
Essai de substitution des engrais minéraux de synthèse par des fumiers de volaille frais et composté dans la fertilisation des sols maraîchers dans la zone péri-urbaine de Ouanaminthe (Nord-Est, Haïti)

Auteur : Pierre, Nixon

Promoteur(s) : 10924

Faculté : Gembloux Agro-Bio Tech (GxABT)

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

Année académique : 2021-2022

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/16186>

Avertissement à l'attention des usagers :

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

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

**ESSAI DE SUBSTITUTION DES ENGRAIS MINÉRAUX DE
SYNTHÈSE PAR DES FUMIERS DE VOLAILLE FRAIS ET
COMPOSTÉ DANS LA FERTILISATION DES SOLS
MARAÎCHERS DANS LA ZONE PÉRI-URBAINE DE
OUANAMINTHE (NORD-EST, HAÏTI)**

NIXON PIERRE

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

ANNÉE ACADÉMIQUE 2021-2022

PROMOTEUR: STÉPHANE COGNET

Copyright : « Toute reproduction du présent document, par quelque procédé que ce soit, ne peut être réalisée qu'avec 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 ».

**ESSAI DE SUBSTITUTION DES ENGRAIS MINÉRAUX DE
SYNTHÈSE PAR DES FUMIERS DE VOLAILLE FRAIS ET
COMPOSTÉ DANS LA FERTILISATION DES SOLS
MARAÎCHERS DANS LA ZONE PÉRI-URBAINE DE
OUANAMINTHE (NORD-EST, HAÏTI)**

NIXON PIERRE

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

ANNÉE ACADÉMIQUE 2021-2022

PROMOTEUR: STÉPHANE COGNET

REMERCIEMENTS

Cette partie indique que la formation touche bientôt à sa fin. C'est en effet l'occasion idéale d'exprimer toute ma gratitude à l'endroit de tous ceux qui l'ont rendue possible. En tout premier lieu, je tiens à remercier mon Dieu de m'avoir spécialement soutenu durant tout ce parcours académique.

Mes remerciements s'adressent à l'endroit de l'Académie de Recherche et d'Enseignement Supérieur (ARES) pour avoir rendu possible cette formation en la finançant.

J'adresse mes plus sincères et chaleureux mots de remerciement à monsieur Stéphane COGNET de m'avoir donné tout l'encadrement scientifique nécessaire à la réalisation de ce travail.

Mes remerciements s'adressent également à l'endroit de mes professeurs de l'Université de Liège - Gembloux Agro-Bio Tech, particulièrement monsieur Haïssam JIJAKLI, le responsable du master, et à ceux de la Haute Ecole Charlemagne pour leur contribution incommensurable à ma formation.

Je remercie tous mes collègues du master PPRN 2021-2022 pour leur contribution à cette formation, particulièrement mon ami du Burkina Faso Hien Kpierenouor SOMÉ, mon amie du Cameroun Solange SIMO WANDJI, et mes compatriotes haïtiens Roselande JESUKA, Jean Luc ST-PIERRE, Pierre Mackenson ILMO, Claudel SAINJUSTE, Kenson HYPOLLITE, Madsen PREVERT, Ametel BERNARD et Jean-Alfred CHERENFANT.

J'exprime toute ma gratitude à l'endroit d'un collègue de la FSAHA-CHC-UEH-L, plus précisément monsieur Waselin SALOMON, de m'avoir donné une orientation particulière lors de la candidature à la bourse de l'ARES, mais aussi pour avoir réalisé la carte de localisation de ma zone d'étude.

Mes remerciements vont également à l'endroit de mes collègues du Groupe de Recherche et d'Appui à la Vulgarisation Agricole (GRAVA) pour avoir contribué à la réalisation de certaines activités de terrain, plus particulièrement Jean Yves Frantz SENAT, Angeler Bladimir Rousseau VALCIN et Charles-Pierre MAXIME.

Un remerciement spécial est adressé à mon épouse Wisline TELFORT pour avoir rendu possible cette étude à sa manière, et à ma cousine Rose Carmel JEAN VICTOR pour sa contribution à la relecture du document. Enfin, mes remerciements sont adressés à tous ceux et à toutes celles qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce Travail.

RÉSUMÉ

En Haïti, l'amélioration des performances du secteur agricole est limitée par de nombreux facteurs dont la diminution progressive de la fertilité des sols. Le prix des fertilisants chimiques est en hausse sur le marché alors que les déchets organiques, potentiellement valorisables, ne sont pratiquement pas valorisés.

En vue de contribuer à l'amélioration durable de la fertilité des sols en Haïti, plus particulièrement les sols maraîchers, par la valorisation des déchets organiques et la réduction de l'utilisation des engrais chimiques dans l'agriculture, il a été réalisé dans la zone périurbaine de Ouanaminthe (Nord-Est, Haïti) une étude dont les objectifs spécifiques ont été de tester l'efficacité du fumier de volaille frais (T2) et du fumier de volaille composté (T3) sur la croissance et le rendement de l'amarante (*Amaranthus cruentus* L.), comparativement au fertilisant chimique de formulation 15-15-15 (T4) et à des parcelles non fertilisées (T1).

Cette étude a été réalisée en plein champ entre le milieu du mois d'Avril et le début du mois de Juin 2022. Le dispositif expérimental en Carré Latin constitué de quatre (4) traitements, quatre (4) lignes et de quatre (4) colonnes a été utilisé. Des échantillons de sol et de fumiers de volaille (frais et composté) ont été prélevés et analysés. Les doses appliquées ont été calculées en tenant compte des besoins d'exportation de l'amarante en Azote (125 kg/ha) pour des rendements de l'ordre de 20 t/ha. La cendre de bois a été utilisée pour équilibrer les apports des fumiers de volaille (frais et composté) en phosphate et en potasse. Les données ont été analysées sur le logiciel R suivant l'ANOVA à un facteur et le test de Tukey au seuil de 5% de probabilité.

Les principaux résultats obtenus ont montré que les fumiers de volaille (frais et composté) ont globalement entraîné une amélioration de la croissance et du rendement de l'amarante, comparativement aux parcelles non fertilisées sur lesquelles la croissance et le rendement ont été un peu faibles. Par ailleurs, le rendement obtenu avec le fumier de volaille frais ($2,42 \pm 0,07$ kg/m²) n'a pas été significativement différent du rendement obtenu avec le fertilisant chimique ($2,68 \pm 0,07$ kg/m²). La hauteur et le diamètre obtenus avec le fumier de volaille frais ($57,17 \pm 2,89$ cm et $12,33 \pm 0,48$ mm) n'ont pas été non plus différents de ceux obtenus avec le fertilisant chimique ($70,78 \pm 2,89$ cm et $14,66 \pm 0,48$ mm). Cependant, la hauteur et le rendement obtenus avec le fumier de volaille composté ($54,31 \pm 2,89$ cm et $2,08 \pm 0,07$ kg/m²) ont été significativement inférieurs à la hauteur et au rendement obtenus avec le fertilisant chimique ($70,78 \pm 2,89$ cm et $2,68 \pm 0,07$ kg/m²).

Mots-clés : Fertilité, sols maraîchers, Haïti, zone périurbaine, fumier de volaille, fertilisant chimique, cendre de bois, *Amaranthus cruentus*.

ABSTRACT

In Haiti, improving the performance of the agricultural sector is limited by many factors including the gradual decline in soil fertility. The price of chemical fertilizers is rising on the market while organic waste, potentially recoverable, is practically not recovered.

In order to contribute to the sustainable improvement of soil fertility in Haiti, more particularly market garden soils, through the recovery of organic waste and the reduction of the use of chemical fertilizers in agriculture, it was carried out in the peri-urban area of Ouanaminthe (North-East, Haiti) a study whose specific objectives were to test the effectiveness of fresh poultry manure (T2) and composted poultry manure (T3) on the growth and yield of amaranth (*Amaranthus cruentus* L.), compared to chemical fertilizer formulation 15-15-15 (T4) and unfertilized plots (T1).

This study was carried out in the open field between the middle of April and the beginning of June 2022. The experimental device in Latin Square consisting of four (4) treatments, four (4) lines and four (4) columns were used. Soil and poultry manure samples (fresh and composted) were collected and analyzed. The doses applied were calculated considering the export requirements of amaranth in nitrogen (125 kg/ha) for yields of the order of 20 t/ha. Wood ash was used to balance the contributions of poultry manure (fresh and composted) in phosphate and potash. Data were analyzed using R software using one-way ANOVA and Tukey's test at the 5% probability threshold.

The main results obtained showed that the poultry manures (fresh and composted) generally led to an improvement in the growth and yield of amaranth, compared to unfertilized plots on which growth and yield were somewhat weak. Moreover, the yield obtained with fresh poultry manure ($2,42 \pm 0,07$ kg/m²) was not significantly different from the yield obtained with the chemical fertilizer ($2,68 \pm 0,07$ kg/m²). The height and diameter obtained with fresh poultry manure ($57,17 \pm 2,89$ cm and $12,33 \pm 0,48$ mm) were also not different from those obtained with the chemical fertilizer ($70,78 \pm 2,89$ cm and $14,66 \pm 0,48$ mm). However, the height and yield obtained with composted poultry manure ($54,31 \pm 2,89$ cm and $2,08 \pm 0,07$ kg/m²) were significantly lower than the height and yield obtained with the chemical fertilizer ($70,78 \pm 2,89$ cm and $2,68 \pm 0,07$ kg/m²).

Key words : Fertility, market garden soils, Haiti, peri-urban area, poultry manure, chemical fertilizer, wood ash, *Amaranthus cruentus*.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	i
RÉSUMÉ.....	ii
ABSTRACT	iii
LISTE DES FIGURES	vii
LISTE DES TABLEAUX.....	viii
LISTE DES ANNEXES	ix
LISTE DES ABRÉVIATIONS, DES SIGLES ET DES SYMBOLES	xi
I.- INTRODUCTION	1
1.1.- Mise en contexte.....	1
1.2.- Objectifs de l'étude	3
II.- SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE	4
2.1.- Perte de fertilité des sols en Haïti	4
2.1.1.- Origine et caractéristiques de sols	4
2.1.2.- Exploitation des ressources et certaines conséquences	4
2.1.3.- Gestion de l'érosion hydrique et de la fertilité des sols en Haïti	5
2.2.- Amélioration de la fertilité des sols.....	6
2.2.1.- Le concept de fertilité et fertilisation des sols	6
2.2.2.- La fertilisation minérale.....	7
2.2.2.1.- Les lois de la fertilisation minérale	8
2.2.2.1.1.- La loi des restitutions	8
2.2.2.1.2.- Loi des avances	8
2.2.2.1.3.- La loi du minimum	9
2.2.2.1.4.- La loi des accroissements moins que proportionnels	9
2.2.3.- La valorisation agricole des déchets	10
2.2.3.1.- Problématique de gestion des déchets et potentiel de valorisation agricole ...	10
2.2.3.2.- Effet des matières organiques sur la fertilité des sols	11

2.2.3.3.- Principes de l'utilisation des fumiers et des composts.....	11
2.2.3.4.- Intérêt de l'utilisation des engrais organiques.....	12
2.3.- Potentiel de substitution des engrais chimiques dans l'agriculture	13
2.4.- Fertilisation des légumes	13
2.4.1.- Apports en azote des composts, des fumiers et autres.....	13
2.4.2.- La fertilisation de l'amarante.....	14
2.5.- Valorisation agricole des cendres de bois	15
III.- MATÉRIEL ET MÉTHODE	17
3.1.- Description de la zone d'étude	17
3.1.1.- Localisation du site expérimental	17
3.1.2.- Conditions climatiques	17
3.1.3.- Conditions édaphiques.....	18
3.2.- Matériel	18
3.2.1.- Matériel chimique et organique	18
3.2.2.- Matériel végétal	18
3.3.- Mise en place et conduite de l'essai	19
3.3.1.- Analyse des échantillons de sol et de fumiers de volaille frais et composté.....	19
3.3.2.- Choix du dispositif expérimental.....	20
3.3.3.- Préparation de sol	21
3.3.4.- Semis et entretien des plantules en pépinière	21
3.3.5.- Confection des plates-bandes et incorporation des amendements.....	21
3.3.6.- Le repiquage des plantules.....	23
3.4.- Collecte des données	23
3.5.- Récolte et Calcul de la Valeur Ajoutée Brute	25
3.6.- Traitement et analyse des données collectées	25
IV.- RÉSULTATS.....	27
4.1.- Effets des fumiers de volaille frais et composté sur la hauteur des plants	27

4.2.- Effets des fumiers de volaille frais et composté sur le diamètre au collet des tiges	28
4.3.-Effets des fumiers de volaille frais et composté sur la surface foliaire.....	29
4.4.-Effets des fumiers de volaille frais et composté sur le pourcentage de plantes récoltées, le nombre de feuilles développées et le rendement en produits comestibles	31
4.5.- Effets des fumiers de volaille frais et composté sur la production de biomasse	32
4.6.- Estimation de la Valeur Ajoutée Brute par hectare.....	33
VI.- DISCUSSION.....	35
6.1.- Effets globaux des fumiers de volaille frais et composté.....	35
6.2.- Effets sur la croissance de la tige	35
6.2.1.- Croissance en longueur.....	35
6.2.2.- Croissance en épaisseur	36
6.3.- Effets sur la croissance et le développement foliaires.....	36
6.4.- Effets sur le pourcentage des plantes récoltées	37
6.5.- Effets sur le rendement en produits comestibles et la biomasse totale	38
VI.- CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS.....	40
VIII.- RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	42
ANNEXES	A

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Illustration de la loi des accroissements moins que proportionnels	10
Figure 2 : Carte de localisation du site expérimental	17
Figure 3 : Variation de la pluviométrie et de la température moyennes à Ouanaminthe	18
Figure 4 : Croquis du dispositif expérimental utilisé dans le cadre de l'essai	20
Figure 5 : Illustration du semis et de la croissance des plantules en pépinière	21
Figure 6 : Variation de la valeur ajoutée brute en HTG par hectare	34

