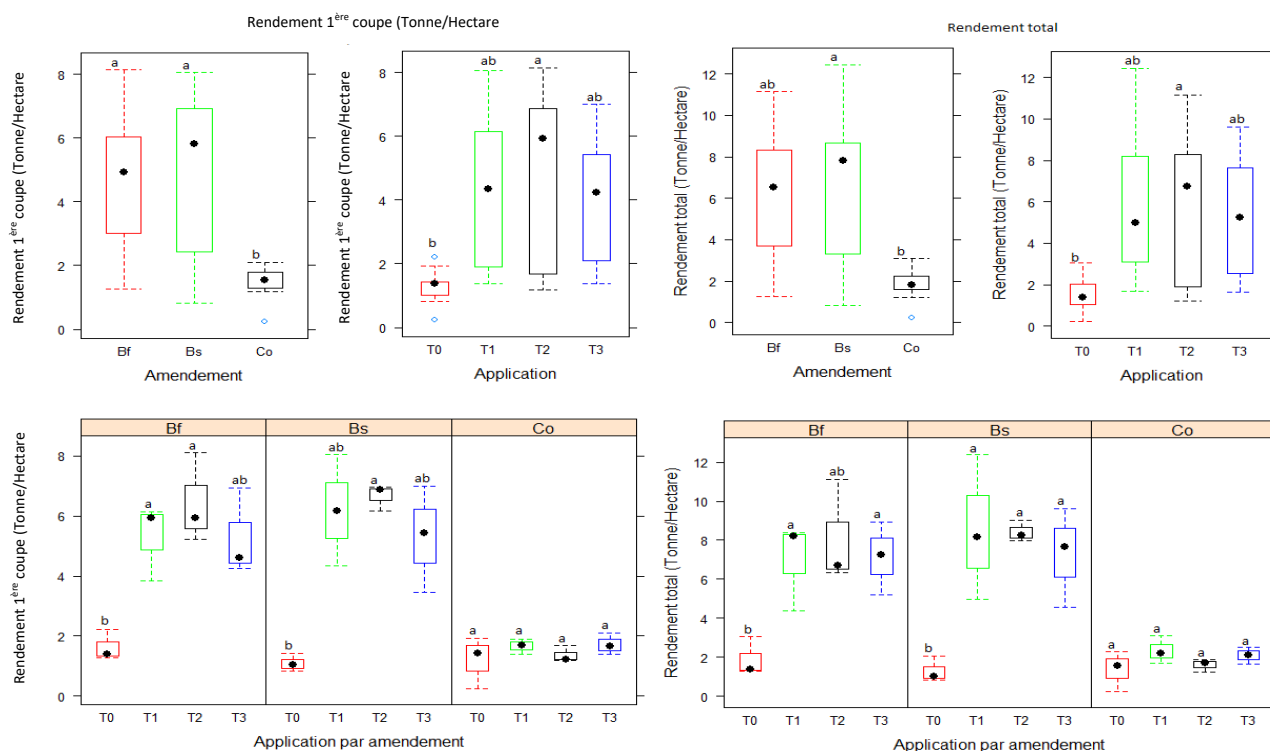
Source de variation	Df	Rdts Ha 1ere coupe		Rdts Total	
		Chisq	Prob	Chisq	Prob
Amendement (A)	2	10,83	0,004	10,38	0,006
Application (Ap)	3	11,25	0,010	13,00	0,005
A x Ap	11	28,22	0,003	27,76	0,004

- Effet de l'amendement et de l'application sur le rendement à la première coupe

Les bokashis appliqués à raison de 20t/ha donnent les meilleurs rendements lors de la première coupe, avec une différence significative comparée au compost appliqué à 20 t/ha. Le bokashi à base de feuilles de Moringa comme ferment permet d'obtenir le rendement le plus élevé soit 6,16t/ha comparé à ceux du bokashi à base de fiente de volaille Bf (5,49 t/ha) et du compost (1,52 t/ha) (figure 29). Concernant l'utilisation du biopesticide en combinaison avec l'apport d'amendement, des différences significatives sont obtenues avec l'application T2 (6,1t/ha) comparé au témoin T0 (1,49 t/ha). Au niveau de la combinaison de l'effet d'amendement et de l'application, aucune différence n'est relevée au niveau du compost (Co) et les différentes applications (T0, T1, T2 et T3). Par contre, les traitements BsT2 (6,87t/ha) et BfT2 (5,93t/ha) induisent des différences significatives par rapport à leur témoin BsT0 (1,02t/ha) et BfT0 (1,39t/ha).

- Effet de l'amendement et de l'application sur le rendement total

Les observations faites au niveau du rendement, sont similaires à celles effectuées lors de la première coupe. Ainsi les meilleurs rendements de la culture d'amarante sont relevés avec les traitements BsT2, BsT1 et BfT2, soient 8,43 et 8,25t/ha et 8,06t/ha. Les rendements obtenus avec l'application des bokashis Bs et Bf suivi du compost avec/sans biopesticide sont respectivement de 7,98, 7,39 et 2 t/ha. Aussi, notons que l'application de compost ne permet pas un gain de rendement au niveau de la culture d'amarante.



Légende :

Co : compost Songhaï ; Bs : bokashi avec feuilles de moringa comme ferment ; Bf : bokashi avec litière de volailles comme ferment ; (T0=aucun amendement-aucun biopesticide, T1=amendement seul, T2=amendement+1traitement biopesticide/semaine et T3=amendement+2traitements biopesticide/semaine)

Figure 29 : Boxplots du rendement d'amarante suivant les amendements et applications/ha

4.2.5.Effet des amendements et des applications sur l'incidence et la sévérité des bioagresseurs de l'amarante

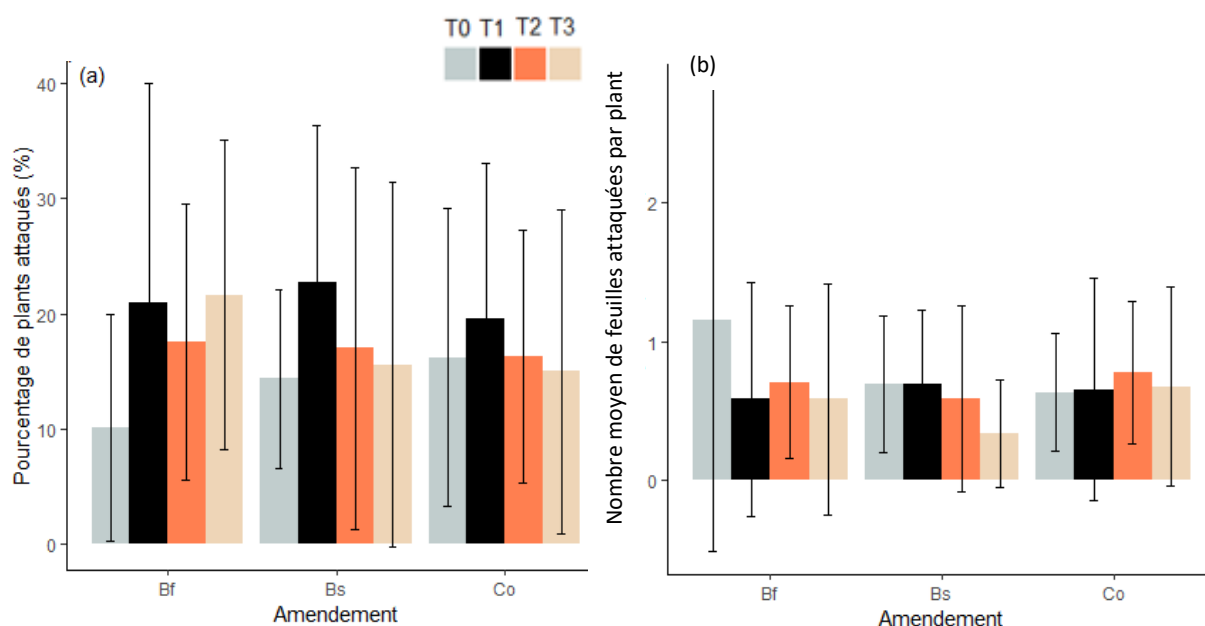
Les bioagresseurs retenus au niveau de la culture d'amarante sont les insectes défoliateurs, soient le criquet puant et les chenilles de la pyrale de la betterave. Le symptôme retenu était lié à la destruction des feuilles (mangées et perforées sur au moins la moitié de la surface foliaire). D'après les résultats des modèles linéaires à effets mixtes, des différences sont notées avec l'application faite ($p=0,05$) sur l'incidence des attaques (Tableau 16).

La présence des symptômes est plus notée au niveau des amendements Bs, avec le traitement T1 (apport d'amendement sans biopesticide). Plus de 20% des plants sous BsT1 présentent des feuilles qui sont perforées et ou mangées (figure 30a).

Au niveau de la sévérité, bien qu'aucune différence significative n'est observée, le traitement T3 (apport d'amendement et application de biopesticide deux fois par semaine) semble réduire la sévérité des attaques de bioagresseurs (figure 30b).

Tableau 16: Effet des amendements et de leur application sur l'incidence et la sévérité des bioagresseurs des plants d'amarantes : résultats des modèles linéaires à effets mixtes

Paramètre	Statistiques	Amendement (AM)	Application (A)	AM x A
Incidence bioagresseur	Valeur de F	0,07	2,68	0,80
	Pr (>F)	0,931	0,050	0,573
Sévérité bioagresseur	Valeur de F	0,70	0,94	0,65
	Pr (>F)	0,497	0,423	0,693



Légende :

Co : compost Songhaï ; Bs : bokashi avec feuilles de moringa comme ferment ; Bf : bokashi avec litière de volailles comme ferment ; (T0=aucun amendement-aucun biopesticide, T1=amendement seul, T2=amendement+1traitement biopesticide/semaine et T3=amendement+2traitements biopesticide/semaine)

Figure 30 : Incidence et sévérité causées par le criquet puant et les chenilles de la pyrale de la betterave sur les plants d'amarante ; (a) : Incidence des insectes défoliateurs ; (b) : sévérité des insectes défoliateurs.

4.3. Evaluation de l'effet des bokashis, du compost et de la solution de biopesticide promus par le centre Songhaï sur la production de la laitue et ses bioagresseurs

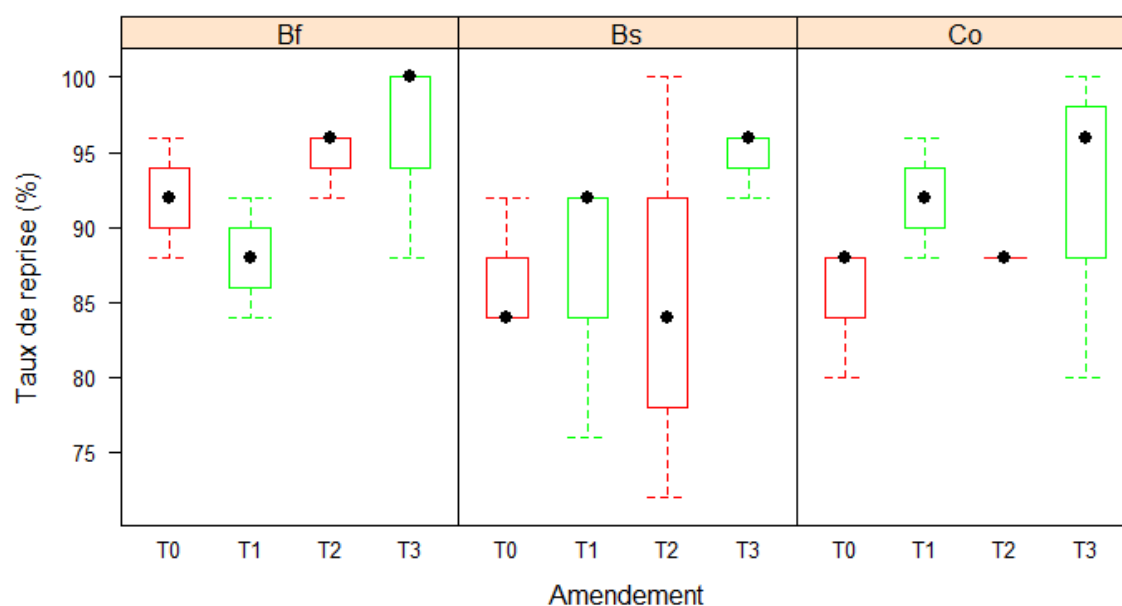
4.3.1. Taux de reprise

Les résultats des modèles linéaires à effets mixtes testant l'effet des amendements et des applications de biopesticide sur le taux de reprise des plants de laitue ont indiqué que ni l'amendement, ni l'application de biopesticide n'induisaient un effet significatif ($p > 0,05$) (tableau 17). De la figure 31, les taux de reprise les plus bas sont notés au niveau des traitements

CoT0 et BsT2, soit 85,53 %. Le taux de reprise le plus élevé est noté au niveau du traitement BsT3(96%) (figure 31).