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Consommation en engrais chimiques du pays en tonnes métriques	6
Tableau 2. Seuils d'éléments-traces métalliques définis dans la norme NFU 44-051	16
Tableau 3 : Teneurs en NPK des échantillons de sol et de fumiers analysés	19
Tableau 4 : Variation de la hauteur moyenne des plants mesurée le 8 ^{ème} , 15 ^{ème} et le 22 ^{ème} jours après le repiquage.....	28
Tableau 5 : Variation du diamètre moyen de la tige mesuré le 8 ^{ème} , 15 ^{ème} et le 22 ^{ème} jours après le repiquage.....	29
Tableau 6 : Variation de la longueur et de la largeur moyennes des limbes des feuilles les plus développées mesurées le 15 ^{ème} et le 22 ^{ème} jours après le repiquage.	30
Tableau 7 : Variation du pourcentage de plantes récoltées, du nombre moyen de feuilles développées par plante, du rendement en kg/m ² et du rendement en kg/plante.....	32
Tableau 8 : Variation de la biomasse moyenne en kg/1.35 m ² et en kg/plante	33

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1. Matrice des données – Partie I	A
Annexe 2 . Matrice des données – Partie II	A
Annexe 3. Matrice des données – Partie III.....	B
Annexe 4. Tableau de l'Analyse de Variance (ANOVA) de la Biomasse totale	B
Annexe 5. Tableau de l'Analyse de Variance (ANOVA) du Rendement parcellaire	C
Annexe 6. Tableau de l'Analyse de Variance (ANOVA) de la Hauteur des plantes mesurée 8 jours après le repiquage.....	C
Annexe 7. Tableau de l'Analyse de Variance (ANOVA) du Diamètre des plantes mesuré 8 jours après le repiquage.....	C
Annexe 8. Tableau de l'Analyse de Variance (ANOVA) de la Hauteur des plantes mesurée 15 jours après le repiquage.....	C
Annexe 9. Tableau de l'Analyse de Variance (ANOVA) du Diamètre des plantes mesuré 15 jours après le repiquage.....	C
Annexe 10. Tableau de l'Analyse de Variance (ANOVA) de la Hauteur des plantes mesurée 22 jours après le repiquage.....	D
Annexe 11. Tableau de l'Analyse de Variance (ANOVA) du Diamètre des plantes mesuré 22 jours après le repiquage.....	D
Annexe 12. Tableau de l'Analyse de Variance (ANOVA) de la Longueur des feuilles mesurée 15 jours après le repiquage.....	D
Annexe 13. Tableau de l'Analyse de Variance (ANOVA) de la Largeur des feuilles mesurée 15 après le repiquage.....	D
Annexe 14. Tableau de l'Analyse de Variance (ANOVA) de la Longueur des feuilles mesurée 22 jours après le repiquage.....	D
Annexe 15. Tableau de l'Analyse de Variance (ANOVA) de la Largeur des feuilles mesurée 22 jours après le repiquage.....	E
Annexe 16. Tableau de l'Analyse de Variance (ANOVA) du Nombre de feuilles développées par plantes	E
Annexe 17. Tableau de l'Analyse de Variance (ANOVA) du Nombre de plantes récoltées	E
Annexe 18. Tableau de l'Analyse de Variance (ANOVA) de la Biomasse par plante	E
Annexe 19. Tableau de l'Analyse de Variance (ANOVA) du Rendement par plante	E
Annexe 20. Données brutes des calculs de la valeur ajoutée brute	F
Annexe 21. Planche de photos de préparation de sol	G

Annexe 22. Planche de photos du semis et de l'élevage des plantules en pépinière	G
Annexe 23. Planche de photos du repiquage des plantules en champ et de la reprise.....	G
Annexe 24. Planche de photos de la croissance des plants en champ	H
Annexe 25. Planche de photos de la croissance des plants en champ	H

LISTE DES ABRÉVIATIONS, DES SIGLES ET DES SYMBOLES

ADEME	: Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie ;
C	: Carbone ;
C/N	: Carbone sur Azote ;
CaO	: Oxyde de calcium ou chaux vive ;
CHC-UEH-L	: Campus Henry Christophe de l'Université d'État d'Haïti à Limonade ;
CI/ha	: Consommations Intermédiaires par hectare ;
CIRAD	: Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement ;
cm	: Centimètre ;
cm²	: Centimètre carré ;
DCL	: Dispositif Carré Latin ;
ETM	: Eléments -Traces Métalliques ;
F	: F calculé ;
FAMV	: Faculté d'Agronomie et de Médecine Vétérinaire ;
FERTIAL	: Société des Fertilisants d'Algérie ;
FSAHA	: Faculté des Sciences Agronomiques, Halieutiques et Agroalimentaires;
GRAVA	: Groupe de Recherche et d'Appui à la Vulgarisation Agricole ;
GRET	: Groupe de Recherche et d'Echanges Technologiques ;
HTG	: Gourde Haïtienne ;
IHSI	: Institut Haïtien de Statistique et d'Informatique ;
INRA	: Institut National de recherche Agronomique ;
JAR	: Jours après repiquage ;
K⁺	: Ion potassium ;
K₂O	: Oxyde de potassium ou Potasse ;
Kg	: Kilogramme ;
Kg/ha	: Kilogramme par hectare ;
L.	: Linné ;
lmax	: Largeur maximale ;

Lmax	: Longueur maximale ;
m²	: Mètre carré ;
MARNDR	: Ministère de l’Agriculture, des Ressources Naturelles et du Développement Rural ;
MDE	: Ministère de l’Environnement ;
Méq	: Milliéquivalent ;
mm	: Millimètre ;
N	: Azote;
NPK	: Azote, Phosphore et Potassium ;
°C	: degré Celsius ;
P₂O₅	: Pentoxyde de phosphore;
PB/ha	: Produit Brute par hectare ;
pH	: Potentiel d’hydrogène ;
PNUD	: Programme des Nations Unies pour le Développement ;
PPRN	: Production Intégrée et Préservation des Ressources Naturelles en milieu Urbain et Péri-Urbain ;
Pr	: Probabilité ;
PSF	: Programme de Subvention des Fertilisants ;
s.d.	: Sans date;
Smax	: Surface maximale ;
t/ha	:Tonne par hectare ;
t/kg	: Tonne par kilogramme ;
Tmax.	: Température maximale ;
Tmin.	: Température minimale;
Tmoy.	: Température moyenne ;
U.E.	: Unité expérimentale ;
UEH	: Université d’État d’Haïti ;
VAB/ha	: Valeur Ajoutée Brute par hectare.

I.- INTRODUCTION

1.1.- Mise en contexte

Le secteur agricole haïtien est caractérisé par un faible niveau de performance lié à un ensemble de contraintes dont la faible disponibilité et l'accès très limité aux intrants agricoles, notamment les fertilisants et les semences de qualité, et la dégradation accélérée des ressources naturelles (sols, eau, forêts) entraînant une diminution progressive de la capacité productive des terres (MARNDR, 2011).

En effet, plus de la moitié de la superficie totale des terres d'Haïti a une pente supérieure à 40% et les plaines n'occupent que 20% de la superficie totale. La superficie des terres exploitées dans l'agriculture haïtienne dépasse la superficie agricole exploitable (MARNDR, 2011; Bastien & Ludovic, 2012). Par conséquent, l'érosion et le ruissellement sont devenus des phénomènes très complexes pour lesquels les évaluations scientifiques sont assez rares (Bellande, 2009). L'ampleur de tels phénomènes est liée à de nombreux facteurs dont le type de culture mise en place, le pourcentage de pente des terrains exploités, les techniques de travail du sol, l'intensité des pluies et la nature des sols (Bellande, 2009 ; MDE, 2015).

Sur l'ensemble du territoire haïtien, environ 37 millions de tonnes métriques de terres sont perdues chaque année. Ceci représente environ 15 tonnes métriques de terres perdues par hectare et par an (Bellande, 2009 ; MDE, 2015). Selon Bargout & Raizada (2013) cité par Benjamin (2019), les pertes de terres sont accompagnées des éventuelles pertes de fertilité des sols, une expression majeure des dégâts causés par l'érosion.

Dans la gestion de la fertilité des sols en Haïti, des apports d'engrais chimiques et d'amendements organiques sont faits, mais ils ne permettent pas de reconstituer la fertilité des sols qui est d'ailleurs en déclin. Par rapport à des pays voisins dont la République dominicaine, les quantités d'engrais chimiques consommées au niveau du pays sont révélées assez faibles (Bargout & Raizada, 2013 cité par Benjamin, 2019). La fertilisation chimique est généralement utilisée au niveau de certaines zones de production dont la vallée de l'Artibonite. Cependant, les applications sont souvent faites suivant des doses qui entraînent un dépassement des besoins d'exportations des cultures en azote (Duvivier *et al.*, 2006).

Il est à signaler que dans le pays, le prix des fertilisants chimiques de synthèse était en baisse sur le marché du fait d'une diminution du prix du pétrole sur le marché international et de l'existence d'un Programme de Subvention des Fertilisants (PSF) au sein du Ministère de l'Agriculture, des Ressources Naturelles et du Développement Rural (MARNDR). Parallèlement à cela, les gisements des déchets urbains ne sont pas exploités (MARNDR, 2011),

alors qu'une valorisation des déchets dans l'agriculture haïtienne aurait pu être envisagée comme une alternative potentiellement capable de contribuer non seulement à une réduction substantielle du budget de financement dudit programme, mais également à une amélioration durable de la fertilité des sols.

Aujourd'hui, l'arrêt du Programme de Subvention des Fertilisants (PSF) en Haïti souligne la nécessité urgente d'une reconsidération de nombreux avantages que peut offrir la valorisation agricole des déchets organiques.

En effet, les déchets disposent d'une fraction biodégradable dont la nature et l'inadéquation de certaines pratiques de traitement auxquelles ils sont généralement soumis génèrent des niveaux de risques pour l'environnement et la santé publique (Lacour, 2012). En Haïti, comme étant un pays tropical, la fraction organique des déchets peut se décomposer rapidement (Tchobanoglous et *al.*, 1993). Par conséquent, elle peut être utilisée à travers des techniques de valorisation de déchets dont le compostage (Bayard & Gourdon, 2009). Les déchets sont en effet des ressources à grandes potentialités en termes de valorisation (Lacour, 2012).

Il a été avancé que la substitution des engrais chimiques aux fertilisants organiques (fumier de ferme, composts, engrais verts) n'a aucune action défavorable sur la qualité nutritionnelle des denrées alimentaires. De nombreuses recherches effectuées, notamment sur la qualité, indiquent plutôt une amélioration (Commission des Communautés Européenne, 1974). Par conséquent, une utilisation des déchets dans la production des denrées alimentaires pourrait permettre non seulement de réduire l'incinération des ordures ménagères dans les villes en Haïti, mais aussi de restaurer la fertilité des sols en agriculture.

Il a été également démontré que des déchets organiques compostés et des fumiers de volaille ont de grandes potentialités fertilisantes (Lewani, 2017). Des méthodes assez rapides de compostage des fumiers de volaille ont permis de conserver 86% de la teneur en éléments nutritifs majeurs (NPK) (Hounhin, 2017). Par conséquent, la valorisation des déchets organiques dans l'agriculture urbaine et périurbaine en Haïti est perçue comme une véritable solution pratique à laquelle doivent désormais penser les acteurs concernés. Ainsi serait-elle une alternative de contribution du même coup à l'amélioration de la fertilité des sols et à la réduction de l'utilisation des engrais chimiques dans l'agriculture haïtienne.

Tenant compte de l'existence d'une mauvaise gestion des déchets organiques, de la perte progressive de la fertilité des sols et de l'existence de nombreuses fermes évoluant dans la production animale et végétale, la restitution au sol des éléments nutritifs contenus dans les

déchets organiques ne serait-elle pas une méthode efficace à adopter en vue de remédier à la problématique de perte de fertilité des sols en Haïti ?

En vue de pouvoir répondre à cette question, une étude a été réalisée sur la substitution des engrais chimiques de synthèse par des fumiers de volaille frais et composté dans la fertilisation des sols maraîchers dans le milieu péri-urbain de Ouanaminthe.

1.2.- Objectifs de l'étude

Cette étude a eu pour objectif de contribuer à l'amélioration durable de la fertilité des sols maraîchers par la valorisation des déchets organiques et la réduction de l'utilisation des engrais chimiques de synthèse.

De manière spécifique, elle visait à évaluer l'efficacité du fumier de volaille frais et du fumier de volaille composté sur la croissance et le rendement de l'amarante, comparativement au fertilisant chimique de synthèse de formulation 15-15-15 et à des parcelles non fertilisées.

II.- SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

2.1.- Perte de fertilité des sols en Haïti

2.1.1.- Origine et caractéristiques de sols

En Haïti, les sols proviennent principalement des roches mères de types volcaniques et sédimentaires (Bellande, 2009). Cependant, des conditions climatiques et géographiques du pays engendrent une variabilité énorme au niveau des sols avec une prédominance de sols calcaires issus des roches mères de types sédimentaires (MDE, 2015). Les sols issus des roches sédimentaires représentent plus de 80% des sols du pays (Woodring et *al.*, 1924 cité par MDE, 2015; Bellande, 2009).

Les sols d'Haïti peuvent être classés en fonction du degré d'évolution dépendant principalement de la pente, du type de matériau parental et du climat. Par rapport à l'érosion, le niveau de sensibilité des sols du pays varie d'un type à l'autre. La proportion de sols à vocations agricoles importantes représente 11,3%. Une très grande partie de sols sont à faibles potentialités agricoles et qu'un potentiel d'érosion élevé caractérise plus de 50% des sols des versants (MDE, 2015).