Tableau 17 : Effet des amendements et de leur application sur le taux de reprise des plants de laitue : résultats des modèles linéaires à effets mixtes

Sources de variation	Valeur de F	Pr (>F)
Amendement	1.36	0.275
Application	1.55	0.227
Amendement × Applications	0.59	0.734



Légende :

Co : compost Songhaï ; Bs : bokashi avec feuilles de moringa comme ferment ; Bf : bokashi avec litière de volailles comme ferment ; (T0=aucun amendement-aucun biopesticide, T1=amendement seul, T2=amendement+1traitement biopesticide/semaine et T3=amendement+2traitements biopesticide/semaine)

Figure 31 : variation du taux de reprise en fonction des amendements et des applications

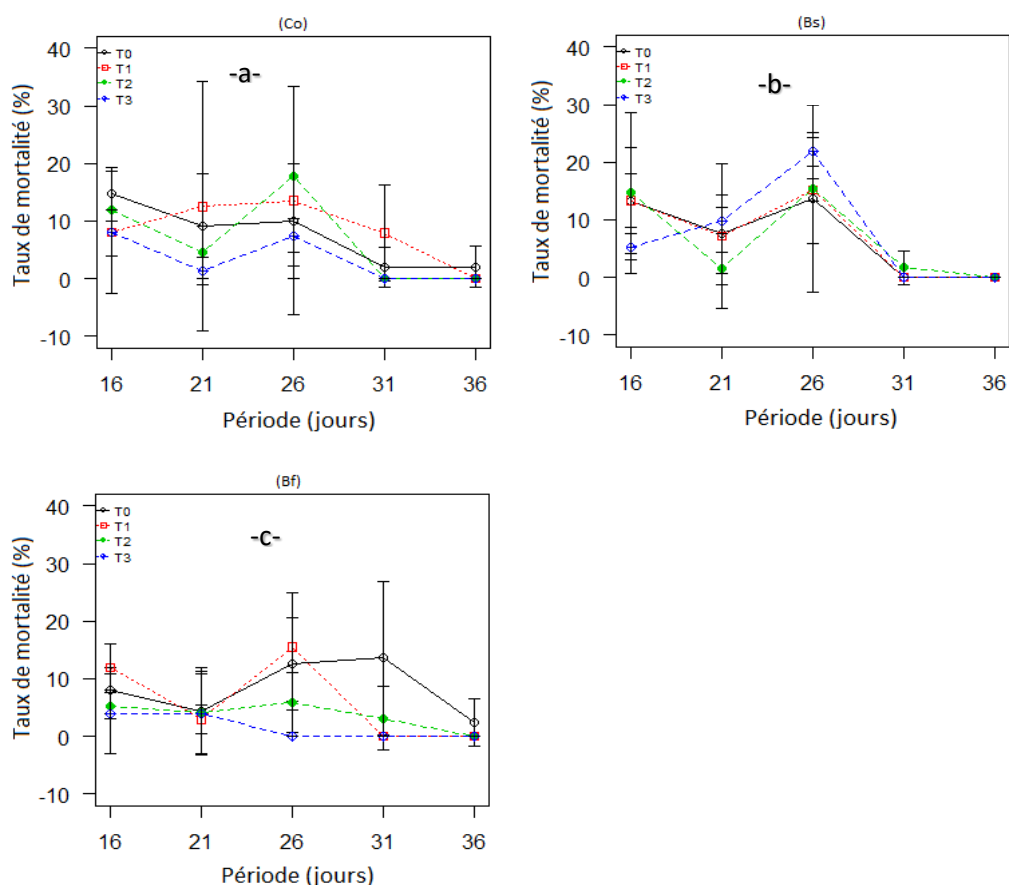
4.3.2. Taux de mortalité

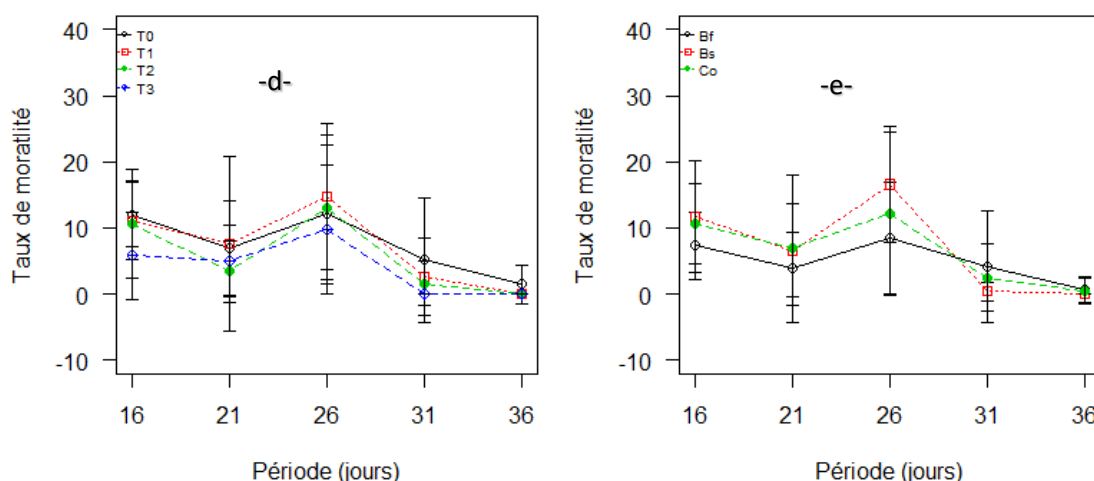
Il résulte des modèles linéaires à effet mixte testant les impacts des amendements et des applications de biopesticide sur le taux de mortalité (tableau 18), que ni les facteurs amendement et application, ni leur interaction n'exerce un effet significatif sur le taux de mortalité. Seul le facteur période d'observation influence significativement ($p < 0.05$) le taux de mortalité de la laitue. Durant l'expérimentation, le taux de mortalité évolue en fonction du temps et s'avère plus élevé à la date du 26 mai 2019 (soit 20 jours après la transplantation), au niveau des amendements et des applications (figure 32). Les parcelles recevant les bokashis ont montré des taux de mortalité les plus élevés comparés à l'application du compost (figure 32

e). Ceci pourrait être dû au pH acide de ces derniers mais aussi au stress causé par les coups de chaleur. Avec le temps, les parcelles sans amendement ni applications de biopesticide (T0) ont montré des taux de mortalité les plus élevés sans différences significatives entre eux. Ceci pourrait s'expliquer par des stress causés par l'absence d'éléments nutritifs pour la croissance et de matière organique pouvant garantir le maintien de l'humidité.

Tableau 18: Effet des amendements et de leur application sur le taux de mortalité des plants d'amarantes : résultats des modèles linéaires à effets mixtes

Sources de variation	Valeur de F	Pr (>F)
Période d'observation	30.50	< 0.001
Amendement	01.27	0.285
Application	01.86	0.138
Amendement × Applications	00.73	0.622





Légende :

Co : compost Songhai ; Bs : bokashi avec feuilles de moringa comme ferment ; Bf : bokashi avec litière de volailles comme ferment ; (T0=aucun amendement-aucun biopesticide, T1=amendement seul, T2=amendement+1traitement biopesticide/semaine et T3=amendement+2traitements biopesticide/semaine) ; Période (jours) : 16, 21, 26, 31, et 36= 10, 15, 20, 25 et 30 jours après transplantation

Figure 32 : Variation du taux de mortalité en fonction du temps ; (-a-) : effet du compost Co ; (-b-) : effet du bokashi Bs ; (-c-) : effet du bokashi Bf ; (-d-) : effet des amendements ; (-e-) : effet des

4.3.1. Effet sur les paramètres de croissance de la laitue

Le tableau 19 présente respectivement les résultats des modèles linéaires à effets mixtes testant l'effet des amendements et des applications de biopesticide sur la hauteur, le diamètre de la couronne et le nombre de feuilles des plants de laitue.

Tableau 19 : Effet des amendements et de leur application sur les paramètres de croissance des plants de laitue : résultats des modèles linéaires à effets mixtes

Sources de variation	Hauteur		Diamètre couronne		Nombre de feuilles	
	Valeur de F	Pr (>F)	Valeur de F	Pr (>F)	Valeur de F	Pr (>F)
Période	128.82	< 0.001	323.09	< 0.001	294.53	< 0.001
Amendement	69.30	< 0.001	122	< 0.001	524.4	< 0.001
Applications	72.44	< 0.001	117.7	< 0.001	467	< 0.001
Amendement × Application	11.56	< 0.001	16.56	< 0.001	276.07	0.005

➤ **Effet des amendements et de leur application sur la hauteur de la laitue**

La hauteur des plants de laitue semble s'être réduite la première semaine après la reprise. Après cela, la croissance des plants est fonction du type d'amendement et d'application (figure 33).

- **Effet des amendements avec /sans l'application de biopesticide sur la hauteur.**

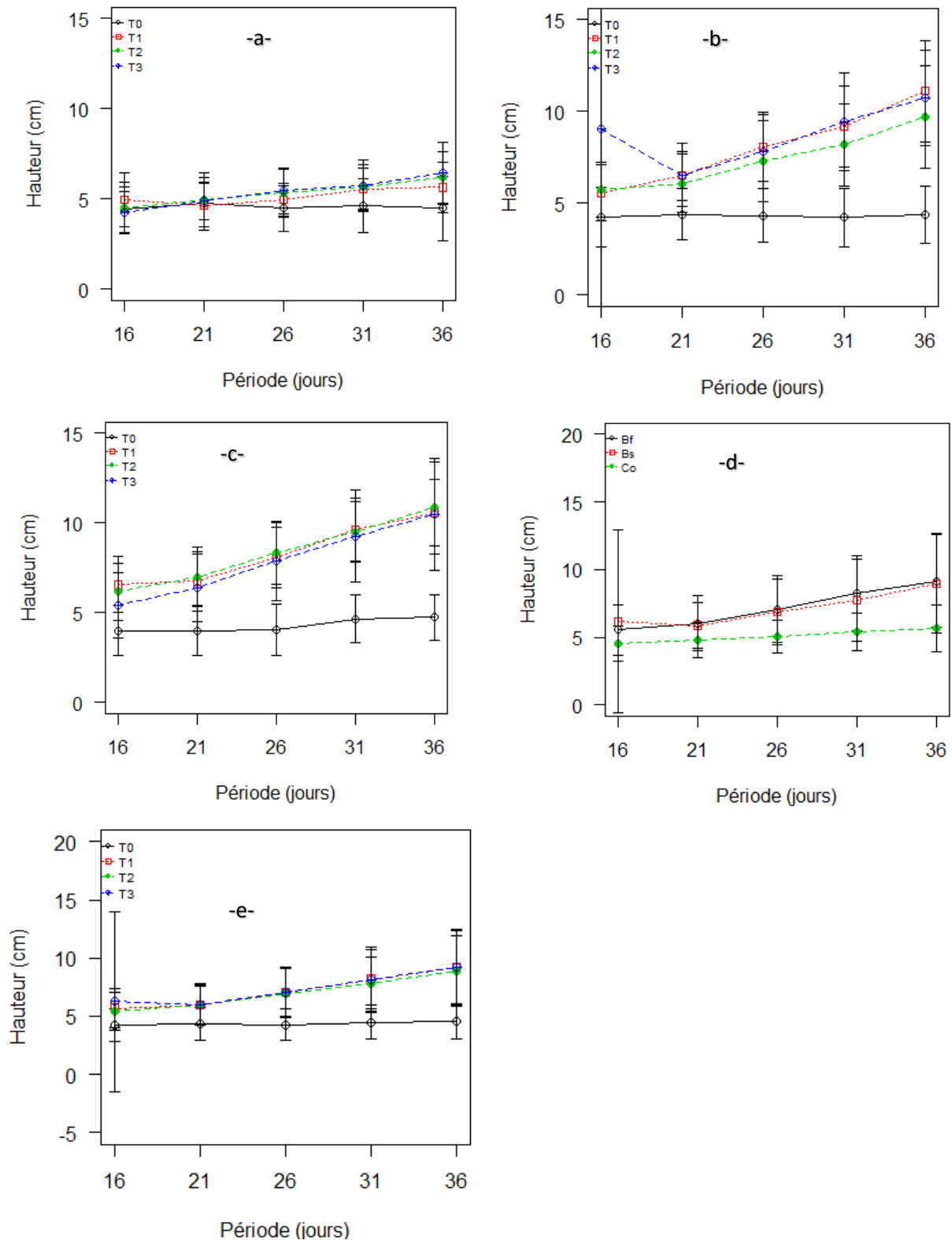
Tenant compte de l'effet par amendement, aucune différence significative n'a été notée pendant les 20 premiers jours après la reprise, au niveau du compost en fonction des applications, les traitements T3 et T2 favorisant le plus l'élongation en hauteur des plants avec l'application du compost. A la période 36 soit 30 jours après la transplantation, une différence significative est notée entre T3 (6cm), T2 (5,73cm), T1 (5,19cm) comparé au traitement T0 (4,07cm) avec l'apport du compost (figure 33 a). Par ailleurs, avec les bokashis Bs et Bf, des différences significatives sont observées déjà à partir du 5^{ième} jour après la reprise (période 21) (figures 33 b, c). Avec l'apport du bokashi Bs, les hauteurs élevées sont obtenues avec les traitements T1(10,8 cm), T3 (10,47 cm), T2 (9,57 cm) (figure 33 b). Avec le bokashi Bf, les différences déjà observées après la reprise, se sont poursuivies dans le temps. Ainsi, les traitements T2 (10,6cm) T1 (10,2 cm) et T3 (10,13 cm) ont donné les hauteurs les plus élevées comparé au traitement T0(4,33 cm).

- **Effet des amendements sur l'évolution de la hauteur de la laitue**

D'une manière générale, les plants de laitue produits avec les bokashis (Bf, et Bs), croissent plus en hauteur que les plants amendés avec le compost. Ainsi des différences sont obtenues déjà à partir de la période 26 (soit 20 jours après transplantation) avec les amendements Bf et Bs comparé au compost. Les hauteurs moyennes maximales relevées étaient de 8,82 cm et 8,73 cm pour les bokashis Bf et Bs et de 5,25 cm pour les plants amendés au compost (figure 33d).

- **Effet des applications sur l'évolution de la hauteur de la laitue**

Des différences significatives sont notées entre l'application d'amendement avec/sans biopesticide et le témoin. L'apport d'amendement associé à une application de biopesticide à raison de deux traitements par semaine T3 (8,87 cm), favorisait la croissance en hauteur des plants de laitue comparé au Témoin T0 (4,15 cm) (figure 33e).



Légende :

Co : compost Songhaï ; Bs : bokashi avec feuilles de moringa comme ferment ; Bf : bokashi avec litière de volailles comme ferment ; (T0=aucun amendement-aucun biopesticide, T1=amendement seul, T2=amendement+1traitement biopesticide/semaine et T3=amendement+2traitements biopesticide/semaine) ; Période (jours) : 16, 21, 26, 31, et 36= 10, 15, 20, 25 et 30 jours après transplantation

Figure 33 : Evolution de la hauteur des plants de laitue ; (-a-) : effet du compost Co ; (-b-) : effet du bokashi Bs ; (-c-) : effet du bokashi Bf ; (-d-) : effet des amendements ; (-e-) : effet des applications

➤ **Effet des amendements et de leur application sur le nombre de feuilles de la laitue**

La vitesse d'émission des feuilles de laitue évolue lentement les 5 premiers jours après la reprise. Après cela, le nombre croît les jours suivant (à partir de la date 21) (figure 34).

- **Effet des amendements avec /sans l'application de biopesticide sur le nombre de feuilles**

La réponse de la laitue pour l'émission des feuilles varie d'un amendement à un autre. En présence ou non du compost, le nombre de feuilles croît lentement avec ou sans l'application de biopesticide. Environ 5 feuilles de laitue sont obtenues par l'apport du compost et avec une application du biopesticide par semaine (T2) (figure 34 a).

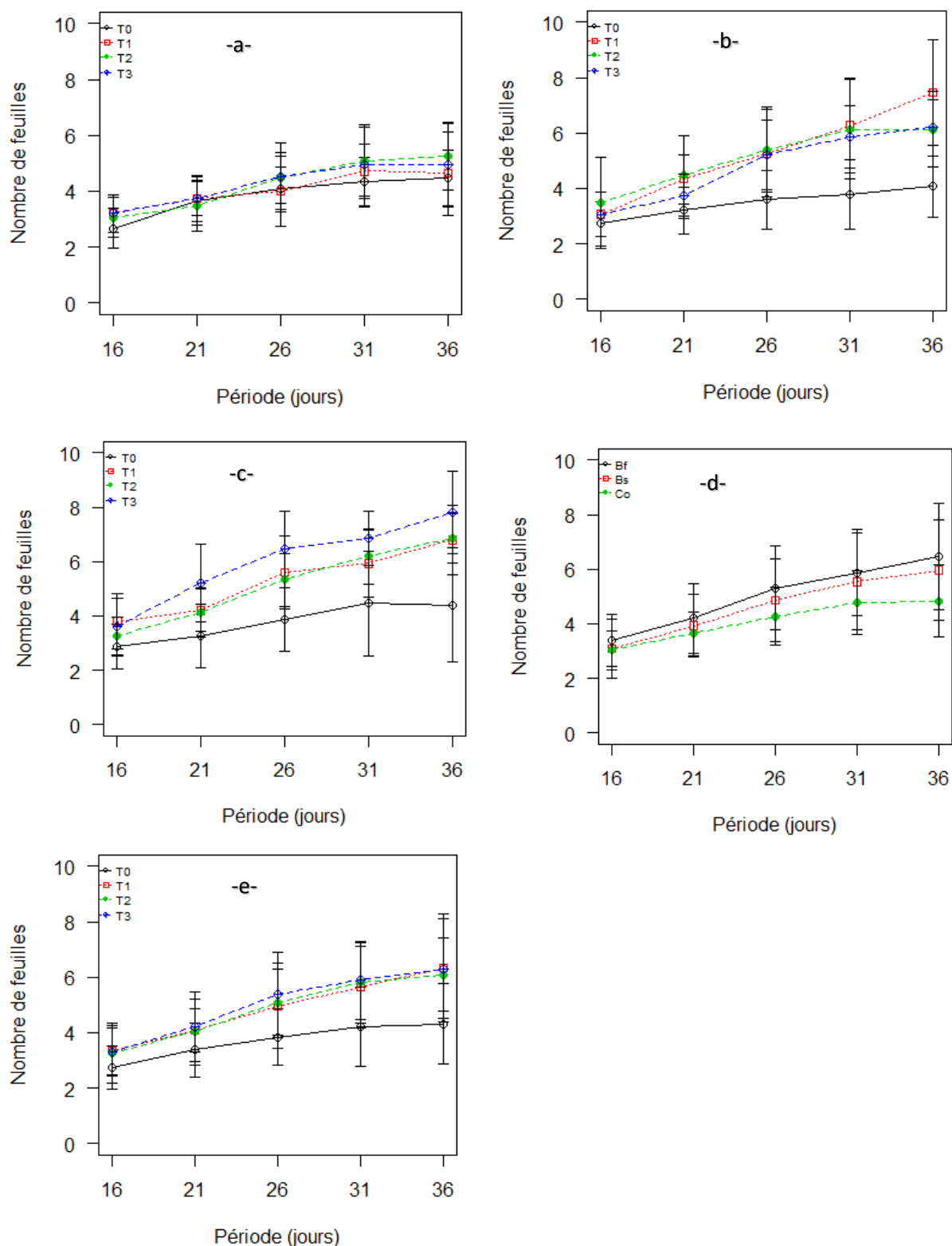
D'après l'analyse des graphes et comparé à la réponse des plants de laitue sous compost, la vitesse d'émission des feuilles est plus élevée avec l'apport des bokashis Bs et Bf. Avec le bokashi Bs, le traitement T1 améliore la vitesse d'émission des feuilles, à raison de 8 feuilles en moyenne par plant. Des différences hautement significatives sont observées entre les traitements T1, T2 et T3 par rapport au Témoin T0 pour toutes les dates d'observation. L'application du biopesticide n'influence pas la vitesse d'émission des feuilles avec le Bokashi Bs. Au niveau du bokashi Bf, le traitement T3 est significativement plus élevé que tous les autres traitements entre le 20^{ième} et 25^{ième} jours après transplantation (dates 26 et 31). A la date 36 (30 jours après la transplantation), bien que des différences n'aient pas été mises en évidence entre les traitements T3, T2, T1, le traitement T3 semble favoriser l'émission des feuilles à raison de 8 feuilles en moyenne par plant (figure 34 c).

- **Effet des amendements sur l'évolution du nombre de feuilles des plants de laitue**

La comparaison de l'effet des amendements sur le nombre de feuilles moyen par plant, permet de faire ressortir que seul le traitement à base du bokashi Bf induit une différence significative comparé à l'application du compost. Bien que le nombre de feuilles moyen sous bokashi Bs était supérieur à celui obtenu avec le compost, aucune différence n'est observée entre ceux-ci (figure 34 d). Environ 6, 5 et 4 feuilles sont obtenues respectivement par les amendements Bf, Bs et Co a la date 36, soit trente (30) jours après transplantation.

- **Effet des applications sur l'évolution du nombre de feuilles**

Des différences significatives sont notées entre les traitements T1, T2 et T3 comparés au Témoin T0. Mais notons que le nombre de feuilles après la reprise (date 16) était déjà plus élevé au niveau des traitements T1, T2 et T3 soit environ 3-4 feuilles par rapport au traitement témoin T0 avec 2- 3 feuilles par plant (figure 34e)



Légende :

Co : compost Songhaï ; Bs : bokashi avec feuilles de moringa comme ferment ; Bf : bokashi avec litière de volailles comme ferment ; (T0=aucun amendement-aucun biopesticide, T1=amendement seul, T2=amendement+1traitement biopesticide/semaine et T3=amendement+2traitements biopesticide/semaine) ; Période (jours) : 16, 21, 26, 31, et 36= 10, 15, 20, 25 et 30 jours après transplantation

Figure 34 : Evolution du nombre de feuilles de la laitue ; (-a-) : effet du compost Co ; (-b-) : effet du bokashi Bs ; (-c-) : effet du bokashi Bf ; (-d-) : effet des amendements ; (-e-) : effet des applications

➤ **Effet des amendements et des applications sur le diamètre de la couronne de la laitue**

Le diamètre de la couronne augmente très rapidement dans le temps et par traitement, sauf au niveau du compost pour lequel on ne note qu'une faible augmentation en fonction du temps (figure 35).

- **Effet des amendements avec /sans l'application de biopesticide sur le diamètre couronne de la laitue**

Tout comme le nombre de feuilles, le diamètre de la laitue avec le compost évolue lentement les 5 premiers jours après la reprise. Après cela, le diamètre s'accroît légèrement les jours suivants, noté au niveau des traitements CoT3, CoT1 et CoT2, avec une différence significative déjà à partir de la date 26 (soit 20 jours après la transplantation), comparé au témoin où on remarque une diminution du diamètre, passant de 4,13 cm à 3,8 cm entre les dates 16 et 36. Au 36^{ième} jour (30 jours après la reprise), les diamètres les plus élevés sont enregistrés au niveau des traitements CoT3 (6,07 cm), CoT1 (6,02 cm) et CoT2(5,4 cm) (figure 35 a).

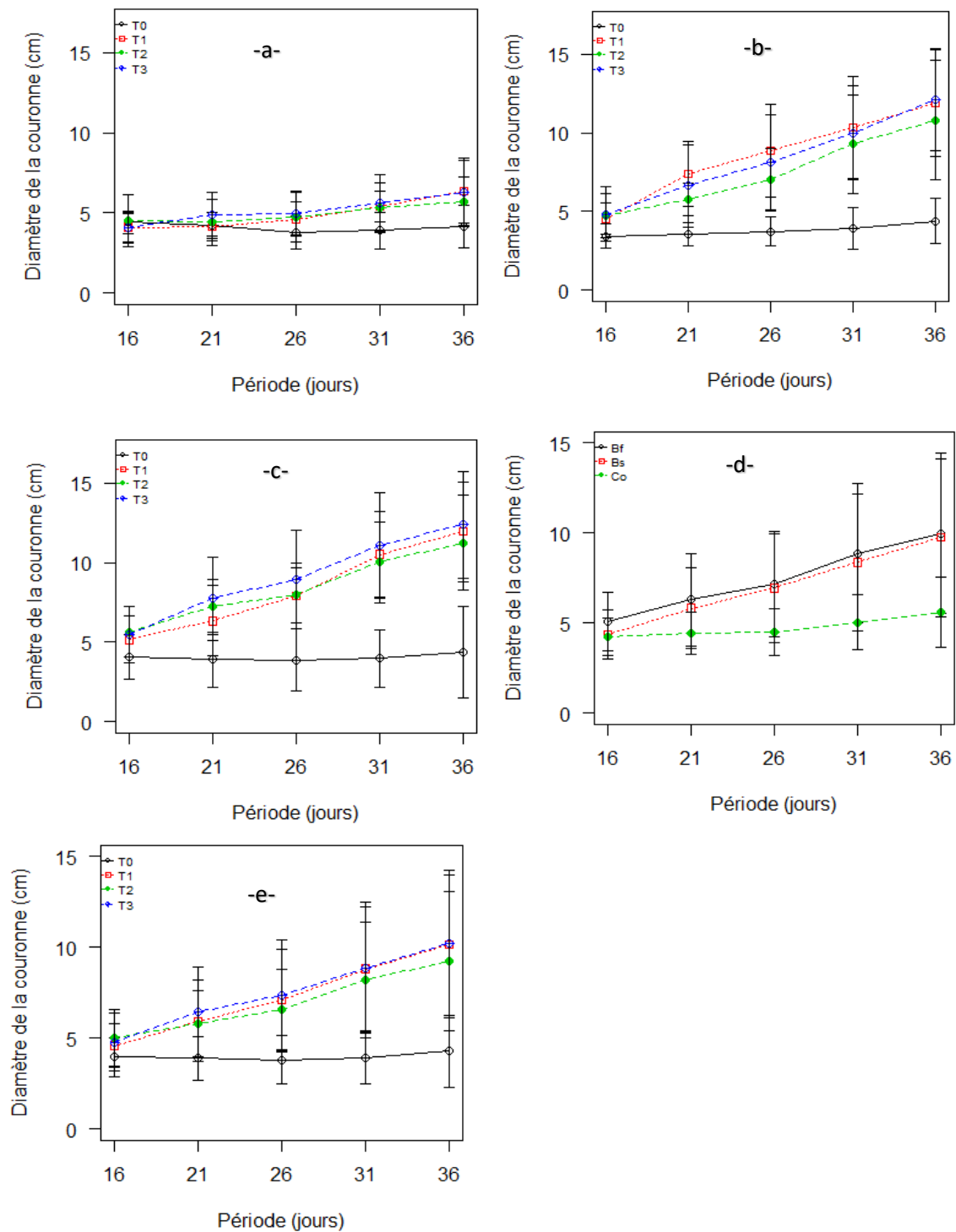
Contrairement au compost, le diamètre de la couronne des traitements avec l'apport des bokashis Bs et Bf croissent très rapidement déjà à partir du 10^{ième} jour après transplantation (date 16). Des différences hautement significatives sont mises en évidence entre les traitements à partir du 15^{ième} jour après la transplantation (date 21). Pour le bokashi Bs, le diamètre de la couronne par plant était en moyenne de 11,8 cm, de 11,73 cm et 10,67cm respectivement pour les traitements BsT3, BsT1 et BsT2 à la date 36 (soit 30 jours après la transplantation). Avec le bokashi Bf, le diamètre moyen était respectivement de 12,27 cm, 11,8 cm, 10,67 cm et 4,13 cm pour les traitements BfT3, BfT1, BfT2 et BfT0 (figure 35c).

- **Effet des amendements sur le diamètre couronne de la laitue**

Dans l'ensemble, le diamètre de la couronne évolue en fonction du type d'amendement. Ainsi les bokashis Bf et Bs améliorent significativement la valeur du diamètre comparé à celui du compost déjà à partir du 15^{ième} jour après transplantation (date 21). Trente (30) jours après la transplantation (date 36) (figure 35d), le diamètre de la couronne était de 9,8 cm, 9,58 cm respectivement pour les bokashis Bf et Bs ; et de 5,32 cm avec le compost

- **Effet des applications sur le diamètre couronne de la laitue**

Un apport d'amendement en fumure de fond avec/sans l'application de biopesticide, était significativement favorable à l'évolution du diamètre couronne de la laitue comparé au traitement témoin (T0). L'augmentation du diamètre était plus favorisée par le traitement T3 avec un diamètre moyen de 10,04 cm au 30^{ième} jour après transplantation (date 36, figure 35e).



Légende :

co : compost Songhai ; Bs : bokashi avec feuilles de moringa comme ferment ; Bf : bokashi avec litière de volailles comme ferment ; (T0=aucun amendement-aucun biopesticide, T1=amendement seul, T2=amendement+1traitement biopesticide/semaine et T3=amendement+2traitements biopesticide/semaine) ; Période (jours) : 16, 21, 26, 31, et 36= 10, 15, 20, 25 et 30 jours après transplantation

Figure 35 : Evolution du diamètre couronne; (-a-) : effet du compost Co ; (-b-) : effet du bokashi Bs ; (-c-) : effet du bokashi Bf ; (-d-) : effet des amendements ; (-e-) : effet des applications

4.3.2. Effet sur le rendement de la laitue

Les résultats des tests de Kruskal-Wallis testant les effets des amendements et applications sur le rendement des plants de laitue ont montré que les facteurs principaux de même que leur interaction induisaient un effet significatif ($p < 0.05$) sur ce dernier (tableau 20).

Tableau 20 : Effet des amendements et de leur application sur le rendement des plants d'amarantes : résultats des tests de Kruskal-Wallis

Source de variation	Rendement/Ha			Poids Moyen		
	Chisq	Df	p.value	Chisq	Df	p.value
Amendement	10.80	2	0.004	10.80	2	0.004
Application	14.64	3	0.002	14.64	3	0.002
Amendement $\times$ Application	29.22	11	0.002	29.22	11	0.002

- Effet des amendements sur le rendement de la laitue

L'utilisation des bokashis Bf (2,64t/ha) et Bs (2,29t/ha) favorise significativement l'augmentation du rendement comparé à l'emploi du compost Co (0,85t/ha) (figure 36).