Les caractéristiques physico-chimiques des sols du pays limitent l'expression de leur potentiel productif et de leur fertilité. Le climat, de type tropical, est très contrasté et le relief dominé par des montagnes. Le système pédologique en place est très diversifié. Une bonne gestion dudit système nécessite des interventions pouvant contribuer durablement à l'amélioration de la fertilité et de la productivité (Jeune, 2020).

2.1.2.- Exploitation des ressources et certaines conséquences

Historiquement, la perte de fertilité des sols en Haïti est un processus qui a débuté depuis la période coloniale pour s'accroître avec l'intensification de l'exploitation anarchique du bois et son utilisation comme source d'énergie après l'indépendance du pays en 1804. La politique agricole en place dans la période de 1915-1934, marquant l'occupation du pays par les américains, était favorable à des entreprises agricoles évoluant dans la monoculture et l'agriculture extensive. Cela a entraîné l'expropriation de beaucoup de terres fertiles de la paysannerie situées dans les plaines et la colonisation des piedmonts et des montagnes par les paysans. Entre 1934 et 1986, des pratiques culturales dans lesquelles des exploitants ont voulu à tout prix tirer le maximum des parcelles n'ont pas laissé aux écosystèmes le temps nécessaire pour la régénération. À partir de 1986, des cas de feux de forêts ont multiplié du fait que des

agents forestiers étaient contraints de s'en aller. Par conséquent, des cultures saisonnières sont pratiquées sur les terres dégagées par les feux (MDE, 2015).

Dans le milieu rural, beaucoup de sols présentant de fortes pentes sont déjà disparus. L'intensification des pluies a entraîné un accroissement des volumes d'eau ruisselante qui ont fini par emporter des couches de sols et les déposer quelque part en aval. Le ruissèlement provoque la formation des entailles qui, en fonction de la profondeur, sont connues sous le nom d'érosion en griffes, érosion en rigoles et érosion en ravines (Régis & Roy, 1999). Annuellement, la superficie affectée par l'érosion est de l'ordre de 12 000 ha (MARNDR, 2011). Au cours des cinq dernières décennies, une couche de terres fertiles de trois (3) centimètres d'épaisseur est perdue au niveau du pays. Les pertes annuelles sont estimées à 37 millions de tonnes métriques pour l'ensemble du pays, soit une moyenne annuelle d'environ 15 TM/ha (Bellande, 2009; MDE, 2015). Le phénomène contribue à une dégradation assez rapide des sols, et les pratiques culturales favorables à l'érosion, la faiblesse de la productivité agricole, le pourcentage de pentes des terres exploitées dans l'agriculture et la pression démographique figurent parmi les principaux facteurs responsables (MARNDR, 2011).

En effet, la dégradation des terres est perçue comme un processus déclenché sous l'effet de plusieurs facteurs dont les activités humaines et les variations climatiques. Elle est engendrée par un mode de gestion inadéquat des sols et des ressources en eau ; mais aussi par la mauvaise gestion des ressources végétales, le surpâturage et la coupe abusive des arbres. La mauvaise utilisation des engrais chimiques ajoutée à des pratiques agricoles inadaptées entraînant l'érosion des sols, leur perte de fertilité et leur salinisation contribuent énormément à l'accentuation du phénomène de dégradation des sols. À travers ce phénomène, les caractéristiques physico-chimiques et biologiques des sols sont affectées. De nombreuses conséquences sont enregistrées dont la diminution de la productivité, l'augmentation de la pression sur les terres, la réduction de la biodiversité et la destruction des infrastructures agricoles. Toutefois, la dégradation causée par l'érosion reste et demeure le type le plus répandu au pays (MDE, 2015).

2.1.3.- Gestion de l'érosion hydrique et de la fertilité des sols en Haïti

Pour faire face au phénomène d'érosion hydrique des sols, les techniques généralement utilisées visent à limiter l'impact des gouttes de pluie en favorisant la mise en place d'une couverture végétale. Des apports de matière organique sont aussi faits au sol sous des formes diverses, dont le fumier, le compost et les résidus de récolte en vue d'une amélioration de la structure du sol. Les techniques utilisées visent également à apporter une certaine amélioration au niveau de

l'infiltration des eaux de pluie dans le sol par la mise en place des structures en courbes de niveau constituant des barrières physiques au passage de l'eau. Les périodes de sols nus sont également limitées (Régis & Roy, 1999).

L'usage des engrais chimiques est généralement fait en vue d'améliorer le rendement des cultures. Cependant, le secteur agricole est peu consommateur de fertilisants chimiques (Damais & Bellande, 2004). Leur accès est très limité et leur disponibilité assez faible. Cela constitue même l'une des contraintes à l'amélioration de la productivité agricole (MARNDR, 2011). En effet, ces derniers ne permettent pas de faire normalement le renouvellement de la fertilité des sols. Les quantités utilisées, notamment les engrais chimiques azotés, sont assez faibles, comparativement aux quantités utilisées aux Etats-Unis et à Saint-Domingue (Bargout & Raizada, 2013). Toutefois, la consommation d'engrais chimiques du pays a connu une évolution substantielle entre les années 2004 et 2011 (MARNDR-PSF, 2014) (Tableau 1). Des nuisances néfastes sont aussi engendrées à l'environnement et à la santé publique (Guerrier, 2017; Knowles et al., 1999 cité par Douze, 2021). Car, les fertilisants chimiques ont fait l'objet des utilisations non-contrôlées au niveau de certaines régions du pays (Douze, 2021). Les déchets organiques sont très peu valorisés (MARNDR, 2011). Pourtant, ils représentent des ressources potentiellement valorisables dans l'agriculture haïtienne (Lacour, 2012). La jachère est perçue comme le principal mode de régénération de la fertilité des sols, mais la pression démographique exerce de grande influence sur sa durée (MDE, 2015).

Tableau 1: Consommation en engrais chimiques du pays en tonnes métriques

Périodes	Consommations en TM
2004-2008	15 000
2008-2009	32 000
2011	50 000

Sources: MARNDR-PSF, 2014

2.2.- Amélioration de la fertilité des sols

2.2.1.- Le concept de fertilité et fertilisation des sols

La fertilité d'un sol peut être définie par l'aptitude du sol en question à permettre aux plantes de produire. Lorsque les techniques agricoles appliquées sont adaptées au sol, la fertilité peut être évaluée à travers les quantités de récoltes qu'il permet d'obtenir. Quant à la fertilisation d'un sol, elle concerne des actions visant à apporter au sol des éléments de nature minérale et/ou

organique ayant une certaine valeur fertilisante. Elle concerne également des actions favorisant le bon déroulement et l'accomplissement actif et régulier des cycles biologiques, mais aussi celles ayant des impacts positifs sur le rendement et la résistance des cultures, sur la qualité des récoltes tout en augmentant au fur et à mesure la capacité de production du sol en question. À travers la fertilisation des sols, une amélioration des propriétés physico-chimiques et biologiques est visée. Les propriétés physico-chimiques peuvent être améliorées à travers le travail du sol, notamment en période favorable, des amendements pouvant engendrer la neutralisation progressive de l'acidité du sol, des amendements humifères pouvant améliorer le pouvoir absorbant du sol et des apports de matières organiques et/ou d'engrais pouvant enrichir le complexe absorbant en éléments nutritifs. L'amélioration des propriétés physico-chimiques des sols exerce une assez grande influence sur les propriétés biologiques. En effet, elle entraîne la création d'un milieu qui, disposant d'une bonne aération, d'une certaine neutralité, d'une richesse suffisante en éléments minéraux échangeables et des niveaux d'humidité et de chaleur adéquats, est favorable aux activités biologiques. Les matières organiques agissent également sur la flore et la faune du sol en les alimentant et en leur servant de support (Soltner, 2017).

2.2.2.- La fertilisation minérale

L'application des fertilisants minéraux au sol entraîne des apports d'éléments nutritifs sous forme minérale. Les fertilisants minéraux peuvent avoir de nombreuses origines, dont les roches sédimentaires, les synthèses et les transformations industrielles. Ils sont classés en engrais minéraux solubles caractérisés par une possibilité de dissolution dans la solution du sol et engrais minéraux insolubles ou peu solubles caractérisés par une incapacité ou une faible capacité de dissolution dans la solution du sol. À la suite de la dissolution des engrais minéraux solubles dans la solution du sol, il est possible qu'une certaine quantité des ions libérés soit fixée sur le complexe argilo-humique du sol. Les engrais minéraux insolubles ou peu solubles sont progressivement soumis à l'acidité du sol et à la machinerie enzymatique des racines et des microorganismes du sol et finissent par libérer des ions assimilables par la plante au fur et à mesure que les besoins de font sentir. Lorsqu'ils apportent principalement un seul des trois éléments majeurs au sol, ils sont appelés engrais simples. Lorsqu'ils apportent principalement deux ou trois éléments majeurs, ils se font appeler engrais binaire ou engrais ternaire (Soltner, 2017).

2.2.2.1.- Les lois de la fertilisation minérale

2.2.2.1.1.- La loi des restitutions

Selon cette loi, pour que le sol ne s'épuise pas, il faut restituer à ce dernier non seulement l'ensemble des éléments nutritifs exportés par les cultures à travers les récoltes, mais également les éléments perdus par érosion et lessivage. Des éléments peuvent aussi être solubilisés dans le sol, en fonction de l'élément en question et des activités biologiques du sol (Deblay, 2006; Soltner, 2017; FERTIAL, 2017). Il est nécessaire d'en tenir compte et d'apporter aussi ceux qui sont fixés et bloqués (Soltner, 2017).

En effet, les sols perdent beaucoup plus d'éléments nutritifs que les cultures en exportent. Des mécanismes contribuent à l'augmentation des pertes alors que d'autres contribuent à la compensation des exportations et des pertes. Parmi les mécanismes entraînant une augmentation des pertes figurent le lessivage, l'érosion, le blocage et la consommation de luxe. Le lessivage entraîne l'augmentation des pertes de nitrates, de magnésium, de soufre, de calcium, de potassium et de phosphore. L'érosion entraîne des enlèvements des éléments nutritifs utiles à la plante. Le blocage, encore appelé rétrogradation ou insolubilisation, concerne les phosphates contenus dans les sols calcaires se transformant en phosphates calciques. Lorsque le sol est très acide, les phosphates peuvent aussi se combiner avec le fer et l'alumine, d'où leur insolubilisation. Ce type de perte est moindre dans les sols ayant une fourchette de pH allant de 5 à 7,5. La consommation de luxe se produit en cas d'apports généreux en azote et en potassium. Les cultures exportent en effet beaucoup plus d'éléments qu'elles en exportent habituellement (Soltner, 2017).

Les mécanismes pouvant contribuer à la compensation des exportations et pertes sont: la restitution du potassium en fin de culture et l'attaque des réserves minérales insolubles. En effet, en fin de végétation, les racines de certaines plantes excrètent une bonne partie du potassium que les plantes ont absorbé. Ceci constitue une sorte de restitution du potassium en fin de culture. De plus, grâce aux enzymes et flores microbiennes, les racines des plantes peuvent s'attaquer aux minéraux en provenance de la roche mère ou des anciens apports de minéraux insolubilisés. Par ce mécanisme, des éléments comme le phosphore, le potassium, le calcium, le magnésium, le soufre et aussi des oligo-éléments peuvent être libérés dans la solution du sol (Soltner, 2017).

2.2.2.1.2.- Loi des avances

C'est une loi selon laquelle les éléments nutritifs qu'une nouvelle culture aura besoin doivent être avancés à cette dernière en vue de pouvoir couvrir les besoins des plantes dès leur plus

jeune âge. Les avances concernent aussi bien les engrais minéraux que les engrais verts, les fumiers et les résidus de récolte. En vertu de cette loi, les amendements organiques et les engrais doivent être apportés aussitôt que possible et bien avant de mettre en place les cultures en tenant compte du temps nécessaire pour leur minéralisation (Soltner, 2017).

En ce qui concerne les engrais phosphatés insolubles nécessitant une solubilisation par les acides et l'activité biologique du sol, l'avance doit être faite depuis plusieurs mois avant la mise en place de la culture (Soltner, 2017).

Pour les engrais solubles, en raison de leur assimilabilité immédiate, une partie des éléments nécessaires aux cultures doit être apportée de manière localisée. Les résidus de la récolte précédente constituent une première avance de nature organique. Par conséquent, il n'est pas nécessaire d'avancer tout ce dont la culture a besoin en termes d'exportation (Soltner, 2017).

2.2.2.1.3.- La loi du minimum

Cette loi est encore appelée loi des facteurs limitants ou loi de solidarité de tous les facteurs de production ou encore loi de Liebig. Elle est considérée comme l'un des principes les plus importants de l'agronomie pratique (FERTIAL, 2017). Selon cette loi, l'élément qui se trouve en plus petite quantité dans le sol détermine le niveau de rendement à atteindre. Elle peut ainsi s'énoncer : « *L'insuffisance d'un élément assimilable dans le sol réduit l'efficacité des autres éléments, et par la suite diminue le rendement des récoltes* » (Soltner, 2017).

En effet, lorsque les autres éléments sont suffisamment disponibles, l'action la plus marquée sur le rendement est souvent exercée par l'azote. Par ailleurs, ce dernier constitue le plus souvent le premier facteur limitant. Dans les sols carencés, n'importe quel autre élément nutritif peut se comporter comme facteur limitant. Cependant, lorsqu'une diminution de rendement est observée, il ne faut pas incriminer uniquement les éléments nutritifs. Car, lorsque l'eau est en excès ou insuffisante, étant un facteur de croissance, elle peut aussi limiter le rendement, tout comme les maladies et les ravageurs des cultures, les conditions climatiques et les caractéristiques variétales. Les facteurs de croissance agissent les uns avec les autres et leur interaction peut être négative (Soltner, 2017).

2.2.2.1.4.- La loi des accroissements moins que proportionnels

Cette loi, encore connue sous le nom de loi de Mitscherlich ou encore loi des suppléments de rendement moins que proportionnels, est une loi selon laquelle des apports de doses croissantes d'un élément fertilisant au sol entraînent des augmentations de rendement de plus en plus

faibles, au fur et à mesure que les quantités apportées s'élèvent (CIRAD & GRET, 2009; Soltner, 2017; FERTIAL, 2017).

En vertu de cette loi, il existe une dose maximale qu'il ne faut pas dépasser sous peine d'une diminution du rendement. Cela constitue une loi connue sous le nom de « Loi du maximum » et qui s'énonce ainsi : « *L'excès d'un élément assimilable dans le sol réduit l'efficacité des autres éléments et par la suite diminuer le rendement des récoltes* » (Soltner, 2017). Cette loi permet aussi de mettre en évidence l'existence d'une dose optimale. Car, à un certain moment, le supplément de rendement obtenu ne permet plus de couvrir les dépenses occasionnées par la dose supplémentaire (CIRAD & GRET, 2009 ; Soltner, 2017 ; FERTIAL, 2017).

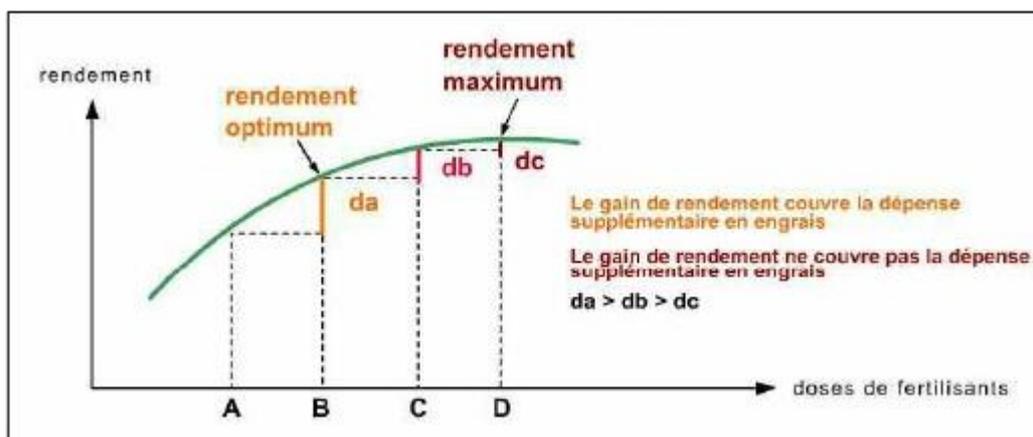


Figure 1 : Illustration de la loi des accroissements moins que proportionnels

Source : FERTIAL, 2017

2.2.3.- La valorisation agricole des déchets

2.2.3.1.- Problématique de gestion des déchets et potentiel de valorisation agricole

La gestion des déchets constitue un grand défi dans les villes des pays en développement. Les mairies sont confrontées à une très grande croissance des populations ainsi qu'à une évolution des modes de consommation impliquant une augmentation des volumes de résidus. Pourtant, les infrastructures et les services sociaux nécessaires à une vie urbaine saine n'évoluent pas au même rythme (Wari, 2012).

Ce type d'exercice au niveau des villes haïtiennes est particulièrement compliqué du fait de la diversité des déchets générés, de leur hétérogénéité, de la dynamique des populations et de l'organisation des espaces urbains (Lacour, 2012). La faible capacité en matière de gestion des déchets solides souligne le besoin urgent d'une gestion plus efficace et plus stricte. Cette problématique illustre l'impact de l'urbanisation incontrôlée dans le pays (MDE, 2018).

Dans la ville de Ouanaminthe, les procédés actuels de collecte, de stockage et d'élimination utilisés pour les déchets sont révélés inefficaces. Ainsi faudrait-il envisager d'autres alternatives pour la résolution dudit problème (MDE, 2004). Le secteur agricole est perçu comme un vrai atout (Guerrier, 2017). Car, Selon Tinôco et *al.* (2009) cité par Lewani, 2017, le tri et le compostage suivis d'une valorisation des matériaux recyclables constituent une bonne méthode de traitement des déchets ménagers dans la plupart des pays.

2.2.3.2.- Effet des matières organiques sur la fertilité des sols

Selon Soltner (2017), les matières organiques participant à la fertilisation des sols se présentent sous trois formes correspondant à trois stades de décomposition différentes. Il s'agit de la matière organique fraîche, des produits transitoires et de l'humus stable. Les matières organiques sont impliquées dans plusieurs actions sur la fertilité des sols comme :

- ✓ l'amélioration des propriétés physiques du sol, en augmentant la perméabilité et la stabilité du sol ;
- ✓ l'amélioration des propriétés physico-chimiques du sol, en favorisant l'absorption d'éléments minéraux par la plante;
- ✓ la stimulation des activités biologiques, en offrant aux activités biologiques des aliments et des supports.

2.2.3.3.- Principes de l'utilisation des fumiers et des composts

Lorsque les fumiers ne sont pas bien préparés et utilisés, ils sont dans beaucoup de cas de mauvais fertilisants. En effet, ils peuvent entraîner des problèmes de pollution au niveau de la nappe phréatique, au niveau de l'atmosphère et des cours d'eau par des bactéries et des nitrates. Ils peuvent même entraîner des problèmes parasitaires au sein des parcelles. Lorsqu'ils sont à l'état frais ou ne font pas l'objet d'une décomposition dans les profondeurs du sol, ils peuvent provoquer des maladies et sont peu actifs dans le sol. Lorsque les cultures sont installées peu de temps après l'enfouissement des fumiers dans le sol, les microorganismes du sol ne sont pas dans de bonnes conditions. La décomposition des fumiers étant consommatrice d'oxygène, les racines des plantes tout comme les microorganismes aérobies sont privés d'air. La germination des graines et la croissance racinaire sont inhibées et la synthèse de l'humus est devenue plus faible. Cependant, lorsqu'ils sont utilisés convenablement, les fumiers frais et les composts peuvent être de bons fertilisants (Soltner, 2017). Ils sont en effet des amendements participant non seulement à l'amélioration de la structure du sol, mais également à l'augmentation des activités biologiques et au maintien de l'humus dans le sol. Toutefois, selon Équiterre (2009), leur application doit être soumise à certains principes:

- ✓ leur incorporation dans le sol doit avoir lieu immédiatement après l'épandage en vue de conserver la fraction d'azote ammoniacale. Lorsqu'ils ne sont pas incorporés dans le sol, des pertes de cette fraction estimées à 30% sont observées pour les fumiers ;
- ✓ l'épandage des composts n'entraîne pas de pertes de la fraction d'azote ammoniacale. En effet, cette fraction a déjà été perdue lorsque les matériaux compostés possèdent un rapport C/N faible. Elle est également perdue par la transformation en azote organique, lorsque les matériaux compostés possèdent un rapport C/N élevé ;
- ✓ en vue d'atténuer les risques de pollution par ruissèlement, les fumiers et les composts appliqués en post-récolte doivent être incorporés dans le sol. Ils doivent être appliqués dans des milieux aérobiques, sinon leur décomposition sera mauvaise et l'azote ne sera pas fournis. Ils peuvent même devenir toxiques pour les plantes.

Dans le fumier, lorsque le rapport C/N est élevé, le pourcentage d'azote rapidement disponible est faible. Entre 45 et 70% de l'azote total, 65 et 80% du phosphore et tout le potassium seraient disponibles au cours de la première année. Mais en ce qui concerne les composts, bien que les pertes de la fraction d'azote ammoniacale soient pratiquement nulles, entre 0 et 50% de l'azote total serait disponible au cours de la première année. Cette disponibilité varie en fonction de plusieurs facteurs dont la qualité et la durée du compostage et la nature des matériaux qui ont été utilisés. Les disponibilités en phosphore et en potassium seraient les mêmes que celles du fumier (Équiterre, 2009).

2.2.3.4.- Intérêt de l'utilisation des engrais organiques

L'utilisation des engrais organiques consiste à incorporer dans le sol des matières organiques plus ou moins décomposées comme les fumiers. La minéralisation des matières organiques incorporées dans le sol libère progressivement des éléments nutritifs nécessaires au développement des plantes (FERTIAL, 2017).

Les engrais organiques ont de nombreux effets sur les propriétés du sol. Ils ont une grande implication dans l'humification. Pour les mêmes résultats, leur utilisation entraîne des apports inférieurs, comparativement aux engrais minéraux. Cela est dû au fait qu'ils font l'objet d'une certaine protection dans le sol contre des phénomènes de lessivage, de rétrogradation et de blocage. Leurs éléments sont sous des formes combinées mais facilement utilisables par les plantes. Ils provoquent une stimulation des activités biologiques, notamment les synthèses d'azote au niveau de l'atmosphère par les azotobactères. Les engrais organiques, contrairement aux engrais minéraux, ont une place écologique. Ils sont en effet des produits de recyclage (Soltner, 2017).

2.3.- Potentiel de substitution des engrais chimiques dans l'agriculture

Les déchets organiques représentent des sources importantes de matières organiques pouvant être utilisées en substitution des fertilisants minéraux dans les zones périurbaines. Ces déchets sont en effet caractérisés par la bonne disponibilité de leur azote organique et leur effet d'augmentation de la teneur en matière organique du sol à la suite des apports d'amendements organiques (Dhaouadi et *al.*, 2014).

La substitution de la fertilisation minérale, suivant diverses doses, par la fertilisation organique a permis d'obtenir de bons résultats en riziculture. Cela a non seulement permis de diminuer le coût de production, mais également d'obtenir de meilleur rendement et de trouver une solution à la pollution chimique liée à l'utilisation des intrants dans la production de riz au Bénin (Djogbédé et *al.*, 2012). Selon ces derniers auteurs, des engrais chimiques renferment des métaux lourds toxiques et peu mobiles dans le sol constituant une sorte d'impureté des engrais concernés. C'est notamment le cas des superphosphates contenant entre 7 et 32 ppm de Nickel, entre 66 et 243 ppm de chrome, entre 7 et 92 ppm de plomb et entre 50 et 1430 ppm de Zinc (Brohl et *al.*, 1997 cité par Djogbédé et *al.*, 2012). Ces éléments peu mobiles peuvent s'accumuler dans les zones racinaires, être absorbés et concentrés dans la plante (Djogbédé et *al.*, 2012). Ils pourraient non seulement représenter un niveau de risque pour la santé des consommateurs mais également entraîner des modifications dans la structure du sol pouvant affecter la percolation, la capacité de rétention des ions et la capacité d'échange cationique de ces derniers (Hilali, 1992, cité par Djogbédé et *al.*, 2012).

La réduction du recours aux engrais minéraux de synthèse par la valorisation un peu plus des ressources organiques sans affecter les rendements présente un grand potentiel. Pour certaines sous-actions, elle représente une solution gagnant-gagnant du fait qu'elle entraîne une réduction des coûts de production pour les agriculteurs, car au fur et à mesure que le coût de l'énergie augmente, les engrais minéraux deviennent de plus en plus chers. En substituant les engrais chimiques par des engrais organiques, une grande marge de progrès peut être créée sans que les rendements ne soient pas affectés (Recous et *al.*, s.d.).

2.4.- Fertilisation des légumes

2.4.1.- Apports en azote des composts, des fumiers et autres

Selon Equiterre (2009), dans la fertilisation des légumes, l'azote est considéré comme le facteur le plus important à prendre en compte. Les composts, les fumiers, de même que des engrais verts permettent d'apporter principalement de l'azote. Mais parallèlement aux apports faits via

les composts et les fumiers, pour ne citer que ceux-là, des apports conséquents en phosphore et en potassium sont aussi faits.

Selon ce dernier, sur la base de la fertilisation azotée, les légumes peuvent être classées dans trois (3) grands groupes : le groupe des légumes exigeantes nécessitant 120 à 140 kilogramme d'azote par hectare ; le groupe des légumes à exigence moyenne dont les besoins en azote varient de 90 à 110 kilogrammes à l'hectare ; et finalement, le groupe des légumes à peu d'exigence mobilisant 50 à 70 kilogrammes d'azote à l'hectare.

2.4.2.- La fertilisation de l'amarante

L'amarante (*Amaranthus sp*) est une plante de la famille des Amaranthacées pouvant facilement se développer sur des sols pauvres en éléments nutritifs. Cependant, l'amélioration du rendement peut se faire par la fertilisation de la culture. Pour des niveaux de rendement de l'ordre de 20 t/ha, la plante exporte 125 kg d'azote à l'hectare. Les exportations en phosphore et en potassium sont respectivement de 25 kg et de 250 kg à l'hectare. Dans la fertilisation de l'amarante, lorsque les apports en azote sont élevés, cela entraîne un retard du début de la floraison et permet du coup d'obtenir des rendements en feuilles plus importants (Nimpagariste, 2019). Cette culture a déjà fait l'objet de nombreux travaux de recherche. Ceux de Scutt (2020) ont pu montrer que, par rapport à des méthodes traditionnelles, des sols anthropogéniques (*terra preta* ou terres noires) ont la capacité d'améliorer la production de l'amarante. Selon cette étude, la *terra preta* serait perçue comme un élément de base pour l'amélioration des sols d'Haïti.

Les travaux de Gbessemehlan et *al.* (2022) ont pu montrer que la fiente de volaille, compostée et appliquée à la dose de 30 t/ha, était capable d'améliorer la fertilité des sols et le rendement de l'amarante.

Une étude menée par Ognalaga et *al.* (2015) sur la restauration de la fertilité des sols maraîchers a également montré que la croissance de l'amarante a été influencée positivement par des apports de matières organiques humifiées. À l'issue de cette étude, les fumures de porcs et de bovins ont été respectivement recommandées à la dose de 20t/ha.