- Effet des applications sur le rendement de la laitue

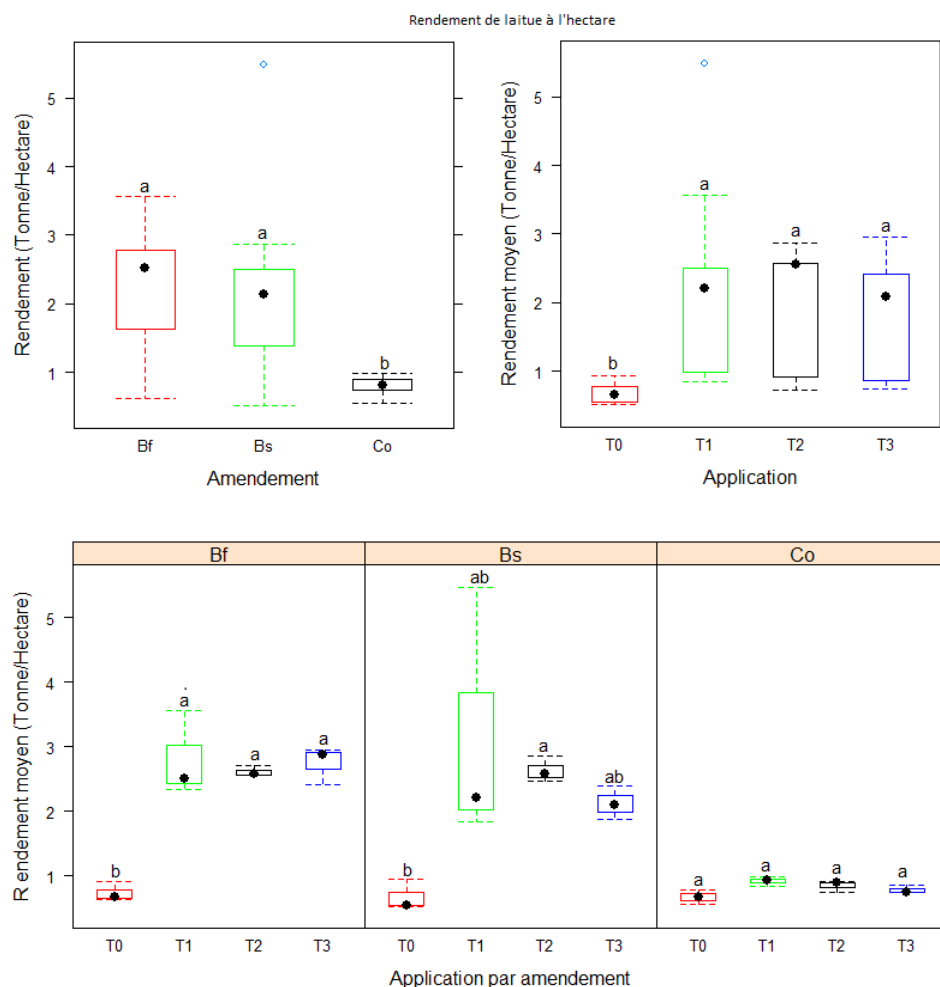
S'agissant des applications (T0, T1, T2 et T3), des différences significatives sont notées entre l'application d'amendement avec/ sans biopesticide et le traitement témoin. Le traitement T3 (1,9t/ha), permet d'avoir un rendement élevé de la laitue sans différence significative entre les traitements T1 (1,88 t/ha) et T2 (1,88t/ha) (figure 36).

- Effet des amendements et des applications sur le rendement de la laitue

Suivant le type d'amendement et les applications, aucune différence significative n'est notée au niveau des traitements sous compost (CoT0, CoT1, CoT2 et CoT3). Le rendement le plus élevé est obtenu avec l'application du compost sans biopesticide (CoT1) soit 0,93t/ha.

Au niveau du bokashi Bs, la combinaison de ce dernier à une application de biopesticide par semaine (BsT2) induit un meilleur rendement, soit 2,57t/ha sans différence significative comparé aux traitements BsT1 (2,20t/ha) et BsT3 (2,09t/ha), mais avec différence significative par rapport au témoin BsT0 (0,54). Par ailleurs, s'agissant du bokashi Bf, la combinaison de ce dernier avec deux applications de biopesticide par semaine BfT3 (2,7t/ha) permet d'obtenir un rendement élevé sans différence significative par rapport aux traitements BfT2 (2,57t/ha) et BfT1 (2,5t/ha), mais significative comparé au témoin BfT0 (0,66t/ha).

Le compost appliqué n'augmente pas le rendement de la laitue et l'application du biopesticide (T3 et T2) n'induit également pas de différence significative comparé au traitement (T1).



Légende :

Co : compost Songhaï ; Bs : bokashi avec feuilles de moringa comme ferment ; Bf : bokashi avec litière de volailles comme ferment ; (T0=aucun amendement-aucun biopesticide, T1=amendement seul, T2=amendement+1traitement biopesticide/semaine et T3=amendement+2traitements biopesticide/semaine) ; Période (jours) : 16, 21, 26, 31, et 36= 10, 15, 20, 25 et 30 jours après transplantation

Figure 36 : Boxplots du rendement d'amarante suivant les amendements et applications/ha

4.3.3. Incidence et sévérité des agents bioagresseurs sur la laitue

Au niveau des plants de laitue, le bioagresseur retenu avait pour symptôme les tâches nécrotiques qui seraient causées par *Cercospora longissima*. Le tableau 22 présente les résultats des modèles linéaires à effets mixtes testant l'effet des amendements et des applications de biopesticide sur l'incidence et la sévérité de la présence des tâches nécrotiques sur les feuilles de laitue. Il a révélé des différences significatives pour toutes les sources de variation considérées ($p < 0.05$).

Tableau 21: Analyse de l'effet des sources de variation de la nécrose

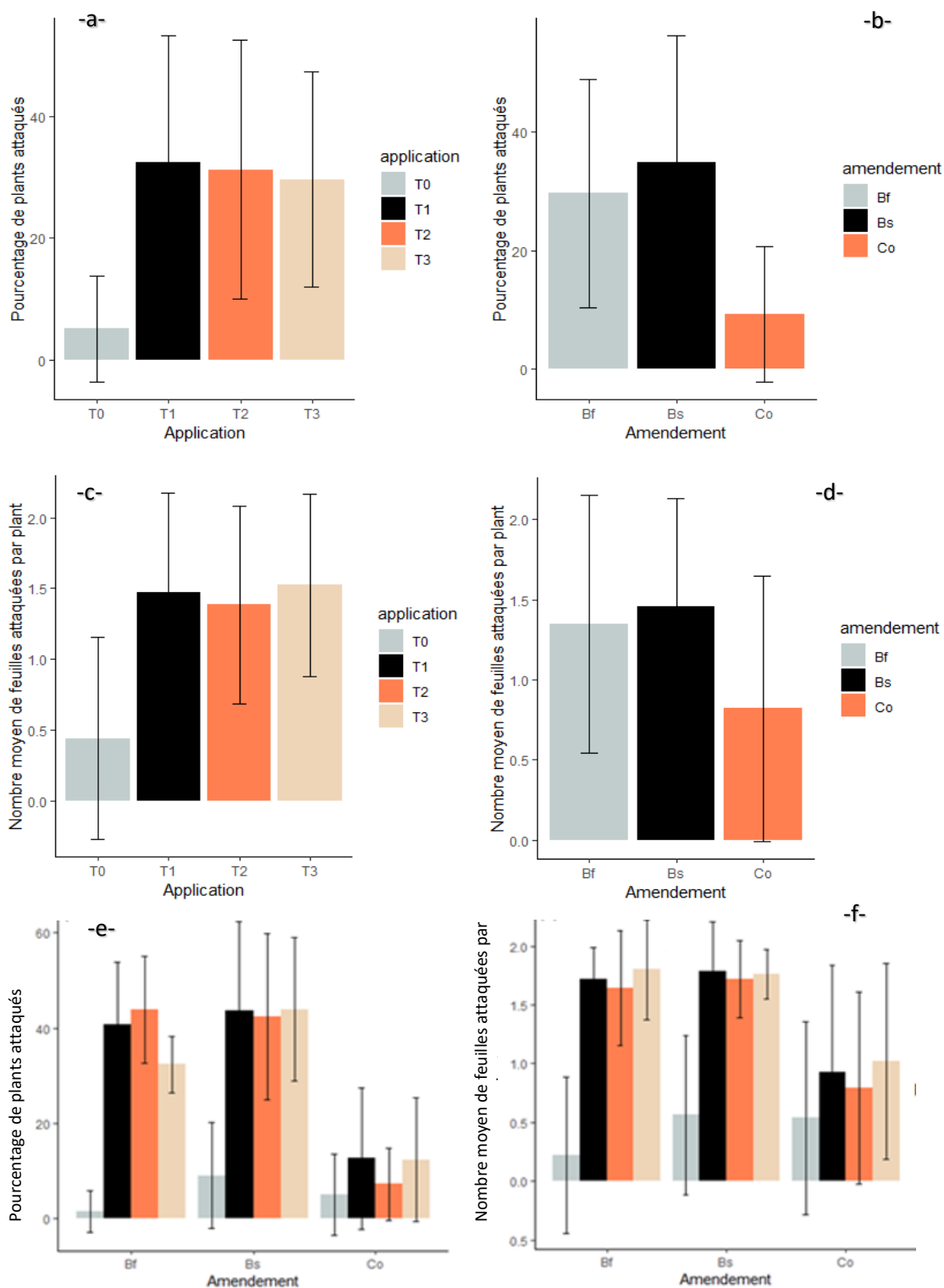
Bio-agresseurs	Source de variation	Taux d'incidence		Sévérité d'incidence	
		Valeur de F	Pr (>F)	Valeur de F	Pr (>F)
Nécrose	Amendement	41.63	< 0.001	10.93	< 0.001
	Application	29.08	< 0.001	18.78	< 0.001
	Amendement × Application	5.16	< 0.001	02.02	0.071

➤ **Incidence de la nécrose des feuilles**

En fonction du type d'amendements, l'apport des bokashis augmentent de manière significative l'apparition des symptômes au niveau des plants de laitue comparé à l'application de compost. Environ 36 et 32 % des plants de laitue, respectivement avec les bokashi Bs et Bf présentent des symptômes de nécrose comparé au compost au niveau duquel seulement 7% des plants était attaqués (figure 37 b). Au niveau des traitements, le traitement témoin T0 (5%), présentait le nombre le plus réduit de plantes possédant des tâches nécrotiques, comparé aux traitements faisant l'apport d'amendement avec/sans biopesticide (plus de 30%) (figure 37a). S'agissant de l'interaction amendement et application, en ce qui concerne les bokashis, l'apport de ces derniers avec/sans biopesticide augmentent très significativement l'apparition des nécroses (environ 40%). S'agissant du compost, bien que l'incidence était réduite, le traitement témoin CoT0, induit une diminution significative (environ 5%), comparé au traitement CoT1 (10, 15%) (figure 37e).

➤ **Sévérité de la nécrose des feuilles de laitue**

Tout comme au niveau de l'incidence, des différences significatives sont notées d'une part entre l'apport du compost comparé aux bokashis ; d'autre part entre l'application témoin T0 et celle des amendements avec/sans biopesticide (T1, T2 et T3) suivant le nombre moyen de feuilles attaquées par plant. Au niveau du compost environ une feuille présentait des symptômes de nécrose contre deux feuilles avec l'application des bokashis (figure 37d). Parallèlement, environ une feuille était attaquée au niveau de l'application T0, contre 2 feuilles pour les applications (T1, T2 et T3) (figure 37c). S'agissant de l'interactions, avec les bokashis à raison de 20t/ha, combinés avec/sans biopesticide, 2 feuilles en moyennes étaient attaquées contre une feuille pour les traitements témoins (figure 37f).



Légende :

Co : compost Songhaï ; Bs : bokashi avec feuilles de moringa comme ferment ; Bf : bokashi avec litière de volailles comme ferment ; (T0=aucun amendement-aucun biopesticide, T1=amendement seul, T2=amendement+1traitement biopesticide/semaine et T3=amendement+2traitements biopesticide/semaine) ; Période (jours) : 16, 21, 26, 31, et 36= 10, 15, 20, 25 et 30 jours après transplantation

Figure 37 : incidence et sévérité de la nécrose des feuilles de laitue ; (-a) : incidence des applications ; (-b) : incidence des amendements ; (-c) : sévérité des applications ; (-d) : sévérité des amendements ; (-e) : incidence de la combinaison (amendement*application) ; (-f) : sévérité de la combinaison (amendement*application)

4.4. Analyse économique des différents traitements sur la production de la laitue et de l'amarante

Il ressort des calculs de rentabilité économique effectués que, parmi les traitements comparés, seuls les témoins sans intrant (CoT0, BsT0 et BfT0), le bokashi Bf seul (BfT1) et avec un traitement biopesticide par semaine (BfT2), et le bokashi Bs seul (BfT1) génèrent une VAB positive. Tous les autres traitements se traduisent par des pertes. C'est-à-dire que pour ceux-ci le coût des consommables est supérieur au produit brut de la production. Cela signifie qu'appliquer le compost commercialisé par Songhaï entraîne des pertes financières pour les producteurs. Pulvériser le biopesticide EM5 diminue systématiquement la VAB générée par l'application d'un amendement donné (tableaux 22 et 23).

Cela s'explique par le coût élevé des ingrédients nécessaires à la préparation de l'autre bokashi (Bs), tout particulièrement le son de riz et le miel, et du biopesticide EM₅ (vendu 2500 FCFA/litre par le centre Songhaï), et par la faiblesse des effets du compost et du biopesticide EM5 sur le rendement de l'amarante et de la laitue.

Aucun des traitements comparés ne permet une rémunération du travail nécessaire à leur application équivalente à celle du salaire minimum journalier dans le secteur informel (965 FCA/jour de travail, soit 1,47 EUR/jour de travail). La rémunération du travail la plus élevée est obtenue pour l'application de Bokashi Bf seul qui génère des VAB/h.j de 441 FCFA pour la production d'amarante et de 561 FCFA pour la production de laitue. Les pertes les plus élevées sont enregistrées pour l'application de compost avec deux pulvérisations par semaine de biopesticide (VAB = -18110 FCFA (-27,65EUR) pour 4 ares d'amarante et - 19141 FCFA (-29,22 EUR) pour 4 ares de laitue) (tableaux 22 et 23).

Tableau 22 : Valeur ajoutée brute (VAB) et salaire minimum (VAB/h.j) par jour pour la culture d'amarante

Traitements	CoT0	CoT1	CoT2	CoT3	BsT0	BsT1	BsT2	BsT3	BfT0	BfT1	BfT2	BfT3
VAB pour 400 m ²	2932	-2257	-12364	-18110	2678	2691	-4169	-15816	4873	11352	7705	-16348
Nombre h.j	23	25,75	26,875	28	23	25,75	26,875	28	23	25,75	26,875	28
VAB/h.j	127	-88	-460	-647	116	104	-155	-565	212	441	287	-584

Tableau 23 : Valeur ajoutée brute (VAB) et salaire minimum (VAB/h.j) par jour pour la culture de laitue

Traitements	CoT0	CoT1	CoT2	CoT3	BsT0	BsT1	BsT2	BsT3	BfT0	BfT1	BfT2	BfT3
VAB pour 400 m ²	3214	-2739	-11045	-19141	3258	5253	-8130	-21197	3952	14434	4869	-14367
Nombre h.j	23	25,75	26,875	28	23	25,75	26,875	28	23	25,75	26,875	28
VAB/h.j	140	-106	-411	-684	142	204	-302	-757	172	561	181	-513

5. Discussion

5.1. Effet des bokashis, du compost et de la solution de biopesticide promus par le centre Songhaï sur la production et l'incidence des bioagresseurs de l'amarante et de la laitue

Notre travail avait pour objectif d'évaluer l'influence des pratiques agroécologiques promues par certains centres de production (cas du centre Songhaï) pour l'amélioration de la production maraîchère sans l'apport d'engrais chimique ni de pesticide de synthèse au sud Bénin.

➤ Effet des applications sur le taux de mortalité des plants

Le taux de mortalité au niveau des essais de la culture d'amarante variait en fonction du type d'amendement et de l'application de biopesticide. Des différences significatives sont notées entre le taux de mortalité enregistré avec les bokashis Bs et Bf comparé au compost; mais aussi entre le traitement témoin (T0) et les traitements T2 (20t/ha,1) et T1(20t/ha, 0). De même l'application des traitements T3 et T2 réduit de manière significative le taux de mortalité des plants comparé aux traitements (T0, T1). Les effets des différents facteurs sur le taux de mortalité de la laitue étaient similaires à ceux obtenus au niveau des plants d'amarante sans différence significative. La mortalité des plants sous bokashis pourrait s'expliquer par l'acidité de ceux-ci (pH<6), causant des stress au niveau des plants. Selon Souleymane *et al.*, 2018, un sol bien drainé avec un pH compris entre 6 et 6,5 est favorable pour le développement des plants dont ceux de l'amarante et de la laitue. De même les différences significatives entre le traitement témoin (T0) et les traitements T2 (20t/ha,1) et T1(20t/ha, 0) d'une part et avec le traitement T3 (20t/ha, 2) d'autre part, s'expliquent par l'effet des amendements sur les propriétés du sol. En effet, l'utilisation de matière organique améliore les propriétés des sols en améliorant la disponibilité de nutriments et d'eau dans ceux-ci ainsi que leur aération grâce à une amélioration de leur structure (Crichton *et al.*, 2000 ; Laos *et al.*, 2000 ; Douglas *et al.*, 2003 ; Kowaljew et Mazzarino, 2007 ; Weber *et al.*, 2007 cité par Houenou 2013). Pareillement l'application de biopesticide au niveau des plants d'amarante semble réduire les attaques des chenilles et des criquets responsables de la mort d'une partie de ceux-ci. Les chenilles de la pyrale de la betterave utilisent en général les jeunes feuilles des plants pour leur enclos ; de ce fait elles limitent en grande partie le potentiel photosynthétique et la croissance des plantes jusqu'à parfois entraîner la mort de celles-ci. Les criquets puants coupent les plants, qui ne peuvent plus se développer. Les extraits aqueux à base de plantes et parties de plante sont capables de contrôler la population des bioagresseurs comme ceux notés par Kouadapode 2018, où les extraits botaniques à base d'extraits aqueux de *Ocimum* ont significativement

réduit les populations de *Lipaphis erysimi*, *Bemisia tabaci* et *Selepa docilis* par rapport au témoin. Aussi Deleixhe 2012, avait noté que l'application d'une solution M5 (à base d'EM, d'ail, oignon...etc.) réduisait les attaques des insectes défoliateurs des plants de radis.

➤ **Effet des amendements et des applications sur les paramètres de croissance des plants d'amarante et de laitue**

Quelle que soit la culture, le comportement des plants est fonction du type d'amendement, mais aussi des applications faites. En général l'apport de bokashi (Bs ou Bf) améliore de manière significative la croissance des plants d'amarante et de laitue comparé au compost. De plus l'apport d'amendement à raison de 20t/ha avec/sans biopesticide améliore de manière significative la croissance des différentes cultures comparé au témoin. Au niveau des plants d'amarante, l'application de la solution de biopesticide (T2 et T3) semble améliorer la hauteur, le nombre de feuilles, la longueur de la plus grande feuille ainsi que le diamètre au collet comparé au traitement sans biopesticide (T1).

Les différences observées entre les bokashis et le compost sur la croissance des plants sont fonctions des propriétés de ces derniers (fertilisants). Les bokashis présentent du point de vue chimique, des teneurs en éléments fertilisants (N, P et K) supérieurs à ceux du compost. D'après Aho et Kossou, 1997, les éléments nutritifs dont l'azote stimulent la végétation en accélérant la formation et la croissance des organes végétatifs des plants. La dose de 20t/ha avec les différents amendements présente les meilleures croissances. Elle correspond respectivement à des apports totaux de 24,4 kg/h (N), de 115,9 kg/ha (P_2O_5) et de 137,8kg/ha (K_2O) pour le bokashi Bs ; de 30,7 kg/ha (N), de 335,6 kg/ha (P_2O_5) et de 193,6 kg/ha (K_2O) pour le bokashi Bf ; de 8,6 Kg/ha(N), de 83,6 kg/ha (P_2O_5) et de 68,8 kg/ha (K_2O) pour le compost Co. Des résultats similaires ont été obtenus au Nigéria où les amendements à base de pelures de manioc et de fumier de volaille appliqué à 20t/ha ont produit les plus grandes valeurs pour le nombre de feuilles, la hauteur des plants et le diamètre de la tige de *Celosia argentea* (Shokalu *et al.*, 2011). De même au Bénin, l'application d'amendement à base de résidus de noix de palme associée aux déjections animales améliore la croissance des plantes d'amarante et de grande morelle et du crinclin (Assea, 2013 ; Houenou, 2013 ; Ruth, 2013 ; Koura *et al.*, 2015). Ces résultats vont dans le même sens que les recommandations d'Assogba *et al.* (2007) selon lesquelles une dose de 20t/ha est suffisante pour accroître la croissance des plantes. Aussi, s'agissant de l'application du bokashi à une dose de 20t/ha, les résultats viennent confirmer ceux du centre Songhaï, qui recommandait déjà une telle dose pour l'amélioration de la croissance des cultures maraîchère au sud Bénin.

➤ **Effet des amendements et des applications sur le rendement de la culture d'amarante et de laitue**

L'apport des différents types d'amendements a permis d'améliorer la production de la biomasse fraîche des différentes cultures. Les bokashis appliqués à une dose de 20t/ha avec/sans l'application de biopesticide ont eu des effets très significatifs sur la biomasse totale produite, comparé à l'application du compost avec/sans biopesticide pour les deux types de culture. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par Daiss *et al.*, 2008, sur la bette à carde et par Polmans, 2018, sur la laitue grâce à l'apport de bokashi. Les différences observées, peuvent être dues, comme expliqué précédemment, à la meilleure valeur fertilisante de ces derniers conditionnant le développement des plants cultivés. Les plantes profitent des éléments minéraux apportés par les amendements pour se développer (Amadji *et al.*, 2009 ; Saidou *et al.*, 2012 ; Tognetti *et al.*, 2008). Au niveau des plants d'amarante, l'application du bokashi et/ou du compost a donné des rendements supérieurs à ceux obtenus par Assea 2013, sur sol ferralitique avec du compost à base de résidus d'huile de palme combiné aux déjections animales (1,8 t/ha). Cet auteur recommande une dose de 30t/ha de matière organique pour l'amélioration de la production. Le rendement le plus élevé obtenu par l'apport du bokashi Bs avec une application de biopesticide à raison d'un traitement par semaine (8,43 t/ha) est compris entre les rendements obtenus par Koussihouèdé *et al.*, 2016, sur la culture d'amarante au sud Bénin avec les déjections compostées de petits ruminants (4,8 t/ha) et de la litière de volaille (12,9 t/ha) à la dose de 20 t/ha. Au Bénin, les rendements attendus, avec un sol +/- riche en matière organique et un apport d'urée à raison de 7,5 g/m² sont compris entre 7 et 10t/ha de matière fraîche (Adegbola *et al.*, 2017). Il se confirme donc que le bokashi peut être une matière organique intéressante pour l'amélioration du rendement en production maraîchère au Bénin. Le faible rendement du compost est dû aux teneurs qui sont moins importantes en éléments fertilisants. Il s'agira de penser à revoir les différents éléments entrant dans sa formulation et de concevoir des méthodes alternatives permettant de garantir et de maintenir au mieux les éléments fertilisants apportés par les matières premières.

Le rendement le plus élevé obtenu pour la laitue (2,64 t/ha pour le traitement BfT3) est largement inférieur à ceux obtenus par Saidou *et al.*, 2012 sur sol ferralitique avec le compost enrichi avec les fientes de volailles (20,98 ± 1,95 t/ha) et du guano (11,90 ± 1,55 t/ha) à une dose de 30t/ha. De même, ce rendement est nettement inférieur, à ceux relevés par Alinsato (2018) pour la culture de la laitue qui sont respectivement de 13,815 t/ha et 18,185 t/ha pour des périodes de production comprises entre 2015 -2016 et de 2016-2017 dans le département de l'Ouémé (sud-Bénin). De plus, selon Adegbola *et al.*, (2017), un apport combiné de matière

organique (10-20 t/ha) et de 75 kg/ha d'engrais minéral dont l'urée donnerait un rendement compris entre 5 et 15t/ha de matière fraîche de laitue. Les différences constatées pourraient s'expliquer par le faible niveau de fertilité de départ de notre sol. Les conditions climatiques défavorables à la culture de la laitue pendant l'essai constitue une autre explication des faibles performances de production enregistrées pour celle-ci. Comme dans le cas de l'amarante, l'application de biopesticide n'a pas permis d'obtenir une amélioration significative du rendement de la laitue.

➤ **Effet des amendements et des applications sur les bioagresseurs de la culture d'amarante et de la laitue**

✓ **Culture d'amarante**

Les symptômes causés par les insectes défoliateurs ont servi à évaluer l'influence des traitements appliqués sur l'incidence et la sévérité des attaques de ces derniers. Aucune différence significative n'a été notée entre les différents amendements apportés au niveau de la protection des plants d'amarante. L'incidence de ces bioagresseurs était cependant légèrement plus élevée au niveau des plants amendés avec les bokashis. Même si aucune différence statistique n'est observée du fait de la grande variabilité des résultats entre les traitements, l'action potentiellement bénéfique de la solution de biopesticide a été déjà évoquée plus haut, dans le paragraphe concernant le taux de mortalité de la culture d'amarante. Ces observations vont dans le même sens que celles de Deleixhe (2012), qui a noté une réduction des attaques des insectes défoliateurs avec l'application d'une solution de biopesticide M5 (à base d'EM, d'ail, oignon...etc.) sur les plants de radis.

✓ **Culture de laitue**

L'application de biopesticide EM₅, de même que l'apport des amendements comparés, surtout les bokashis, n'ont pas permis de diminuer l'apparition des tâches nécrotiques observées au niveau des plants de laitue. L'absence d'amendements réduit de manière significative l'incidence et la sévérité des attaques de *Cercospora longissima*. Nos résultats montrent que dans les conditions de l'essai, les bokashis peuvent favoriser le développement de ce champignon et que ce dernier n'est pas contrôlé par l'application de biopesticide EM₅. Même si les symptômes de ce bioagresseur n'empêchent pas la consommation des feuilles de laitue, ils contribuent à la dépréciation de la récolte.

➤ **Rentabilité de l'application des traitements comparés**

Aucun des traitements comparés ne permet une rémunération du travail nécessaire à leur application équivalente à celle du salaire minimum journalier dans le secteur informel (965

FCA/jour de travail, soit 1,47 EUR/jour de travail). La rémunération du travail la plus élevée est obtenue pour l'application de bokashi Bf seul qui génère des VAB/h.j de 441 FCFA pour la production d'amarante et de 561 FCFA pour la production de laitue. Cela s'explique par les coûts élevés liés à l'application des biopesticides, des ingrédients nécessaires à la préparation de l'autre bokashi (Bs), tout particulièrement le son de riz et le miel, et par la faiblesse des effets du compost sur le rendement de l'amarante et de la laitue.

Dans les conditions de réalisation de notre essai, l'application du compost commercialisé par Songhaï avec deux traitements de biopesticide par semaine, se traduit par une valeur ajoutée brute de VAB = -18110 FCFA (-27,65 EUR) pour 4 ares d'amarante et – 19141 FCFA (-29,22 EUR) pour 4 ares de laitue).

Conclusion et recommandations

Afin d'étudier les possibilités d'amélioration durable de la gestion de la fertilité des sols et du contrôle des bioagresseurs en culture maraîchère dans le sud du Bénin, un essai en split plot comparant les effets de l'application des principaux amendements organiques (compost, bokashi à base de fumier de poule, bokashi à base de feuilles de Moringa) et du biopesticide EM5, promu par le centre Songhaï, sur les performances des cultures d'amarante et de laitue a été réalisé au Bénin du 29 avril au 15 juin 2019.

Il ressort de cette étude que :

- A la dose de 20 t/ha, par rapport au témoin ne recevant aucun amendement, les deux bokashis appliqués améliorent significativement la croissance et la production de la laitue et de l'amarante ($P < 0,01$), alors que l'application du compost commercialisé par Songhaï n'induit pas d'amélioration significative des rendements de ces cultures ($P > 0,05$). Les mauvaises performances enregistrées pour l'apport de compost s'expliquent sans doute par sa faible teneur en matière organique (10 % de la matière fraîche) et donc en éléments fertilisants.
- Les meilleurs résultats en termes de production de biomasse d'amarante sont obtenus pour les traitements combinant l'apport de bokashi et une ou deux pulvérisations de biopesticide par semaine selon le bokashi utilisé. L'application de biopesticide n'entraîne cependant pas une augmentation significative de la production par rapport à l'application des bokashis seuls ($P > 0,05$). Il en va de même pour la production de biomasse de laitue. Une ou deux pulvérisations de biopesticide par semaine ne permettent pas d'augmenter significativement le rendement en laitue par rapport à l'application de bokashi seul.
- L'application de biopesticide permet de réduire significativement le taux de mortalité ($P < 0,05$) mais ne permet pas de contrôler les attaques de cercosporiose chez la laitue. Pour aucune des deux cultures, l'application de biopesticide n'a induit des gains de rendement suffisants pour rentabiliser ce type de traitement. Pulvériser le biopesticide EM5 diminue en fait systématiquement la VAB générée par l'application d'un amendement donné.
- seuls les témoins sans intrant (CoT0, BsT0 et BfT0), le bokashi Bf seul (BfT1) et avec un traitement biopesticide par semaine (BfT2), et le bokashi Bs seul (BsT1) génèrent une VAB positive. Tous les autres traitements se traduisent par des pertes.

- Aucun des traitements comparés ne permet une rémunération du travail nécessaire à leur application équivalente à celle du salaire minimum journalier dans le secteur informel (965 FCA/h.j – 0,86 EUR/h.j).

- L'application de bokashi à base de fumier de volaille (Bf) est le traitement le plus rentable. Dans les conditions de l'essai, il génère une VAB/h.j de 441 FCFA/h.j (0,67 EUR/h.j) pour la production d'amarante et de 561 FCFA/h.j (0,86 EUR/h.j) pour la production de laitue.

- Les moins bonnes performances économiques des autres traitements s'expliquent par le coût élevé des ingrédients nécessaires à la préparation de l'autre bokashi (Bs), tout particulièrement du miel, et par la faiblesse des effets du compost et du biopesticide EM5 sur le rendement de l'amarante et de la laitue.

- l'application du compost seul induit des pertes financières de 564 FCFA/are (0,71 EUR/are) pour la production d'amarante et de 685 FCFA/are (1,04 EUR/are) pour la production de laitue. Ces pertes sont accentuées quand on applique également le biopesticide.

Au terme de notre travail, nous pouvons faire les recommandations suivantes :

- Songhaï doit vérifier le processus de production du compost qu'il commercialise afin d'améliorer la qualité de celui-ci, tout particulièrement en ce qui concerne sa teneur en matière organique et en éléments fertilisants.
- Pour mieux cerner et appréhender l'effet des bokashis et du compost, il importe de faire une étude sur les arrières-effets de leur application sur le même site expérimental.
- Les bokashis et le biopesticide EM₅ étant des innovations récentes au Bénin, nous recommandons de revoir leur méthode de préparation en considérant d'autres matières premières disponibles et bon marché et d'expérimenter pour ces nouvelles formules l'effet de différentes doses (0t/ha, 10t/ha, 20t/ha et 30t/ha). S'agissant du biopesticide, il faudra répéter les études sur plusieurs cultures, tout en variant la dose et la fréquence d'application. Il serait également intéressant à ce niveau de revoir et de varier les différentes matières premières utilisées pour sa formulation.
- Ces études devront évaluer systématiquement les performances économiques des traitements proposés afin de disposer d'un référentiel technico-économique solide pour chacun de ceux-ci avant de recommander les plus performants aux producteurs.