Selon Gbaguidi (2008), ayant réalisé une étude sur la fertilisation de certaines cultures, dont l'amarante avec le compost et des engrais chimiques, le compost exerce un effet à plus long terme sur la fertilité du sol que les engrais chimiques et entraîne une plus grande amélioration du rendement ainsi que la rentabilité de l'amarante.

Gnitangni (2012), de son côté, a obtenu de meilleures croissance et production de feuilles de l'amarante avec un mélange d'ordures ménagères compostées et d'engrais chimiques. Selon ce

dernier, ses résultats pourraient s'expliquer par le fait que le compost, bien que relativement pauvre en azote, a une aptitude à favoriser une bonne aération du sol alors que l'aptitude des engrais chimiques serait de mettre des nutriments complémentaires directement assimilables à la disposition de la plante.

Selon Ainika et *al.* (2012), tous les paramètres de croissance et de rendement de l'amarante ont été significativement améliorés en réponse à l'épandage de, respectivement, 5 et 10t/ha de fumier de ferme du fait que le fumier de ferme, bien que pauvre en éléments nutritifs mais appliqué au taux élevé, a été aussi utile en termes d'apport d'éléments nutritifs qu'en amélioration des conditions physiques du sol.

2.5.- Valorisation agricole des cendres de bois

La valorisation agricole des cendres de bois est une pratique ancestrale qui a permis d'apporter non seulement des éléments majeurs et des oligoéléments, mais également de remonter le pH du sol (Hébert & Breton, 2008). L'application d'une dose de cendre de 0.5 kg/m² peut en effet permettre de relever le pH d'une unité et/ou d'apporter aux plantes de la potasse et du phosphore (ADEME, 2005). Toutefois, la valorisation agricole des cendres de bois a été abandonnée au profit de la chaux et des engrais chimiques potassiques (Sinal et *al.*, 2015). Mais de nos jours, l'intérêt de la valorisation des cendres se fait de plus en plus remarquer et la piste agricole est devenue très sérieuse (Hébert & Breton, 2008 ; Vassiliev et *al.*, 2013 a, b cité par Sinal et *al.*, 2015 ; Pierre, 2015).

Lorsque les cendres de bois sont utilisées suivant des doses agronomiques ou des besoins de chaulage exacts, elles permettent d'augmenter la productivité des cultures (ADEME, 2005). En effet, leur épandage présente l'avantage de faire des apports très intéressants en phosphore et en potassium au sol (Godbout et *al.*, 2012 ; ADEME, 2005 ; Maltas & Sinaj, 2014 ; Sinaj et *al.*, 2015). Mais, il est bien nécessaire de faire d'autres apports de nature minérale ou organique de manière à combler les déficits des cendres en d'autres éléments nutritifs que nécessitent les plantes. Leurs compositions sont aussi très variables et dépendent des types de bois utilisés. Elles sont dépourvues d'azote, de matière organique et de pathogène et peuvent contenir 170 à 330 kg/t de CaO, 20 à 60 kg/t de K₂O, 25 à 46 kg/t de MgO et 10 à 61 kg/t de P₂O₅. Cependant, elles peuvent également contenir des teneurs variables en métaux lourds, mais cela dépend de la fonction de l'arbre et du traitement qu'a subi le bois.

Leur pH des cendres de bois varie de 10 à 13 (ADEME, 2005). Elles peuvent être mélangées aux composts suivant des proportions ne présentant pas à priori de limite technique (ADEME,

2005 ; Pierre, 2015). Les limites sont surtout règlementaires et définies dans la norme NFU 44-051 concernant les amendements organiques (ADEME, 2005) (Tableau 2).

Tableau 2. *Seuils d'éléments-traces métalliques définis dans la norme NFU 44-051*

ETM	Seuils		Flux maximal	
	mg/kg de MS	mg/kg de MO	g/ha sur 10 ans	kg/ha/an
As	18	-	900	270
Cd	3	-	150	45
Cr	120	-	6 000	1 800
Hg	2	-	100	30
Ni	60	-	3 000	900
Pb	180	-	9 000	2 700
Se	12	-	600	180
Cu	300	600	10 000	3 000
Zn	600	1 200	30 000	6 000

Sources : Norme NF EN 13 650 cité par SATEGE, 2016

Lorsqu'il y a un dépassement des seuils, les cendres concernées ne sont pas épandables. Toutefois, un mélange constitué d'un (1) kilogramme de cendres pour 10 kilogrammes de compost permet à priori de ne pas les dépasser. Les proportions des mélanges dépendent avant tout des caractéristiques analytiques réelles des cendres (ADEME, 2005).

Les cendres de bois occasionnellement utilisées suivant des doses agronomiques ne présenteraient aucun risque environnemental à court et long terme ((Demeyer *et al.*, 2001 ; Hébert & Breton, 2008) cité par Pierre, 2015). Généralement, les doses épandues sont limitées par les besoins en amendement ou en potassium (Demeyer *et al.*, 2001 cité par Pierre, 2015).

Selon Sinal *et al.* (2015), les teneurs en Eléments-Traces Métalliques (ETM) des cendres de bois dépendent fortement du combustible utilisé dans la production. Les cendres obtenues par combustion de bois naturel présentent des teneurs en macroéléments particulièrement intéressantes et contiennent des ETM sous des formes peu ou non disponibles.

III.- MATÉRIEL ET MÉTHODE

3.1.- Description de la zone d'étude

3.1.1.- Localisation du site expérimental

L'étude a été réalisée dans le département du Nord-Est d'Haïti, plus précisément, dans le milieu péri-urbain de Ouanaminthe, au niveau de la Ferme agricole du Groupe de Recherche et d'Appui à la Vulgarisation Agricole (GRAVA) localisée dans la 1^{ère} section communale Haut-Maribahoux de Ouanaminthe. Le site a eu pour coordonnées géographiques 19°33'12.37'' de latitude Nord, 71°44'39.24'' de longitude Ouest, 1.03 km d'altitude, et 31 mètres d'élévation (Figure 2).

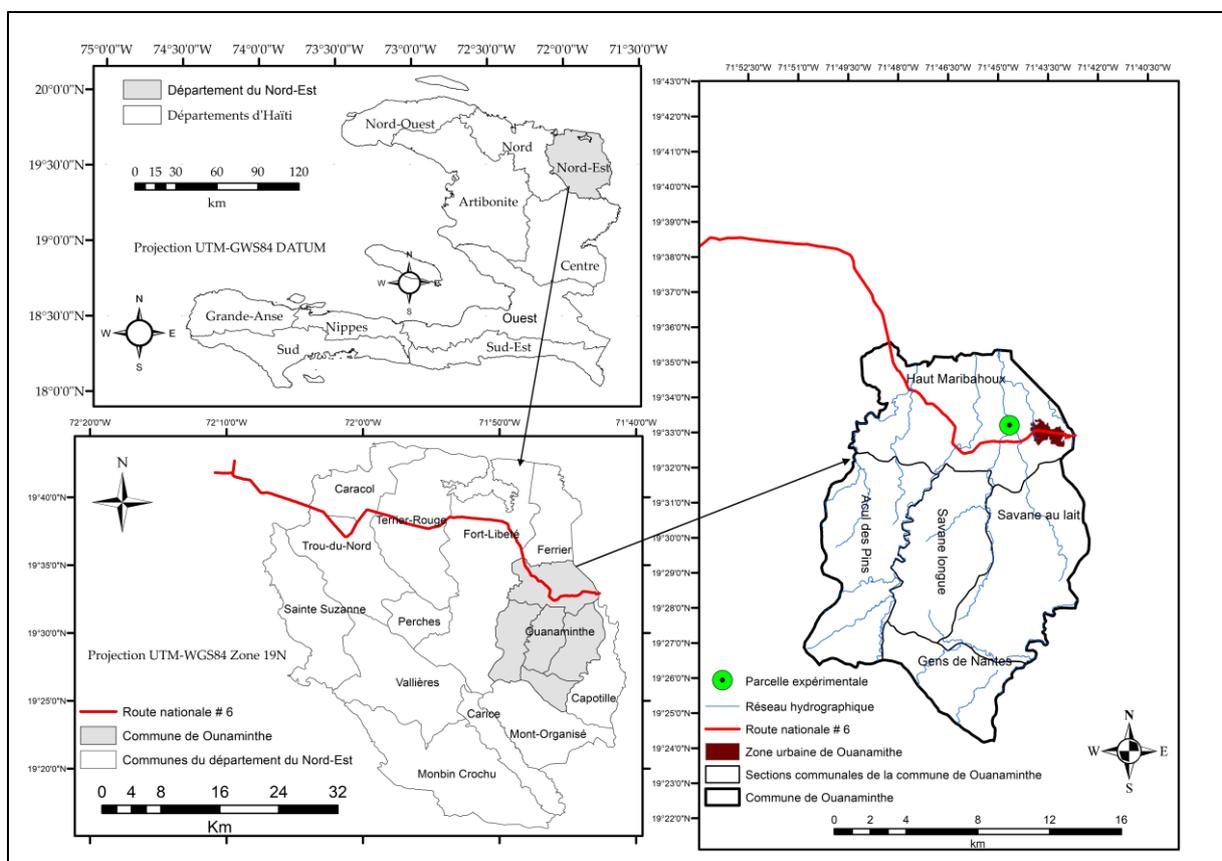


Figure 2 : Carte de localisation du site expérimental

3.1.2.- Conditions climatiques

La pluviométrie moyenne annuelle de la zone est de l'ordre de 1100 millimètres, et la température moyenne annuelle est de 26 °C (Charles, 2014). Les mois de décembre et février sont les plus secs de l'année, avec respectivement 28 et 26 mm de pluie. Les périodes les plus pluvieuses s'étendent du mois d'Avril au mois de Juin, et du mois d'Août au mois de Novembre. Les mois de Mars et de Novembre sont les plus pluvieux de l'année, avec respectivement une pluviométrie de 131 mm. Les mois de Juillet et Août, avec des températures moyennes de 28 °

C, sont les mois les plus chauds de l'année. Janvier est le mois le plus froid. Durant ce mois, la température moyenne est de 23,1 °C (Figure 3).

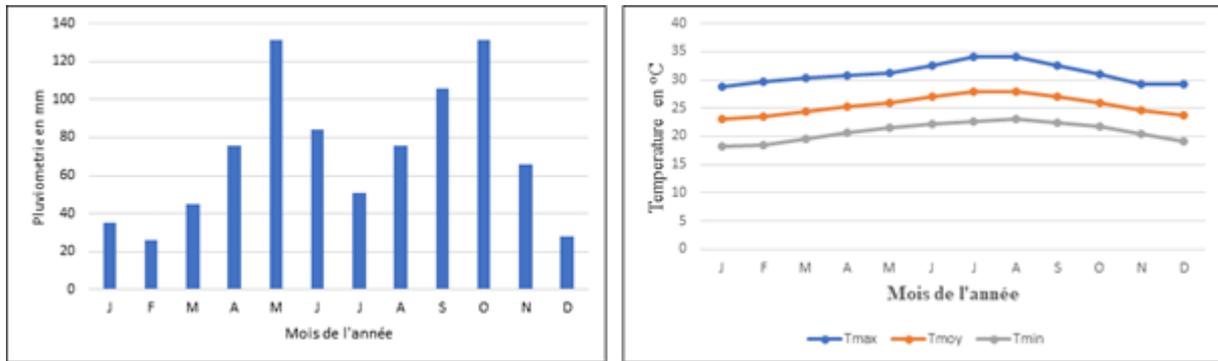


Figure 3 : Variation de la pluviométrie et de la température moyennes à Ouanaminthe

Sources: <https://en.climate-data.org/north-america/haiti/nord-est-department/ouanaminthe>

3.1.3.- Conditions édaphiques

Dans la zone de Ouanaminthe, les sols sont principalement de type alluvionnaire riche et profonde. Ils sont assez légers sur un sous-sol à texture sableux (Charles, 2014). Dans cette zone sont également rencontrés des sols sablo-limoneux, notamment sur les rives d'une rivière dénommée « rivière massacre » et dans des sols marécageux dans la zone rizicole proche d'une rivière dénommée « Rivière sable ». Des sables aurifères sont rencontrés dans les vallées des rivières, particulièrement la rivière Massacre (Elie, 2018).

3.2.- Matériel

3.2.1.- Matériel chimique et organique

Le matériel chimique est constitué de l'engrais complet de formulation 15-15-15 acheté sur le marché local. Le matériel organique est constitué de compost et de fumier de volaille frais produits par GRAVA Ferme Agricole. Le compost a été principalement à base de fientes de volaille (poulet de chair), de coques de riz encore appelées balle de riz (sous-produit dérivé du décorticage du riz) et de bagasse de canne-à-sucre (sous-produit issu du broyage de la canne-à-sucre). Le fumier de volaille frais était à base de fientes de volailles et de coque de riz. Les proportions des mélanges ne sont pas définies par le fournisseur. La cendre de bois, en provenance des *Blanchisseries & Dry Cleaning* de la ville de Ouanaminthe, a été utilisée pour équilibrer les apports des fumiers de volaille frais et composté en K_2O et P_2O_5 .

3.2.2.- Matériel végétal

Le matériel végétal est constitué de l'amarante (*Amaranthus cruentus* L.). C'est une plante annuelle de la famille des Amaranthacées cultivée en Haïti sur toute l'année (avec un pic de

production entre mars et mai) pour ses feuilles riches en fer, en calcium et en vitamine C. Le lot de semences utilisé n'a pas été épuré. Il a eu pour origine le maché communal de Carice. Selon MARNDR (2012), l'amarante cultivée en Haïti est un mélange de variétés locales de couleurs rouge et blanche dont la longueur du cycle est de 30 à 45 jours.

L'amarante préfère les sols limoneux-sableux, riches en matière organique, perméables, bien drainés et au pH oscillant entre 6 et 6,5 (Aglinglo et *al.*, 2018). Elle nécessite une fourchette de température allant de 15°C à 40°C. Le repiquage a lieu lorsque les plantules ont une hauteur de 5 à 7 cm. La distance de repiquage de 10 cm × 10 cm peut être utilisée lorsqu'une seule récolte est envisagée par l'arrachage complet des plants après 3 semaines. La distance de repiquage de 30 cm × 30 cm peut être adoptée lorsque plusieurs récoltes sont envisagées (Nimpagariste, 2019).

3.3.- Mise en place et conduite de l'essai

3.3.1.- Analyse des échantillons de sol et de fumiers de volaille frais et composté

Juste avant de commencer les travaux de préparation de sol, quatre (4) sous-échantillons de sol ont été prélevés au niveau du site expérimental, à une profondeur comprise entre 0 et 30 cm. Les sous-échantillons ont été ensuite mélangés et homogénéisés pour former un échantillon composite. Cinq cents (500) grammes de sols de l'échantillon composite ont été acheminés au laboratoire de la Faculté d'Agronomie et de Médecine Vétérinaire (FAMV) de l'Université d'État d'Haïti (UEH) en vue de faire des analyses (Tableau 3). Des échantillons de fumier de volaille frais et de fumier de volaille composté ont été prélevés dans les différents sacs de fumiers de volaille frais et composté réservés pour l'essai en vue de constituer des échantillons composites qui ont été analysés au laboratoire de la FAMV (Tableau 3).

Tableau 3 : Teneurs en NPK des échantillons de sol et de fumiers analysés

Types d'échantillon	pH	Azote totale en %	P ₂ O ₅ assimilable en ppm	K ⁺ assimilable en Méq / 100 grammes
Sol	7,56	0,16	35,00	0,12
Fumier de volaille frais	8,59	2,64	380,00	32,00
Fumier de volaille composté	7,13	0,44	58,00	6,40

N.B : Méthodes d'analyse :

- P₂O₅ : Méthode de Olsen ;
- K⁺ : Extraction à l'acétate ; Dosage par spectrométrie de flamme ;
- Azote totale : méthode de Kjeldahl.

3.3.2.- Choix du dispositif expérimental

Dans le cadre de cette étude, la portion de terrain utilisée contenait deux gradients de variation orientés dans deux sens différents et perpendiculaires. Il s'agissait de deux (2) pentes assez légères. En vue de contrôler ces gradients de variation, le Dispositif en Carré latin (DCL) a été adopté. Il est constitué de quatre (4) traitements, quatre (4) Lignes et de quatre (4) Colonnes pour un total de seize (16) unités expérimentales.

Chaque unité expérimentale a eu 1,35 m² de superficie, soient 0,90 mètre de largeur et 1,50 mètre de longueur. Les lignes sont espacées entre elles de 0,50 mètre, de même que les colonnes.

Le champ expérimental a eu 8,50 mètres de longueur et 6,10 mètres de largeur, soit la superficie totale de 51,85 m² pour une surface utile de 21,60 m².

Les traitements suivant ont été appliqués sur les unités expérimentales:

- ✓ **T1** : Aucun fertilisant ;
- ✓ **T2** : Fumier de volaille frais mélangé à la cendre de bois;
- ✓ **T3** : Fumier de volaille composté mélangé à la cendre de bois;
- ✓ **T4** : Engrais minérale de formulation 15-15-15.

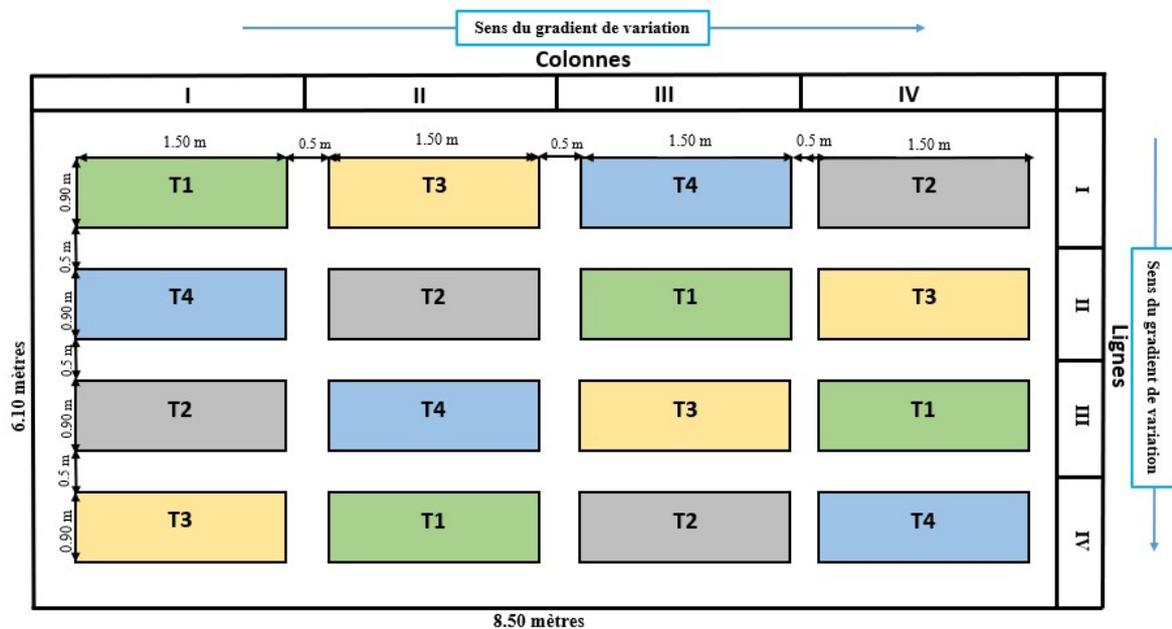


Figure 4 : Croquis du dispositif expérimental utilisé dans le cadre de l'essai

3.3.3.- Préparation de sol

Les travaux de préparation de sol ont consisté en un labourage à traction animale à une profondeur de 20-30 cm en vue d'éliminer les mauvaises herbes et d'ameublir le sol. Les mottes ont été ensuite écrasées à la houe et la parcelle bien nivelée à l'aide d'un râteau (*Annexe 21*).

3.3.4.- Semis et entretien des plantules en pépinière

Le semis en pépinière a été effectué au mois d'Avril sur une plate-bande de 0,90 m² (0,75 m x 1,20 m) à raison de cinq (5) grammes de semences par m², car selon Achigan et *al.*, (2014) cité par Houndehin (2017), le semis en pépinière de 3-10 grammes de semences par mètre carré permettrait de produire 1000 à 1500 plantules pour le repiquage. Des sillons en ligne espacés de 20 cm suivant une profondeur de 0,5 à 1 cm ont été confectionnés sur la plate-bande. La plate-bande a été ensuite arrosée et protégée pendant trois jours après le semis contre les rayons solaires avec une ombrière. Un arrosage a eu lieu 2 fois par jour pendant une semaine après le semis en pépinière, puis une fois par jour à partir de la deuxième semaine jusqu'au repiquage. La levée a eu lieu entre 3 et 5 jours après le semis (*Figure 5*).

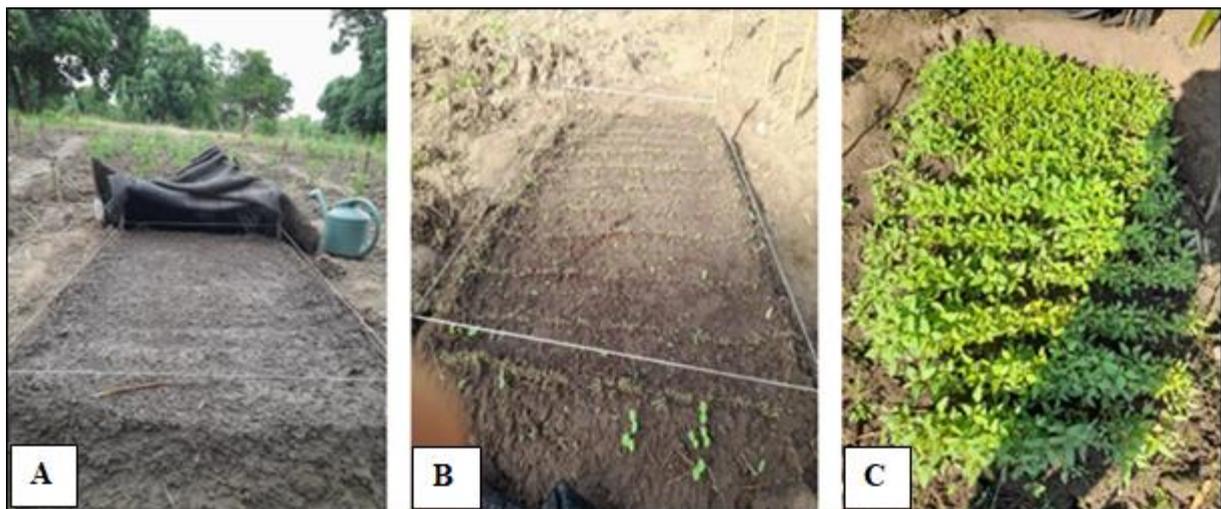


Figure 5 : Illustration du semis et de la croissance des plantules en pépinière

A : Semis en pépinière ; B : Levée ; C : Croissance des plantules.

3.3.5.- Confection des plates-bandes et incorporation des amendements

Un piquetage a eu lieu en vue de déterminer l'emplacement des plates-bandes ainsi que les espaces entre les lignes et les colonnes. Un ruban métrique, une houe, un rouleau de ficèle, une bêche, un râteau et des piquets ont été utilisés à cet effet. La formule de Pythagore a été utilisée pour ajuster les angles et trouver les alignements. Des plates-bandes de 1,35 m² (0,90 m x 1,50 m) ont été confectionnées pour le repiquage des plantules (*Annexe 21*).

Pour un niveau de rendement de 20 t/ha (récolte unique) ou 25 à 30 t/ha (récoltes échelonnées), les exportations de l'amarante à l'hectare sont de l'ordre de 125 kg d'azote, 25 kg de phosphore et 250 kg de potassium (Nimpagariste, 2019). Dans le cadre de cette étude, les apports de fertilisants chimiques, de fumier de volaille frais et de fumier de volaille composté ont été faits en une seule application 15 jours avant le repiquage. Ces derniers ont été incorporés au sol en fumure de fond et le sol a été ensuite arrosé.

Selon Équiterre (2009), dans la fertilisation des légumes, l'azote est le premier élément à considérer. En effet, les fertilisants organiques peuvent apporter non seulement la quantité d'azote nécessaire, mais également des quantités assez importantes de phosphore et de potasse. Tenant compte de ce fait, la fertilisation visait à satisfaire les besoins de la culture en azote. Les exportations en azote de la culture, estimées à 125 kg par hectare, ont permis de déterminer les différentes doses du fumier de volaille frais, du fumier de volaille composté et de l'engrais chimique de synthèse de formulation 15-15-15 utilisées.

Des doses de cendre de bois ont été calculées et ajoutées aux unités expérimentales en vue d'apporter des quantités supplémentaires de phosphore et de potassium qui n'ont pas été apportées par les fumiers de volaille frais et composté. Les valeurs moyennes de 20 à 60 kg/t de K_2O et 10 à 61 kg/t de P_2O_5 indiquées pour les cendres de bois par ADEME (2005) ont été utilisées comme référence pour faire les calculs.

Les fumiers de volaille frais et composté, la cendre de bois ainsi que l'engrais chimiques de synthèse ont été incorporées aux unités expérimentales 15 jours avant le repiquage.

Le fumier de volaille frais a été appliqué suivant la dose de 4,73 t/ha. Un total de 3,03 kg de fumier de volaille frais a été appliqué aux quatre (4) unités expérimentales, soit 0,76 kg de fumier de volaille frais par unité expérimentales de 1,35 m².

Le fumier de volaille composté a été appliqué à la dose de 28,41 t/ha. Un total de 18,18 kg de fumier de volaille composté a été appliqué aux quatre (4) unités expérimentales à raison de 4,55 kg par unité expérimentale de 1,35 m².

L'engrais chimique de formulation 15-15-15 a été appliqué à la dose de 833,33 kg/ha. Soit 0,133 kg par unité expérimentale ou 0,53 kg pour les quatre unité expérimentales.

La cendre de bois a été appliquée à la dose de 4,47 t/ha sur les parcelles qui ont reçu le fumier de volaille frais, soit 0,72 kg par unité expérimentale ou 2,86 kg pour les quatre (4) unités expérimentales tandis qu'elle a été appliquée à la dose de 4,12 t/ha sur les parcelles qui ont reçu le fumier de volaille composté, soit 0,66 kg par unité expérimentale ou 2,64 kg pour les quatre

(4) unités expérimentales. La cendre de bois n'a pas été appliquée aux parcelles qui ont reçu l'engrais chimiques de synthèse.

Après les calculs, les quantités finalement appliquées aux unités expérimentales concernées sont les suivantes:

- ✓ **T1** : Aucun fertilisant ;
- ✓ **T2** : Fumier de volaille frais (0,76 kg) et cendre de bois (0,72 kg);
- ✓ **T3** : Fumier de volaille composté (4,55 kg) et cendre de bois (0,66 kg);
- ✓ **T4** : Engrais minérale de formulation 15-15-15 (0,13 kg).

3.3.6.- Le repiquage des plantules

En fonction de la distance de repiquage (15 cm x 15 cm) et de la surface utile de la parcelle (21,60 m²), 720 plantules ont été repiquées à raison de 45 plantules par unité expérimentale, soit une densité de 33 plantules/m². Les plates-bandes ont été arrosées avant et après le repiquage des plantules. Ces opérations ont eu lieu dans l'après-midi, le 19^{ème} jour après le semis en pépinière. Les plantules ont été protégées par une ombrière durant les trois premiers jours après le repiquage.