Références Bibliographiques

Adegbola P.Y., Adjovi Ahoyo N., Mensah P. S. E., Houedjofonon E.M., Dossou R., Noukpozounkou D. & Adeguelo R. K., 2017. Recueil des technologies agricoles prometteuses développées par le système national de recherche agricole (SNRA) de 1996 à 2015. Document technique et d'informations ; Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB). 1^{ère} édition ; Dépôt légal N° 9433 du 12 juin 2017. Bibliothèque Nationale du Bénin, 2^{ème} trimestre ISBN : 978 - 99919 - 2 - 985 – 9 ; 288p.

Adorgloh-Hessou R.A., 2006. Guide pour le développement de l'entreprise de production et de commercialisation de légumes de qualité dans les régions urbaines et périurbaines du Sud-Bénin. Rapport de consultation, IITA - Bénin, 82 p.

Affora R., 2013. Effets de différents composts à base de résidus de noix de palme sur la production du crincri (*Corchorus olitorius L.*) sur sol ferrallitique au Sud du Bénin. Mémoire de licence en Agronomie. Université Catholique de l'Afrique de l'Ouest (UCAO), Unité Universitaire de Cotonou/ Bénin (UUC) ; 74p.

Agboyi L.K., Ketoh G.K., Martin T., Glitho I.A. & Tamò M., 2016. Pesticide resistance in6 **Agrisud International, 2010.** L'agroécologie en pratiques - Guide français Édition 2010.

AgroBio Périgord., 2013. Fiche technique : Faire ses tests de germination. Périgueux

Agueh, V., Degbey C.C., Sossa-Jerome C., Adomahou D., Paraiso M. N., Vissoh S., Makoutode M., Fayomi B., 2015. Niveau de contamination des produits maraîchers par les substances toxiques sur le site de Houéyiho au Bénin. International Journal of Biological and Chemical Sciences - Vol 9(1):542–551.

Ahmad M., Rafiq M., Arif M.I. & Sayyed A.H., 2011. Toxicity of Some Commonly Used Insecticides Against *Coccinella undecimpunctata* (Coleoptera: Coccinellidae). Pakistan Journal of Zoology, 43 (6):1161-1165.

Ahouangninou C. C. A., 2013. Durabilité de la production maraîchère au sud-bénin : un essai de l'approche écosystémique. Thèse de Doctorat Unique Université d'Abomey-Calavi. Spécialité : Gestion de l'Environnement ; Option : Environnement, Santé et Développement Durable ; 333p.

Aho N. & Kossou D. K., 1997. Précis d'Agriculture tropicale Bases et Eléments d'Applications. Editions du Flamboyant, Cotonou. 447p.

Ahsanur R.M., Begum M. F., Firoz Alam M., 2012. Effect of bio compost, cow dung compost and NPK fertilizers on growth, yield and yield components of Chili. International Journal of Biosciences (IJB), 2, 1, pp. 51-55

Alinsato A., 2018. Analyse d'offre des produits maraîchers au Bénin. Université d'Abomey-Calavi & Chaire OM. Consulté le 25/06/19 sur [https:// www. wtochairs. org/sites/ default/ files/wp_2018_Analyse_d%20d%27offre_de_s%20produits_mara%C3%AEchers_au_au%20B%C3%A9nin.pdf](https://www.wtochairs.org/sites/default/files/wp_2018_Analyse_d%20d%27offre_de_s%20produits_mara%C3%AEchers_au_au%20B%C3%A9nin.pdf)

Altieri M. A., 1983. "The question of small farm development: Who teaches whom?" *Agriculture, Ecosystems and Environment* 9(4): 401-405.

Altieri M. A., 1983. *Agroecology, the Scientific Basis of Alternative Agriculture*. Div. of Biol. Control, U.C. Berkeley, Cleo's Duplication Services. (out of print). Berkeley.

Altieri M. A., 1986. *Agroecologia: bases científicas de la agricultura alternativa*. Valparaíso, Centro de Estudios en Tecnologías Apropriadadas para Americana Latina (CETAL), 15p.

Amoatey C.A., & Acquah E., 2010. Basil (*Ocimum basilicum*) intercrop as a pest mangement tool in okra cutivation in the Accra plains. *Ghana J. Hortic.*, 8, 65-70.

Andrews M., Cripps M.G., Edwards G.R., 2011. 'The potential of beneficial microorganisms in agricultural systems', (3), pp. 1–5. doi: 10.1111/j.1744-7348.2011.00519.x.

APNAN (1995). EM application manual for APNAN countries. Consulté le 07 Déc, 2018, sur Agriton: <http://www.agriton.nl/apnanman.html/> .

APNAN (réseau d'agriculture naturelle Asie/Pacifique), 1996. Manuel d'application des EM pour les pays de l'APNAN, 12p.

APROLAB., 2007 : Manual para la producción de compost con microorganismos eficaces. Programme PASE Pérou, 17p.

Arias A., 2001. *Suelos tropicales*. Editorial Universidad Estatal a Distancia. San José, Costa Rica; 12p.

Assea E. D., 2013. Effets de différents composts à base de résidus de noix de palme sur la production de l'Amarante (*Amaranthus hybridus*) sur sol ferrallitique au Sud du Bénin. Mémoire de licence en Agronomie. Université Catholique de l'Afrique de l'Ouest (UCAO), Unité Universitaire de Cotonou/ Bénin (UUC) ; 74p.

Assogba-komlan F., Anihou P., Achigan E., Sikirou R., Boko A., Adje C., Ahle V., Vodouhe R. & Assa A., 2007. Pratiques culturales et teneur en éléments anti nutritionnels. (Nitrates et pesticides) du *Solanum macrocarpum* au sud du Bénin. 7 (4), 21 p.

Atidegla S. C., Bonou W., Agbossou K., 2017. 'Relations entre perceptions des producteurs et surfertilisation en maraichage urbain et péri urbain au Bénin Relations between farmers perceptions and over dose fertilization in urban and peri urban market gardening in Benin', 11(October), pp. 2106–2118.

- Babajide P.A., Olabode O.S., Akanbi W.B., Olatunji O.O., & Ewetola E.A., 2008.** Influence of Composted Tithonia-biomass and N-Mineral Fertilizer on Soil Physico-Chemical Properties and Performance of Tomato (*Lycopersicon lycopersicum*). Research Journal Agronomy, 2(4):101-106.
- Babajide J. M., Henshaw F. O., & Oyewole O. B., 2008.** Effect of yam variety on the pasting properties and sensory attributes of traditional dry-yam slices and their products. Journal of Food Quality 31: 295-305.
- Bailey K. L., & Baile, K. L. , 2010.** ‘Canadian innovations in microbial biopesticides Special topics / Sujets spéciaux’, 0661. doi: 10.1080/07060661.2010.484195.
- Bates D., Maechler M., Bolker B., Walker S., 2015.** Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. Journal of Statistical Software, 67(1):1-48. doi:10.18637/jss.v067.i01.
- Bernoux M., Chenu C., Blanchart E., Eglin T., Bispo A., Bardy M., King D., 2011.** Etude et Gestion des Sols, Volume 18 (3) : 137-145 (www.gessol.fr)
- BID (Banco Interamericano de Desarrollo), 2009 :** Manual Práctico de uso de EM. Banco Interamericano de Desarrollo - Convenio Fondo Especial de Japón/BID ATN/JO-10792. Uruguay.
- Bijlmakers H.W.L. & Verhoek B.A., 1995.** Guide de defense des cultures du Tchad: Cultures vivrières et maraîchères. Projet FAO/PNUD CHD/88/001 ; Via delle Terme di Caracalla, 00100 Rome, Italie, 414p.
- Blanco D., Juvier Y., Ojeda F., Fonte L., Soca M., Martín G., Ramírez I., 2007.** Evaluación de pre-cebas porcinas suplementadas con un bio-preparados de EM MicroBen-IH. Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey , Matanzas, Cuba.
- Blanco D., 2012.** IHplus, bioproducto cubano de amplio espectro, una herramienta en los sistemas productivos. EEPFIH, Matanzas, Cuba.
- Blanco D., García Y., 2010.** Manual de producción de microorganismos benéficos (IHplus). EEIPFH, Matanzas, Cuba.
- Blanco D., García Y., 2012.** Principios para la preparación de los microorganismos benéficos. EEIPFH, Matanzas, Cuba.
- Blanco D., Granja V., Martinera F., Martín G., González C. A., Rhiner K., 2009.** Efecto de la adición de microorganismos benéficos (IHplus) en la fluidez de pastas del cemento Portland (Canal y Holcim). Memoria de la II Conferencia Internacional de Eco-materiales, Granma, Cuba.
- Blanco D., Juvier Y., Ojeda F., Fonte L., Soca M., Martín G., Ramírez I., 2007.** Evaluación de pre-cebas porcinas suplementadas con un bio-preparados de EM MicroBen- IH.

Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey, Matanzas, Cuba.

Blanco D., Ojeda F., 2009. Principios para la preparación de los microorganismos benéficos y sus potencialidades para la producción animal. Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey (EEPFIH), Matanzas, Cuba.

Blanco D., García Y., Martín G., Cepero L.; Medina R., Diaz M., Fonte L., Ramírez I., 2011. Los microorganismos benéficos. Una herramienta en el camino hacia la sostenibilidad de los sistemas productivos. Estación Experimental “Indio Hatuey”, Matanzas, Cuba.

Bokobana A., Outéndé T., Kolani L., Gado T., 2017. Traitement de déchets ménagers par co-compostage avec la légumineuse *Cassia occidentalis* L. et quelques adjuvants de proximité pour améliorer la qualité agronomique de composts. Research Gate N°73. DOI: 10.4267/dechets-sciences-techniques.3551 (<https://www.researchgate.net/publication/317555694>)

Bonfim L. P. G., 2011. Caderno dos Microorganismos eficientes (EM): instruções práticas sobre uso ecológico e social do EM. Viçosa, MG. Universidad Federal do Viçosa, Brésil.

Bounouara Z., 2018. Origine et évolution de la matière organique dans les sols des zones subhumides (Cas de la région de Skikda- Algérie). Thèse de Doctorat en Sciences Agronomiques Option : Sciences des Sols ; UNIVERSITÉ EL HADJ LAKHDAR DE BATNA ; 205p.

Côte F., Poirier-Magona E., Perret S., Roudier Ph., Rapidel B., Thirion M.C., 2018. La transition agro-écologique des agricultures du Sud. (Eds) Versailles, coédition Quae, Cirad, AFD, Coll. Agricultures et défis du monde, 532p.

Coulibaly O., Cherry A.J., Nouhoheflin T., Aitchedji C.C. & Al-Hassan R., 2006. Vegetable producer perceptions and willingness to pay for biopesticides. Journal of Vegetable Science, Vol(12): 27-41.

Crichton L. & Ortega L. B. (2000). Report of resource recovery forum recycling achievements in Europe press. skipon north, York shine, 44 p.

Cruz J. M., 2016. ‘Etude de la contamination par les pesticides des milieux eau , air et sols : développement de nouveaux outils et application à l ’ estuaire de la Gironde To cite this version : HAL Id : tel-01359188 DOCTEUR DE L ’ UNIVERSITÉ DE BORDEAUX’.

Daly M., 2007. Bokashi composting: proven at the household level, now adapted for use at the commercial level. Consulté le 15/12/2018 sur (http://www.zingbokashi.co.nz/pdfs/bokashi-composting-Burt_Daly.pdf).

Dana Mae C., 2017. ‘The Use Of bokashi As A Soil Fertility Amendment In Organic Spinach Cultivation’. *Graduate College Dissertations and Theses*. 678p.

Deleixhe G., 2012. 'Etude participative de l'impact agronomique et de la durabilité de plusieurs traitements de production agro-écologique utilisés par la petite agriculture familiale de Carhuaz' Bioingénieur, M. and Sciences, E. N. 2012.

Douglas J. T., Aitken M. N. & Smith C. A., 2003. Effects of five non-agricultural organic wastes on soil composition and on the yield and nitrogen recovery on Italian ryegrass, pp 135-138.

Dorian F., 2015. Microorganismes Efficaces '(EM)'. Compilation de documents et témoignages cubains sur le fonctionnement, la production artisanale et l'usage des microorganismes efficaces en milieu paysan ;42p.

Dugué P., 2012. 'L'agroécologie pour l'agriculture familiale dans les pays du Sud : impasse ou voie d'avenir ? Le cas des zones de savane cotonnière de l'Afrique de l'Ouest et du Centre. L'évolution historique des systèmes de production et des systèmes agraires en zone de savane', pp. 1-23.

Duprarque A., & Rigalle P., 2011. Composition des MO et turn over ; Rôles et fonctions des MO, actes du colloque « Gestion de l'état organique des sols », 27 janvier 2011, Agrotransfert.

EPA., 2003. Biopesticide. *Rapport conférence*, 15 p.

FAO, 2015. Croissance Agricole en Afrique de l'Ouest : Facteurs déterminants de marché et de politique. FAO ISBN 978-92-5-208700-7; 453p.

FAO., 1991 : Manejo del suelo: producción y uso del compostaje en ambientes tropicales y , subtropicales. Boletín N°56, FAO, Rome, Italie.

FAO & CEDEAO., 2018. Profil National Genre des Secteurs de l'Agriculture et du Développement Rural – Bénin. Série des Évaluations Genre des Pays. Cotonou. 148 pp.

Faverial J., 2016. Compostage et vermicompostage des effluents d'élevage. Une alternative durable pour le recyclage des déchets d'origine animale. Thèse de Doctorat unique ; 'Université des Antilles Spécialité : Sciences agronomiques ; 163p.

Francis C., 2009. Organic Farming, The Ecological System. Madison, American Society of Agronomy, Inc. Crop Science Society of America, Inc. Soil Science Society of America.

Francis C. A., Flor C. A., 1976. Adapting varieties for intercropped systems in the tropics. Multiple Cropping. P. A. Papendick, P. A. Sanchez and G. B. Triplett. Wisconsin, Publ. Amer. Soc. Agrono. 27: 235-254p.

Francis C., Lieblein G., Gliessman S., Breland T.A., Creamer N., Harwood R., Salomonsson L., Helenius, J., Rickerl, D., Salvador R., Wiedenhoeft, M., Simmons, S., Allen P., Altieri M., Flora, C. & Poincelot R., 2003. Agroecology: The Ecology of Food Systems. Journal of Sustainable Agriculture 22(3): 99118.

García, Y., Sánchez, S., Blanco, D., 2011 : El rol de los microorganismos eficaces (EM) para una agricultura sostenible. Estación Experimental de Pastos y Forrajes “Indio Hatuey”, Matanzas, Cuba.

Gliessman S. R., Garcia R. E., 1981. "The ecological basis for the application of traditional agricultural technology in the management of tropical agro- ecosystems." *Agro-Ecosystems* 7(3): 173-185.

Gliessman S. R., 2006. *Agroecology of sustainable food systems*. London, CRC Press Taylor & Francis Group.

Gockowski J., Mbazo'o J., Mbah G. & Moulende T.F., 2003. African traditional leafy vegetables and urban and peri-urban poor. *Policy*, 28: 221-235.

Grain de sel (2014). *Agroécologie en Afrique de l'Ouest et du Centre : réalités et perspectives*

Higa T., 1993. Effective microorganisms: their role in Kyusei nature farming and sustainable agriculture. In proceedings of 3rd International conference of Kyusei Nature Farming. USDA.

Higa T., Parr J. F., 1994. Beneficial and effective microorganisms for a sustainable agriculture and environment. International Nature Farming Research Center, Atami, Japon.

Higa T., 1991. Microorganisms for agriculture and environment preservation. 128p.

Higa T., 1994. Effective microorganisms : a new dimension for nature farming.

Houadakpode D. S., 20018. Valorisation des plantes aromatiques dans la gestion intégrée des principaux insectes ravageurs de la grande morelle au sud-bénin : cas de *Ocimum gratissimum* et *O. basilicum*. Travail de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de Master de spécialisation en Production Intégrée et Préservation des Ressources Naturelles en Milieu Urbain et Périurbain. Université de Liège, Faculté Agro-Bio Tech (Gembloux). 69p.

Houenou A. C. E., 2013. Effet de trois composts et de leurs thés sur la croissance, le rendement et les nuisibles du *Solanum macrocarpon*. Mémoire de Licence en Agronomie, Université Catholique de l'Afrique de l'Ouest. 92p.

<https://donnees.banquemondiale.org/indicateur/sl.agr.empl.zs>; consulté le 11/12/18.

<https://insae-bj.org/publications/publications-trimestrielles>; consulté le 11/12/18.

<https://www.cirad.fr/actualites/toutes-les-actualites/communiques-de-presse/2018/agro-ecologie-solution-d-adaptation-des-agricultures-du-sud-aux-changements-climatiques-et-globaux>; consulté le 16/11/18.

<http://www.apnan.org/> <https://www.emrojapan.com/news/detail/11> (7/12/18).

Hu C., and Qi Y., 2013. 'Long-term effective microorganisms application promote growth and increase yields and nutrition of wheat in China', *European Journal of Agronomy*. Elsevier B.V., (46): 63–67. doi: 10.1016/j.eja.2012.12.003.

Hussein T., Jilani G. M., Anjum S., Zia M. H., 2000: Effect of EM application on soil properties. In proceedings of the 13th International Scientific Conference of IFOAM. Alfoeldi, T., et al (Ed). FiBL, Basel, Suisse. Insecticides against *Coccinella undecimpunctata* (Coleoptera: Coccinellidae). *Pakistan Journal of Zoology*, 43(6):1161–1165.

Igue A. M., Saidou A., Adjanooun A., Ezui G., Attiogbe P., Kpagbin G., Gotoechan-Hodonou H., Youl S., Pare T., Balogoun J., Ouedraogo J., Dossa E., Mando A., Sogbedji J. M., 2013. Evaluation de la fertilité des sols au sud et centre du Bénin. Bulletin de Recherches Agronomique du Bénin (BRAB). <https://www.researchgate.net/publication/259999363>.
[_Evaluation_de_la_fertilite_des_sols_au_sud_et_centre_du_Benin](#) [accessed Jul 25 2019].

IRPAD., 2014. Révolution verte ou agro-écologie ? Thierry Defense, SOS Faim, 88 rue V. Hugo-L-4141 Esch-sur-Alzette; 21p.

James B., Atcha-Ahowé C., Godonou I., Baimey H., Goergen G., Sikirou R. & Toko M., 2010. Gestion intégrée des nuisibles en production maraîchère : Guide pour les agents de vulgarisation en Afrique de l'Ouest. *Institut international d'agriculture tropicale (IITA)*, Ibadan, Nigeria, 120 p

Jaza folefack A. J., 2008. The Influence of Compost Use on the Production of Lettuce (*Lactuca sativa*) in the Urban and Peri-urban Areas of Yaoundé (Cameroon). *Tropicultura*, 28, 4, éditeur : J. Vercruysse, Bruxelles, pp.246-253.

Kahane R., Temple L., Brat P., De Bon H., 2005. Les légumes feuilles des pays tropicaux : Diversité, richesse économique et valeur santé dans un contexte très fragile. Colloque Angers 7-9 septembre 2005-03-14 : ‘‘Les légumes : un patrimoine à transmettre et à valoriser Thème III : Utilisation et perception’’. CIRAD département Flhor, Bd de la Lironde, 34398 Montpellier cedex 5, 9p.

Kakai H. F., Kakai S. G., & Tohouegnon A. G., 2010. Agriculture urbaine et valorisation des déchets au Bénin: une approche de développement durable. [VertigO] La revue électronique en sciences de l'environnement, 10 (2), URI: <https://id.erudit.org/iderudit/045516ar>.

Kanda M., Akpavi S. & Wala K., 2014. Diversité des espèces cultivées et contraintes à la production en agriculture maraîchère au Togo. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 8(1): 115-127.

Kitabala M. A., Tshala U. J., Kalenda M. A., Tshijika I. M., Mufind K. M., 2016. Effets de différentes doses de compost sur la production et la rentabilité de la tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) dans la ville de Kolwezi, Province du Lualaba (RD Congo). *Journal of Applied Biosciences* 102:9669 – 9679. ISSN 1997–5902.

Koussihouèdé H. K., Assogba-komlan F., Aholoukpè N.S.H., Amadji G. I., 2016. Influence comparée de la litière de volaille et des déjections compostées de petits ruminants sur la

productivité de l'amarante (*Amaranthus cruentus* L.) sur terre de barre au Sud-Bénin. BRAD (Bulletin des Recherches Agronomiques du Bénin) Numéro 80. 1025-2355 et ISSN en ligne (on line) : 1840-7099. p 14-23.

Koura T.W., Dagbenonbakin G.D., Kindomihou V.M., Sinsin B.A., 2015. Effect of co composting of palm oil mill wastes and cow dung or poultry manure on *Amaranthus hybridus* growth and yield. *Journal of Applied Biosciences*. 86: 7918-7927.

Koura T.W., Kindomihou V.M., Dagbenonbakin G.D., Janssen M., Sinsin B. A., 2015. Quantitative assessment of palm oil mill wastes generated by mills in Southern Benin. *African Journal of Agricultural Research*. 11(19): 1787-1796

Kuznetsova A., Brockhoff P.B. & Christensen R.H.B., 2017. “lmerTest Package: Tests in Linear Mixed Effects Models.” *Journal of Statistical Software*,*82*(13), 1-26.doi: 10.18637/jss.v082.i13 (URL : <http://doi.org/10.18637/jss.v082.i13>)

Kyan T., Shintani M., Kanda S., Sakurai M., Ohashi H., Fujisawa A., 1999. Kyusei Nature Farming and Technology of Effective Microorganisms (R. Sangakkara Ed.) Bangkok, Thailand: Asia Pacific Natural Agriculture Network. p49

Levario-Carrillo M., Amato D., Ostrosky-Wegman P., Gonzalez-Horta C., Corona Y. & Sanin L.H., 2004. Relation between pesticide exposure and intrauterine growth retardation.

Matthews C. R., 2008. *Pesticide application methods*. 3e ed Blackwell Science Ltd.

Mathews C. R., Bottrell D. G. & Brown M. W., 2004. Habitat manipulation of the apple orchard floor to increase ground dwelling predators and predation of *Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera:Tortricidae). *Biol. Control*(30): 265–273. <https://doi.org/10.1126/science.277.5325.504>.

Mayer J., Scheid S., Widmer F., Fließbach A., & Oberholzer H-R. 2010. How effective are Effective microorganisms (EM)? Results from a field study in temperate climate. *Applied Soil Ecology*, 46(2), 230-239.

Mbatha, A. N., 2008. Influence of organic fertilizers on the yield and quality of cabbage and carrots. *Magister Scientiae Agriculturae* Faculty of Natural and Agricultural Sciences Department of Soil, Crop and Climate Sciences University of the Free State Bloemfontein; 137p.

Meherunnessa Talukder N.M. & Zakir H.M., 2011. Influence of Compost and Fertilizers on Growth, Yield and some Biochemical Composition and Summer Tomato. *Bangladesh Research Publications Journal*, 5(4): 344-350.

Milagrosa S.P., & Balaki E.T., 1999. Influence of Bokashi Organic Fertilizer and Effective Microorganisms (EM) on Growth and Yield of Field Grown Vegetables. *Proceedings of the*

conference on Kyusei Nature Farming and Effective Microorganisms for Agricultural and Environmental Sustainability held at Bangkok, Thailand; Japan: International Conference on Kyusei Nature Farming.

Misonga K. A., Tshala U. J., Kalenda M. A., Tshijika I. M., Mufind K. M., **2016**. ‘Effets de différentes doses de compost sur la production et la rentabilité de la tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) dans la ville de Kolwezi , Province du Lualaba (RD Congo)’, J. Appl. Biosci 102: 9669 – 9679.

MOMAGRI, 2016. Chiffres-clés de l’Agriculture, <http://www.momagri.org/FR/chiffres-cles-de-l-agriculture/Avec-pres-de-40%25-de> Page 10 of 11.

Mrabet L., Belghyti D. & Attarassi A. L. B., 2011. ‘Étude de l ’ effet du compost des déchets ménagers sur l ’ amélioration du rendement de Maïs et de la Laitue Résumé’, 07(2) : 74–84.

Mustin M., 1987. Le Compost, Gestion de la Matière Organique, F. Dubusceds, Paris, 954 p.

Nabie, A., 2018. ‘ Gestion intégrée des nuisibles en production maraîchère en milieu urbain et périurbain au Burkina Faso : Cas de la ville de Ouagadougou. Master en Production Intégrée et Conservation des ressources Naturelles en Milieu Urbain et Péri-Urbain ; Université de Liège, Faculté Agrobiotech (Gembloux) .

Ndonga R. K., Friedel J.K., Spornberger A., Jezik K., 2011. Effective Microorganisms’ (EM): An Effective Plant Strengthening Agent for Tomatoes in Protected Cultivation Biological Agriculture and Horticulture 27(2):189-203.

Ninsin K.D., 2015. Cross-resistance assessment cartap and esfenvalerate selected strains of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae). WJAE,23(2): 1–6

Olivera D., Ayala J., Calero A., Santana M., Hernández A., 2014. Prácticas agroecológicas en la provincia de Sancti Spíritus, Cuba. Microorganismos Eficientes (EM), una tecnología apropiada sobre bases agroecológicas. Universidad de Sancti Spíritus “José Martí Pérez”, Cuba.

Olivera D., Henderson, D. & Wegener, L., 2014 : Tecnología EM a partir de hojarasca colectada en un bosque de coníferas en las inmediaciones de Vancouver en British Columbia, Canada.

Oviasogie P. O., Aisueni N. O., Brown G.E., 2010. Oil palm composted biomass: A review of the preparation, utilization, handling and storage. African Journal of Agricultural Research Vol. 5(13), pp. 1553-1571, Available online at <http://www.academicjournals.org/AJAR> DOI: 10.5897/AJAR09.016 ISSN 1991-637X ©2010 Academic Journals

Paredes M. V., 2013 : Utilização dos micro-organismos eficazes (EM) no processo de compostagem. Universidade José do Rosário Vellano – UNIFENAS. Brasil.

Paron M. E., Gomes G. A. C., Mendes C. A. P., Costa A. A, Lima G. V., T Proença T., **2015**.

‘A1-492 Efeito de bokashi e farinha de peixe na produção de sementes de tomate para o sistema orgânico’, pp. 1–4. Archivo Digital: descarga y online ISBN 978-950-34-1265-7.

Pegorer A. P. R., Franch C. M., C., Franch J. L., Siqueira M. F. B., Motta S. D., 1995. Informações sobre o uso do E.M.(Microorganismos Eficazes) – Apostila. Agricultura natural messiânica - Fundação Mokiti Okada – Rio de Janeiro. Brésil

Pohlert T., 2014. The Pairwise Multiple Comparison of Mean Ranks Package (PMCMR). R package, <URL: <https://CRAN.R-project.org/package=PMCMR>>.

Polmans A., 2018. Étude comparative en vue de l’optimisation des propriétés physico-chimiques du bokashi produit par la coopérative « Udom Sorya » à Takéo. Mémoire présenté en vue de l’obtention du Master en sciences de l’ingénieur industriel en agronomie; Haute école de CHARLEMAGNE ; 133p.

Pujol A., 2012. Modélisation du procédé de compostage – Impact du phénomène du séchage. Thèse unique de doctorat ; université de Toulouse, délivré par l’Institut National Polytechnique de Toulouse ; Discipline: sols et Environnement ; 263p.

Quemada M., and Cabrera M. L., 1995. CERES-N model predictions of nitrogen mineralized from cover crop residues. Soil Science Society of American Journal 59: 1059–1065.

R Core Team., 2018. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>

Rahbi P., 2008. Manifeste pour la Terre et l'Humanisme. Paris Actes Sud. Reed.

Ramdani N., 2015. Transformation de la matière organique au cours du co-compostage de boues de station d’épuration et de déchets verts: Approche expérimentale pour une production durable de compost. Thèse de doctorat, Spécialité : Chimie physique ; Université d’Oran1 Ahmed Ben Bella, Faculté des Sciences Exactes et Appliquées ; 243p.

Saidou A., Bachabi S. F. X., Padonou G. E. , Biaou O. D. B. , Balogoun I. , Kossou D., 2012. Effet de l'apport d'engrais organiques sur les propriétés chimiques d'un sol ferrallitique et la production de laitue au Sud Bénin. Rev.CAMES-Série A, 13(2):281-285.

Shokalu A.O., Ojo A.O., Adewoyin E., Akintoye H.A. and Idowu A.A., 2011. *Use of Tithonia diversifolia and Compost as Soil Amendments for Growth and Yield of Celosia argentea.* Proc. Firth All African Horticultural Congress, pp. 149- 152.

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

Souleymane N., Legba C. E., Aglinglo A. L., Francisco R. A., Sogbohossou E. O. D., Fassinou Hotègni V. N. & Achigan-Dako G. E., 2018. Fiche technique synthétique pour la

production des Amarantes (*Amaranthus* spp.). Laboratory of Genetics, Horticulture and Seed Science (GBioS), Université d'Abomey-Calavi (UAC), Abomey-Calavi, ISBN 978-99919-76-76-1, Dépôt légal N°10474 du 06/07/18, Bibliothèque Nationale du Bénin, 3ième trimestre.

Stassart P. M., Baret Ph., Grégoire J-Cl., Hance Th., Mormont M., Reheul D., Stilmant D., Vanloqueren G., Visser M., 2012. 'L ' agroécologie : trajectoire et potentiel Pour une transition vers des systèmes alimentaires durables 1', 1–21. <http://hdl.handle.net/2268/130063>.