3.4.- Collecte des données

Des données relatives à la croissance et au rendement de l'amarante ont été collectées sur l'ensemble des unités expérimentales. Les mesures de croissance ont été faites sur des échantillons de neuf (9) plants, et les mesures relatives au rendement sur les unités expérimentales entières. Les variables suivantes ont été mesurées : la hauteur moyenne des plants le 8^{ème}, 15^{ème} et 22^{ème} JAR ; le diamètre moyen au collet des plants le 8^{ème}, 15^{ème} et 22^{ème} JAR ; la longueur et la largeur moyennes des limbes foliaires au niveau des feuilles les plus développées le 15^{ème} et 22^{ème} JAR ; le nombre moyen de feuilles développées par plant à la récolte ; la biomasse moyenne et le rendement moyen en produits comestibles respectivement obtenus par unité expérimentale et par plant.

a. La hauteur moyenne des plants et le diamètre moyen au collet

La hauteur moyenne des plants (du collet à l'extrémité de l'apex) et le diamètre moyen au collet ont été respectivement mesurés à l'aide d'un ruban métrique et d'un pied à coulisse électronique sur un échantillon de neuf (9) plants de chaque unité expérimentale.

b. Le nombre moyen de feuilles développées par plant

Le nombre moyen de feuilles développées par plant a été déterminé à la récolte sur un échantillon de neuf (9) plants de chaque unité expérimentale en tenant compte de toutes les feuilles développées, hormis les stipules.

c. La longueur et la largeur moyennes des limbes foliaires au niveau des feuilles les plus développées

La longueur et la largeur moyennes des limbes foliaires ont été mesurées à l'aide d'un ruban métrique sur des échantillons de neuf plants. Les dimensions maximales des limbes foliaires au niveau des feuilles les plus développées ont été considérées.

d. La surface moyenne des feuilles les plus développées

La surface moyenne des feuilles les plus développées a été estimée en utilisant les longueur et largeur moyennes maximales des limbes foliaires mesurées sur les feuilles les plus développées des échantillons de neuf plants choisis au niveau des unités expérimentales. La formule suivante définie par Ruget et *al.* (1996) a été utilisée :

Smax = Lmax * lmax * 0,75, avec :

- **0,75** : coefficient correctif ;
- **Smax** : Surface maximale du limbe foliaire (la feuille la plus développée);
- **Lmax** : Longueur maximale du limbe foliaire (la partie la plus longue);
- **et lmax** : Largeur maximale du limbe foliaire (la partie la plus large).

e. La biomasse moyenne produite par unité expérimentale

La biomasse produite par unité expérimentale a été mesurée à la récolte au niveau de chaque unité expérimentale en tenant compte de toutes les parties des plants. Les plants ont été arrachés puis pesés à l'aide d'un pèse-bagage électronique pouvant peser jusqu'à 50 kg, avec une précision de 5 g pour les poids compris 0 et 10 kg, et de 10 g pour les poids allant de 10 à 50 kg. La biomasse moyenne a été obtenue par le biais des tests de comparaison multiples de la biomasse.

f. La biomasse moyenne par plant

La biomasse moyenne par plant a été déterminée en divisant la biomasse moyenne produite par unité expérimentale par le nombre de plants récoltés au niveau de l'unité expérimentale. Soit la formule suivante :

$$\text{Biomasse moyenne par plant} = \frac{\text{Biomasse totale produite par unité expérimentale}}{\text{Nombre de plants récoltés sur l'unité expérimentale}}$$

g. Le rendement en produits comestibles par m²

Le rendement en produits comestibles a été mesuré à l'état frais à la récolte au niveau de chaque unité expérimentale. Les tiges ont été coupées à 20 centimètres du collet. Le rendement a été calculé par la formule suivante :

$$\text{Rendement / m}^2 = \frac{\text{Poids des produits comestibles récoltés sur l'unité expérimentale}}{\text{Surface de l'unité expérimentale}}$$

h. Le rendement en produits comestibles par plant

Quant au rendement en produits comestibles par plant, il a été déterminé en divisant le rendement obtenu par unité expérimentale par le nombre de plants récoltés au niveau de l'unité expérimentale en question.

$$\text{Rendement par plant} = \frac{\text{Rendement en produits comestibles par unité expérimentale}}{\text{Nombre de plants récoltés sur l'unité expérimentale}}$$

3.5.- Récolte et Calcul de la Valeur Ajoutée Brute

Vingt-quatre (24) jours après le repiquage des plants a eu lieu une récolte unique. Les plants ont été arrachés et les tiges sectionnées à 20 cm du collet, après avoir déterminé la biomasse totale. Le repiquage des plants ayant eu lieu le 19^{ème} jour après le semis en pépinière, la longueur du cycle a été donc de quarante-trois (43) jours.

En Haïti, la commercialisation de l'amarante se fait par paquet. En vue d'estimer la Valeur Ajoutée Brute à l'hectare, le poids moyen du paquet ainsi que son prix moyen en gourdes (HTG) a été déterminé sur le marché communal de Ouanaminthe. Le Produit Brute (PB), les Consommations Intermédiaires (CI) et la Valeur Ajoutée Brute à l'hectare (VAB/ha) ont été calculés par les formules suivantes (*Annexes 20*):

- **PB/ha** = Quantité produite/ha x Prix unitaire ;
- **CI/ha** = Coût/ha des semences + Coût/ha du fertilisant en question + Frais d'analyse des échantillons de sol et de fumier de volaille frais et composté ;
- **VAB/ha** = PB/ha – CI/ha.

3.6.-Traitement et analyse des données collectées

Les données ont été enregistrées sur Microsoft Excel et soumises à des calculs statistiques (Moyenne et écart-type). Elles ont également fait l'objet d'analyses de variance au seuil de 5% de probabilité en utilisant le logiciel R (Version R-4.1.2) en vue de pouvoir mettre en évidence l'existence ou l'absence de différences significatives entre les traitements.

La considération de l'existence de différences significatives entre les traitements a été faite lorsque la probabilité pour que la valeur de F calculé soit dépassée ($\Pr (> F)$) est inférieure à alpha (5%), c'est-à-dire lorsque ($\Pr (>F) < 0,05$).

Lorsque des différences significatives ont été détectées entre les traitements ($\Pr (>F) < 0,05$), un test de comparaison multiple (Test de Tukey) a été fait afin de pouvoir comparer les traitements et de voir exactement là où sont les différences.

IV.- RÉSULTATS

4.1.- Effets des fumiers de volaille frais et composté sur la hauteur des plants

Huit (8) jours après le repiquage, la hauteur moyenne des plants a varié de $12,32 \pm 0,26$ cm à $13,85 \pm 0,26$ cm. Selon les résultats des analyses statistiques, aucune différence significative n'a été détectée entre les hauteurs moyennes mesurées sur les parcelles qui ont respectivement reçu l'engrais chimique de synthèse ($13,14 \pm 0,26$ cm), le fumier de volaille frais mélangé à la cendre de bois ($13,85 \pm 0,26$ cm) et le fumier de volaille composté mélangé à la cendre de bois ($13,12 \pm 0,26$ cm). Au cours de cette période, la hauteur moyenne des plants mesurée sur les parcelles non fertilisées ($12,32 \pm 0,26$ cm) n'a pas été significativement différente de celles mesurées sur les parcelles qui ont respectivement reçu le fumier de volaille composté mélangé à la cendre de bois ($13,12 \pm 0,26$ cm) et l'engrais chimique de synthèse ($13,14 \pm 0,26$ cm). Cependant, elle a été significativement différente de la hauteur moyenne mesurée sur les parcelles qui ont reçu le fumier de volaille frais mélangé à la cendre de bois (*Tableau 4*).

Quinze (15) jours après le repiquage, la hauteur moyenne des plants a varié de $19,61 \pm 0,90$ cm à $30,14 \pm 0,90$ cm. Selon les analyses statistiques, la hauteur des plants mesurée sur les parcelles non fertilisées ($19,61 \pm 0,90$ cm) a été significativement inférieure de celles mesurées sur toutes les autres parcelles. Cependant, aucune différence significative n'a été détectée entre les hauteurs moyennes mesurées sur les parcelles qui ont respectivement reçu l'engrais chimique de synthèse ($30,14 \pm 0,90$ cm) et le fumier de volaille frais mélangé à la cendre de bois ($25,84 \pm 0,90$ cm). La hauteur moyenne des plants mesurée sur les parcelles qui ont reçu le fumier de volaille frais ($25,84 \pm 0,90$ cm) n'a pas été non plus différente de celle mesurée sur les parcelles qui ont reçu le fumier de volaille composté ($24,07 \pm 0,90$ cm) (*Tableau 4*).

Quant à la hauteur moyenne des plants mesurée vingt-deux (22) jours après le repiquage, elle a varié de $36,89 \pm 2,89$ cm à $70,78 \pm 2,89$ cm. La hauteur moyenne mesurée sur les parcelles qui ont reçu l'engrais chimique ($70,78 \pm 2,89$ cm) n'a pas été significativement différente de celle mesurée sur les parcelles qui ont reçu le fumier de volaille frais ($57,17 \pm 2,89$ cm). La hauteur moyenne des plants mesurée sur les parcelles non fertilisées ($36,89 \pm 2,89$ cm) a été inférieure à celles mesurées sur les parcelles qui ont respectivement reçu le fumier de volaille frais ($57,17 \pm 2,89$ cm) et le fumier de volaille composté ($54,31 \pm 2,89$ cm) (*Tableau 4*).

Tableau 4 : Variation de la hauteur moyenne des plants mesurée le 8^{ème}, 15^{ème} et le 22^{ème} jours après le repiquage.

Traitements	Hauteur moyenne des plants en cm ± S.E.		
	8 JAR	15 JAR	22 JAR
T4	13,14 ± 0,26 ab	30,14 ± 0,90 a	70,78 ± 2,89 a
T2	13,85 ± 0,26 a	25,84 ± 0,90 ab	57,17 ± 2,89 ab
T3	13,12 ± 0,26 ab	24,07 ± 0,90 b	54,31 ± 2,89 b
T1	12,32 ± 0,26 b	19,61 ± 0,90 c	36,89 ± 2,89 c
Δ Tukey	1,25	4,38	14,14

Les valeurs accompagnées d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité de 5 % de probabilité, selon le test de Tukey. **T4** : Fertilisant chimique de formulation 15-15-15; **T2** : Fumier de volaille frais mélangé à la cendre de bois ; **T3** : Fumier de volaille composté mélangé à la cendre de bois ; **T1** : Aucun fertilisant.

4.2.- Effets des fumiers de volaille frais et composté sur le diamètre au collet des tiges

Huit (8) jours après le repiquage, le diamètre moyen des plants a varié de 1,81 ± 0,08 mm à 2,43 ± 0,08 mm. Selon les résultats des analyses statistiques, les diamètres moyens mesurés sur les parcelles qui ont respectivement reçu l'engrais chimique (2,26 ± 0,08 mm), le fumier de volaille frais (2,43 ± 0,08 mm) et le fumier de volaille composté (2,21 ± 0,08 mm) n'ont pas été significativement différents les uns des autres. Cependant, ils ont tous été significativement supérieurs au diamètre moyen mesuré sur les parcelles qui n'ont reçu aucun fertilisant (1,81 ± 0,08 mm) (Tableau 5).

En ce qui concerne le diamètre moyen mesuré quinze (15) jours après le repiquage, il a varié de 5,49 ± 0,27 mm à 8,27 ± 0,27 mm. Les résultats des analyses statistiques ont indiqué que les diamètres moyens mesurés sur les parcelles qui ont respectivement reçu l'engrais chimique (8,27 ± 0,27 mm), le fumier de volaille frais (7,27 ± 0,27 mm) et le fumier de volaille composté (7,00 ± 0,27 mm) n'ont pas été significativement différents les uns des autres. Cependant, ils ont tous été significativement supérieurs au diamètre moyen au collet mesuré sur les parcelles qui n'ont reçu aucun fertilisant (5,49 ± 0,27mm) (Tableau 5).

Vingt-deux (22) jours après le repiquage, le diamètre moyen de la tige a varié 9,63 ± 0,48 mm à 14,66 ± 0,48 mm. Aucune différence significative n'a été détectée entre les parcelles qui ont respectivement reçu l'engrais chimique (14,66 ± 0,48 mm), le fumier de volaille frais (12,33 ± 0,48 mm) et le fumier de volaille composté (12,70 ± 0,48 mm). Cependant, le diamètre moyen

mesuré sur les parcelles qui n'ont pas été fertilisées ($9,63 \pm 0,48$ mm) a été significativement différent de ceux mesurés sur toutes les autres parcelles (*Tableau 5*).

Tableau 5 : Variation du diamètre moyen de la tige mesuré le 8^{ème}, 15^{ème} et le 22^{ème} jours après le repiquage.

Traitements	Diamètre moyen au collet en mm \pm S.E.		
	8 JAR	15 JAR	22 JAR
T4	2,26 \pm 0,08 a	8,27 \pm 0,27 a	14,66 \pm 0,48 a
T2	2,43 \pm 0,08 a	7,27 \pm 0,27 a	12,33 \pm 0,48 a
T3	2,21 \pm 0,08 a	7,00 \pm 0,27 a	12,70 \pm 0,48 a
T1	1,81 \pm 0,08 b	5,49 \pm 0,27 b	9,63 \pm 0,48 b
Δ Tukey	0,38	1,34	2,34

Les valeurs accompagnées d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité de 5 % de probabilité, selon le test de Tukey. **T4** : Fertilisant chimique de formulation 15-15-15; **T2** : Fumier de volaille frais mélangé à la cendre de bois ; **T3** : Fumier de volaille composté mélangé à la cendre de bois ; **T1** : Aucun fertilisant.