Tognetti C, Mazzarino M.J, Laos F., 2008. Compost of municipal organic waste: effects of different management practices on degradability and nutrient release capacity:2290-2296p.

Torquebiau E., 2015. Changement climatique et agricultures du monde. Cirad Éditions Quæ RD 10, 78026 Versailles Cedex www.quae.com

Tripp R., 2008. Agriculture Change and Low-Input Technology. Agricultural Systems, Agroecology and rural innovation for development. S. Snapp. Almsterdam, Elsevier: 129-160.

Tulkens L., 2017. Recherche sur l'amélioration de la qualité et de l'efficacité du bokashi produit par la coopérative "Oudam Soriya", [Thèses de Master]. Haute école Louvain en Hainaut, Fleurus.

Vanloqueren G. & Baret V., 2009. "How agricultural research systems shape a technological regime that develops genetic engineering but locks out agroecological innovations." Research Policy 38 (6): 971-983.

Warner, K. D. 2007. Agroecology in Action. Boston, MIT Press.

Washington D.C. & Higa T. 1994. An earth saving revolution II. Sumark Publishing Inc. Japon.

Weber J., Karczewska A., Drozd J., Lieznar M., Lieznar S., Jamroz E. & Kocowicz A. 2007. Agricultural and ecological aspects of sandy soil as affected by the application of municipal solid waste composts. *Soil Biology and Biochemistry* 39, pp 1294-1302.

Weerasekera U.S., 1999. Impact of effective Microorganisms on nitrogen utilization in food crops. Faculty of Agriculture of Peradeniya, Sri Lanka.

Xiang H., Nuckols, J.R. & Stallones, L.A., 2000. Geographic information assessment of birth
Yarou B.B., Pierre Silvie, Assogba-Komlan F., Mensah A, Alabi T., Verheggen F., & Francis F., 2017. Plantes pesticides et protection des cultures maraichères en Afrique de l'Ouest (synthèse bibliographique). BASE [En ligne], Volume 21 (4), Numéro 4, 288-304. URL : <https://popups.uliege.be:443/1780-4507/index.php?id=16175>

Yolou I., Yabi I., Kombieni F., Tovihoudji P.G., Yabi J.A., Paraïso A.A. & Afouda F., 2015. Maraîchage en milieu urbain à Parakou au Nord-Bénin et sa rentabilité économique. Int. J. Innov. Sci. Res. 19(2), 290-302.

Zarb C., Chiang K., 2001. Efectos beneficiosos de los microorganismos eficientes.

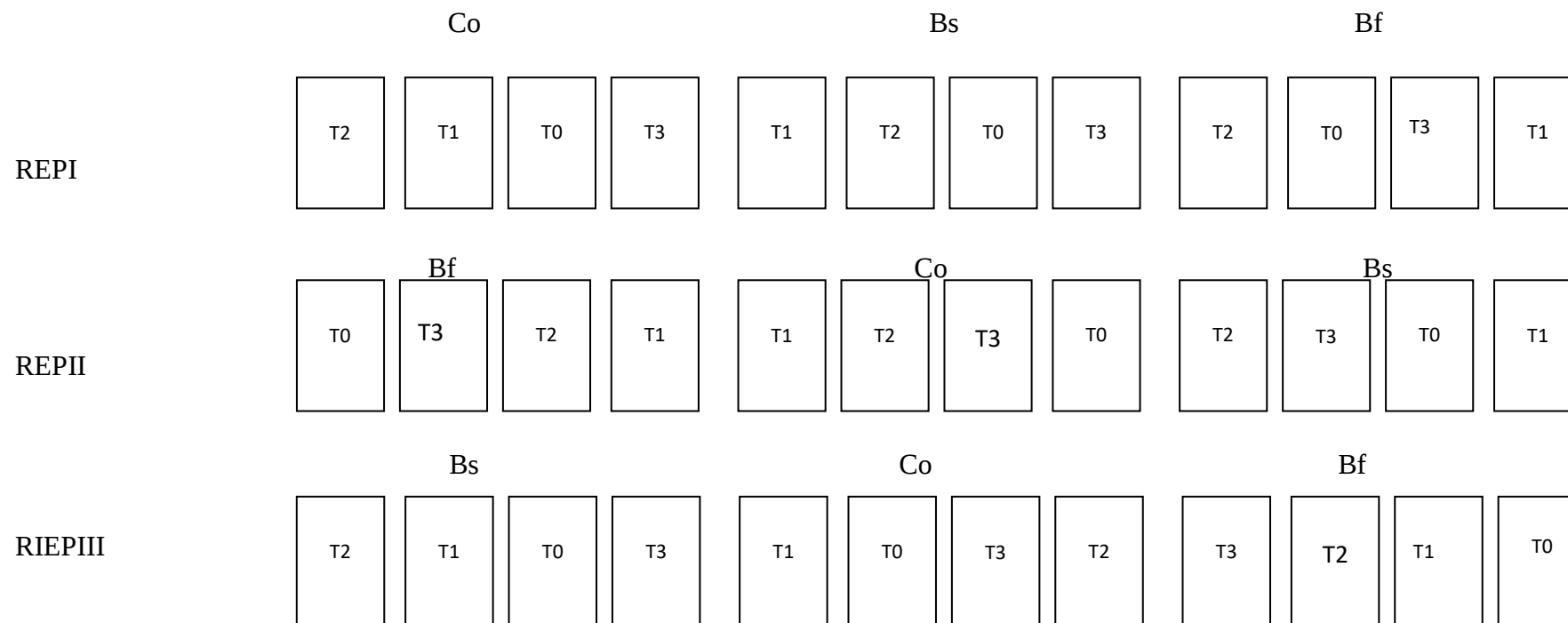
Restrepo J., 2001. Elaboración de abonos orgánicos fermentados y biofertilizantes foliares. Experiencia con agricultores en mesoamérica y Brasil. IICA, San José, Costa Rica.

Zoude C. Z., 1998. Etude de l'impact du compost à base des ordures ménagères sur la fertilité d'un sol ferrugineux tropical à Djougou, Thèse, Faculté Agronomique d'Abomey Calavi, Abomey Calavi, 119p.

.

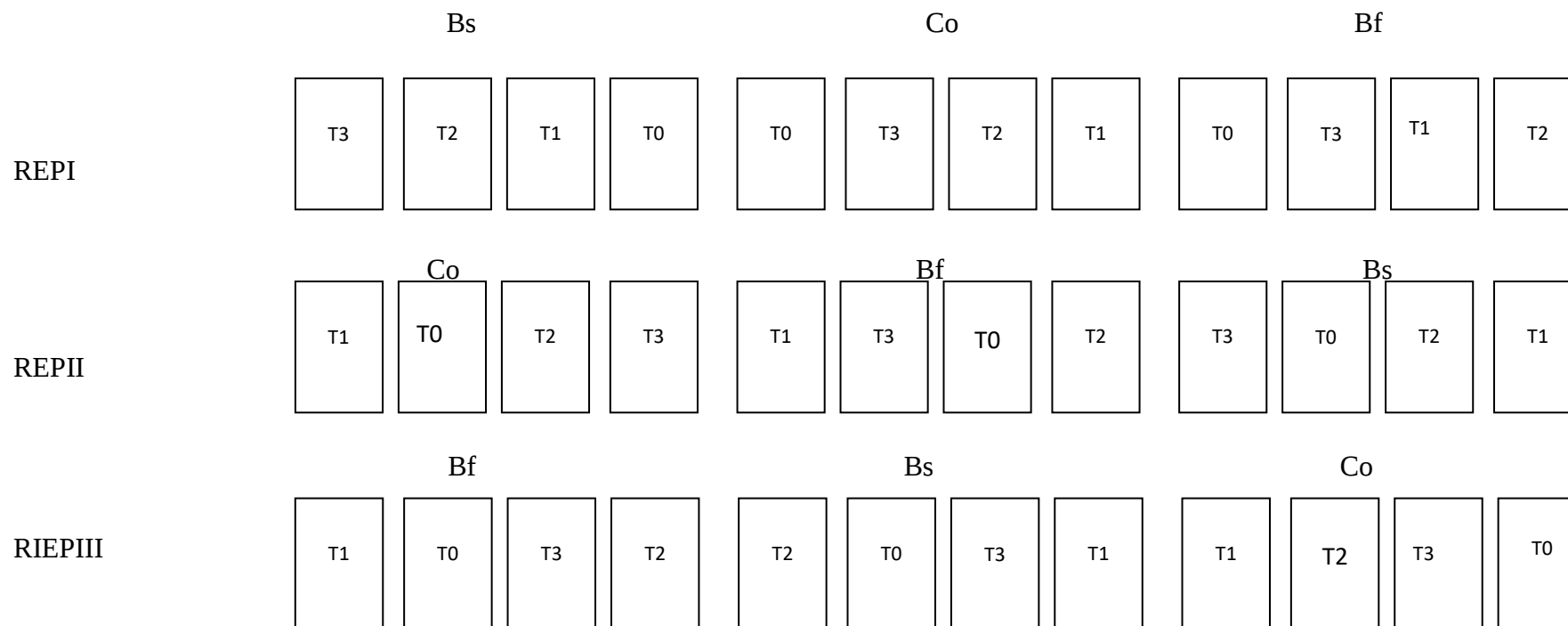
ANNEXE 1 :

A- Dispositif Amarante



Co: compost Songhaï; Bs :bokashi enrichi avec les feuilles de moringa; Bf: bokashi enrichi avec la litière de volaille ; T1 : (0t/ha, pas application de biopesticide); T2 : (20t/ha, pas application de biopesticide); T3 : (20t/ha, application de biopesticide une fois par semaine); T3 : (20t/ha, application de biopesticide deux fois par semaine)

B- Dispositif Laitue



Co: compost Songhaï; Bs :bokashi enrichi avec les feuilles de moringa; Bf: bokashi enrichi avec la litière de volaille ; T1 : (0t/ha, pas application de biopesticide); T2 : (20t/ha, pas application de biopesticide); T3 : (20t/ha, application de biopesticide une fois par semaine); T3 : (20t/ha, application de biopesticide deux fois par semaine)

ANNEXE2 :

A-Coûts de production des bokashis

Tableau 24 : coût de production

coût de production de bokashi Bs				
Matière première	Quantité	Unité	Prix Fcfa	
Son de riz	50	kg	2000	
Balles de riz	5	kg	200	
Eau	16,5	L	10	
EMAS	0,495	L	742,5	
Miel	0,495	L	1237,5	
Feuille de Moringa	5	Kg	300	
Total	77,49		4490	
		Bs	57,9429604	

coût de production Bokashi Bf				
Matières première	Quantité	Unité	Prix Fcfa	
Fumier	40	Kg	400	
Son de riz	20	Kg	1600	
Balles de riz	20	Kg	100	
EMAS	0,075	L	112,5	
Miel	0,075	L	187,5	
Eau	7,5	L	10	
Total	87,65	Kg	2410	
		Bf	27,4957216	

B-Calcul du coût intermédiaire

Tableau 25 : coût intermédiaire

Coût intermédiaire	Bs	Bf	Co
Coût amendements (400m2)	25147,2448	11933,1432	8680
Semences d'amarante	2000	2000	2000
Semences de laitue	4000	4000	4000
Total 1 Amarante	27147,2448	13933,1432	10680
Total 1 laitue	29147,2448	15933,1432	12680
Achat de Biopesticide			
Application une fois/semaine	7500	7500	7500
Application deux fois/semaaine	15000	15000	15000
Total 2 Art /apl/1 fois	34647,2448	21433,1432	18180
Total 2 Art /apl/2 fois	42147,2448	28933,1432	25680
Total 2 laitue /apl/1 fois	36647,2448	23433,1432	20180
Total 2 laitue /apl/2 fois	44147,2448	30933,1432	27680

NB	400 m2 soit 31 planches de 7m2	
	2kg /m2 implique 434 kg d'amendement	
	Application de biopesticide	
	dose recommandée	1-5ml /m2 de culture (application foliaire et au sol)
	dose utilisée au cour de l'expérimentation:250ml/400m2 par application	

C-Produit brute de l'amarante

Tableau 26 : Produit brute de l'amarante

Amarante												
Trts	CoT0	CoT1	CoT2	CoT3	BsT0	BsT1	BsT2	BsT3	BfT0	BfT1	BfT2	BfT3
Rdts/t/4 00 m ²	0,02959 35	0,05053 74	0,034894 81	0,045418 59	0,02807 03	0,17902 77	0,18286 71	0,157987 62	0,04123 55	0,15171 27	0,17482 97	0,154793 33
Rdts/g/4 00 m ²	29594	50537	34895	45419	28070	179028	182867	157988	41235	151713	174830	154793
PB	4932	8423	5816	7570	4678	29838	30478	26331	6873	25285	29138	25799

Tableau 27 : Produit brute de la laitue

Laitue												
Trts	CoT0	CoT1	CoT2	CoT3	BsT0	BsT1	BsT2	BsT3	BfT0	BfT1	BfT2	BfT3
Rdts/t /400m ²	0,0144 29	0,01988 19	0,018269 65	0,01707 87	0,01451 57	0,06879 96	0,05703 52	0,045899 75	0,01590 44	0,06073 34	0,05660 53	0,059559 92
Rdts/g/400 m ²	14429	19882	18270	17079	14516	68800	57035	45900	15904	60733	56605	59560
PB	7214	9941	9135	8539	7258	34400	28518	22950	7952	30367	28303	29780

Tableau 28 : Quantification du nombre d'heures de travail par traitement

Traitements	CoT0	CoT1	CoT2	CoT3	BsT0	BsT1	BsT2	BsT3	BfT0	BfT1	BfT2	BfT3
Pépinière	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
confection de planche	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
Préparations des amendements	0	4	4	4	0	4	4	4	0	4	4	4

Application de biopesticide	0	0	9	18	0	0	9	18	0	0	9	18
Application d'amendement	0	6	6	6	0	6	6	6	0	6	6	6
Entretien de la parcelle	24	36	36	36	24	36	36	36	24	36	36	36
Arrosage des plants	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120
Total/H	184	206	215	224	184	206	215	224	184	206	215	224
Total/journée de 8h	23	25,8	26,9	28	23	25,8	26,9	28	23	26	26,9	28

D-Formulations des bokashis

Bokashi Bs				
Son de riz	A	Quantité voulue	50	kg
Balles de riz	B	10%(A)	5	kg
Eau	C	30% (A+B)	16,5	L
EM	D	3% E	0,495	L
Mélasse (miel)	E	3% E	0,495	
Feuille de Moringa	F	Variable (au moins 10% de A)	5	Kg
Total			77,49	

Bokashi (Bf)				
Litière/fumier	A	Quantité voulue	40	Kg
Son de riz	B	50% (A)	20	Kg
Balles de riz	C	50% (A)	20	Kg
Eau	D	variable (test de poing)	7,5	L
EM activés	E	1% D	0,075	dm3
Mélasse (miel)	F	1% D	0,075	dm3
Total			87,65	Kg