4.3.-Effets des fumiers de volaille frais et composté sur la surface foliaire

La longueur moyenne des limbes foliaires les plus développés mesurée le 15^{ème} jour après le repiquage des plants a varié de $10,02 \pm 0,11$ cm à $13,14 \pm 0,11$ cm. Selon les résultats des analyses statistiques, la largeur moyenne des limbes foliaires mesurée sur les parcelles non fertilisées ($10,02 \pm 0,11$ cm) a été inférieure à celle mesurée sur les parcelles qui ont respectivement reçu le fertilisant chimique ($13,14 \pm 0,11$ cm), le fumier de volaille frais ($12,40 \pm 0,11$ cm) et le fumier de volaille composté ($12,36 \pm 0,11$ cm). Les résultats obtenus avec le fertilisant chimique ont été les meilleurs (*Tableau 6*).

Vingt-deux (22) jours après le repiquage des plants, la longueur moyenne des limbes foliaires les plus développés a varié de $13,78 \pm 0,46$ cm à $18,60 \pm 0,46$ cm. Aucune différence significative n'a été détectée entre les résultats obtenus sur les parcelles qui ont reçu le fertilisant chimique ($18,60 \pm 0,46$ cm) et les parcelles qui ont reçu le fumier de volaille frais ($16,60 \pm 0,46$ cm). Les résultats obtenus sur les parcelles qui n'ont pas été fertilisées ($13,78 \pm 0,46$ cm) ont été significativement inférieurs aux résultats obtenus sur les parcelles qui ont respectivement reçu le fumier de volaille frais ($16,60 \pm 0,46$ cm) et le fumier de volaille composté ($16,23 \pm 0,46$ cm) (*Tableau 6*).

En ce qui concerne la largeur moyenne des limbes foliaires mesurée au cours du 15^{ème} jour après le repiquage des plants, elle a varié de $4,63 \pm 0,12$ cm à $6,32 \pm 0,12$ cm. Selon le test de Tukey, les résultats respectivement obtenus sur les parcelles qui ont reçu le fumier de volaille frais ($5,88 \pm 0,12$ cm et sur les parcelles qui ont reçu le fumier de volaille composté ($5,93 \pm 0,12$ cm) n'ont pas été différents de ceux obtenus sur les parcelles qui ont reçu le fertilisant chimique ($6,32 \pm 0,12$ cm). Cependant, les résultats obtenus sur les parcelles qui n'ont reçu aucun fertilisant ($4,63 \pm 0,12$ cm) ont été inférieurs à tous les autres résultats (*Tableau 6*).

La largeur moyenne des limbes foliaires mesurée au cours du 22^{ème} jour après le repiquage des plants a varié de $5,87 \pm 0,26$ cm à $8,18 \pm 0,26$ cm. Selon les résultats des analyses statistiques, la largeur moyenne des limbes foliaires les plus développés mesurée sur les parcelles qui ont reçu le fertilisant chimique ($8,18 \pm 0,26$ cm) n'a pas été différente de celles mesurées sur les parcelles qui ont respectivement reçu le fumier de volaille frais ($7,57 \pm 0,26$ cm) et le fumier de volaille composté ($7,60 \pm 0,26$ cm). Cependant, les résultats obtenus sur les parcelles non fertilisées ($5,87 \pm 0,26$ cm) ont été significativement inférieurs à ceux obtenus sur les parcelles qui ont respectivement reçu le fertilisant chimique ($8,18 \pm 0,26$ cm), le fumier de volaille frais ($7,57 \pm 0,26$ cm) et le fumier de volaille composté ($7,60 \pm 0,26$ cm) (*Tableau 6*).

Tableau 6 : Variation de la longueur et de la largeur moyennes des limbes des feuilles les plus développées mesurées le 15^{ème} et le 22^{ème} jours après le repiquage.

Traitements	Longueur moyenne des limbes foliaires en cm \pm S.E.		Largeur moyenne des limbes foliaires en cm \pm S.E.	
	15 JAR	22 JAR	15 JAR	22 JAR
	T4	$13,14 \pm 0,11$ a	$18,60 \pm 0,46$ a	$6,32 \pm 0,12$ a
T2	$12,40 \pm 0,11$ b	$16,60 \pm 0,46$ ab	$5,88 \pm 0,12$ a	$7,57 \pm 0,26$ a
T3	$12,36 \pm 0,11$ b	$16,23 \pm 0,46$ b	$5,93 \pm 0,12$ a	$7,60 \pm 0,26$ a
T1	$10,02 \pm 0,11$ c	$13,78 \pm 0,46$ c	$4,63 \pm 0,12$ b	$5,87 \pm 0,26$ b
Δ Tukey	0,52	2,26	0,58	1,27

Les valeurs accompagnées d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité de 5 % de probabilité, selon le test de Tukey. **T4** : Fertilisant chimique de formulation 15-15-15; **T2** : Fumier de volaille frais mélangé à la cendre de bois ; **T3** : Fumier de volaille composté mélangé à la cendre de bois ; **T1** : Aucun fertilisant.

4.4.-Effets des fumiers de volaille frais et composté sur le pourcentage de plantes récoltées, le nombre de feuilles développées et le rendement en produits comestibles

Le pourcentage de plantes récoltées par unité expérimentale a varié de $90,56 \pm 1,00$ à $100,00 \pm 1,00$. Selon les analyses statistiques, les pourcentages de plantes récoltées sur les parcelles qui ont reçu le fertilisant chimique ($98,89 \pm 1,00$) et sur les parcelles qui n'ont reçu aucun fertilisant ($100,00 \pm 1,00$) ont été significativement supérieurs aux pourcentages de plantes récoltées sur les parcelles qui ont respectivement reçu le fumier de volaille frais ($93,33 \pm 1,00$) et le fumier de volaille composté ($90,56 \pm 1,00$). Cependant, aucune différence significative n'a été détectée entre le pourcentage de plantes récoltées sur les parcelles qui ont reçu le fertilisant chimique ($98,89 \pm 1,00$) et le pourcentage de plantes récoltées sur les parcelles qui n'ont reçu aucun fertilisant ($100,00 \pm 1,00$). Les pourcentages de plantes récoltées sur les parcelles qui ont respectivement reçu le fumier de volaille frais ($93,33 \pm 1,00$) et le fumier de volaille composté ($90,56 \pm 1,00$) n'ont pas été significativement différents les uns les autres (*Tableau 7*).

En ce qui concerne le nombre moyen de feuilles développées par plante, il a varié $39,11 \pm 2,55$ à $64,06 \pm 2,55$. Le nombre moyen de feuilles par plante obtenu sur les parcelles qui ont reçu le fertilisant chimique ($64,06 \pm 2,55$) n'a pas été différent du nombre moyen de feuilles par plante obtenu sur les parcelles qui ont reçu le fumier de volaille frais ($55,64 \pm 2,55$). Ce nombre n'a été non plus différent du nombre moyen de feuilles développées par plante sur les parcelles qui ont reçu le fumier de volaille composté ($58,42 \pm 2,55$). Cependant, le nombre moyen de feuilles développées par plante sur les parcelles qui n'ont reçu aucun fertilisant ($39,11 \pm 2,55$) a été différent des nombres moyens de feuilles développées par plante sur les parcelles qui ont respectivement reçu le fertilisant chimique ($64,06 \pm 2,55$), le fumier de volaille frais ($55,64 \pm 2,55$) et le fumier de volaille composté ($58,42 \pm 2,55$) (*Tableau 7*).

Le rendement moyen par m^2 a varié de $0,66 \pm 0,07$ kg à $2,68 \pm 0,07$ kg. Selon le test de Tukey réalisé au seuil de 5% de probabilité, le rendement moyen par m^2 mesuré sur les parcelles qui ont reçu le fertilisant chimique ($2,68 \pm 0,07$ kg) n'a pas été significativement différent du rendement moyen par m^2 mesuré sur les parcelles qui ont reçu le fumier de volaille frais ($2,42 \pm 0,07$ kg). Cependant, le rendement moyen par m^2 mesuré sur les parcelles qui n'ont reçu aucun fertilisant ($0,66 \pm 0,07$ kg) a été significativement inférieur aux rendements moyens par m^2 mesurés sur les parcelles qui ont respectivement reçu le fertilisant chimique ($2,68 \pm 0,07$ kg), le fumier de volaille frais ($2,42 \pm 0,07$ kg) et le fumier de volaille composté ($2,08 \pm 0,07$ kg) (*Tableau 7*).

En ce qui concerne le rendement moyen par plante, il a varié de $0,02 \pm 0,00$ kg à $0,08 \pm 0,00$ kg. L'analyse de variance a également mis en évidence l'existence de différences significatives entre les traitements ($(Pr (>F)) < 0,05$). Le rendement moyen par plante mesuré sur les parcelles qui ont reçu le fertilisant chimique ($0,08 \pm 0,00$ kg) n'a pas été significativement différent du rendement moyen par plante mesuré sur les parcelles qui ont reçu le fumier de volaille frais ($0,08 \pm 0,00$ kg). Cependant, le rendement moyen par plante mesuré sur les parcelles qui n'ont reçu aucun fertilisant ($0,02 \pm 0,00$ kg) a été significativement inférieur aux rendements moyens par plante mesurés sur les parcelles qui ont respectivement reçu le fertilisant chimique ($0,08 \pm 0,00$ kg), le fumier de volaille frais ($0,08 \pm 0,00$ kg) et le fumier de volaille composté ($0,07 \pm 0,00$ kg) (Tableau 7).

Tableau 7 : Variation du pourcentage de plantes récoltées, du nombre moyen de feuilles développées par plante, du rendement en kg/m^2 et du rendement en kg/plante

Traitements	Pourcentage de plantes récoltées \pm S.E.	Nombre moyen de feuilles par plante \pm S.E.	Rendement moyen en $\text{kg/m}^2 \pm$ S.E.	Rendement en $\text{kg/plante} \pm$ S.E.
T4	$98,89 \pm 1,00$ a	$64,06 \pm 2,55$ a	$2,68 \pm 0,07$ a	$0,08 \pm 0,00$ a
T3	$90,56 \pm 1,00$ b	$58,42 \pm 2,55$ a	$2,08 \pm 0,07$ b	$0,07 \pm 0,00$ b
T2	$93,33 \pm 1,00$ b	$55,64 \pm 2,55$ a	$2,42 \pm 0,07$ ab	$0,08 \pm 0,00$ ab
T1	$100,00 \pm 1,00$ a	$39,11 \pm 2,55$ b	$0,66 \pm 0,07$ c	$0,02 \pm 0,00$ c
Δ Tukey	4,91	12,47	0,36	0,01

Les valeurs accompagnées d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité de 5 % de probabilité, selon le test de Tukey. **T4** : Fertilisant chimique de formulation 15-15-15; **T2** : Fumier de volaille frais mélangé à la cendre de bois ; **T3** : Fumier de volaille composté mélangé à la cendre de bois ; **T1** : Aucun fertilisant.

4.5.- Effets des fumiers de volaille frais et composté sur la production de biomasse

La biomasse moyenne produite par unité expérimentale a varié de $1,23 \pm 0,12$ kg à $4,69 \pm 0,12$ kg. Selon le test de Tukey, la biomasse moyenne mesurée sur les parcelles qui ont reçu le fertilisant chimique ($4,69 \pm 0,12$ kg) a été significativement différente de la biomasse moyenne mesurée sur les parcelles qui ont respectivement reçu le fumier de volaille frais ($4,02 \pm 0,12$ kg), le fumier de volaille composté ($3,55 \pm 0,12$ kg) et aucun fertilisant ($1,23 \pm 0,12$ kg). Les biomasses moyennes mesurées sur les parcelles qui ont respectivement reçu le fumier de volaille frais ($4,02 \pm 0,12$ kg) et le fumier de volaille composté ($3,55 \pm 0,12$ kg) ont été

significativement supérieures à la biomasse moyenne mesurée sur les parcelles qui n'ont pas été fertilisées ($1,23 \pm 0,12$ kg) (Tableau 8).

Quant à la biomasse moyenne produite par plante, elle a varié de $0,03 \pm 0,00$ kg à $0,11 \pm 0,00$ kg. Pour cette variable, aucune différence significative n'a été détectée entre les parcelles qui ont reçu le fertilisant chimique ($0,11 \pm 0,00$ kg) et les parcelles qui ont reçu le fumier de volaille frais ($0,10 \pm 0,00$ kg). Les biomasses moyennes par plante mesurées sur les parcelles qui ont respectivement reçu le fumier de volaille frais ($0,10 \pm 0,00$ kg) et le fumier de volaille composté ($0,09 \pm 0,00$ kg) ont été significativement supérieures à la biomasse moyenne par plante mesurée sur les parcelles qui n'ont pas été fertilisées ($0,03 \pm 0,00$ kg) (Tableau 8).

Tableau 8 : Variation de la biomasse moyenne en kg/1.35 m² et en kg/plante

Traitements	Biomasse moyenne en kg/1.35m ² ± S.E.	Biomasse moyenne en kg/plante ± S.E.
T4	4,69 ± 0,12 a	0,11 ± 0,00 a
T3	3,55 ± 0,12 b	0,09 ± 0,00 b
T2	4,02 ± 0,12 b	0,10 ± 0,00 ab
T1	1,23 ± 0,12 c	0,03 ± 0,00 c
Δ Tukey	0,57	0,01

Les valeurs accompagnées d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité de 5 % de probabilité, selon le test de Tukey. T4 : Fertilisant chimique de formulation 15-15-15; T2 : Fumier de volaille frais mélangé à la cendre de bois ; T3 : Fumier de volaille composté mélangé à la cendre de bois ; T1 : Aucun fertilisant.

4.6.- Estimation de la Valeur Ajoutée Brute par hectare

Le poids moyen du paquet d'amarante a été de 0,46 kg, et son prix moyen 37,50 HTG, soient 81,52 HTG le kilo. Au cours de la période, le taux de référence de la Banque de la République d'Haïti (BRH) a été de 110 HTG pour un dollar US (\$ US).

Le prix du sac de 100 livres de fertilisant chimique de synthèse utilisé a été de 6 000,00 HTG (54,55 \$ US). Celui des fumiers de volaille frais et composté a été de 400,00 HTG (3,64 \$ US).

Les frais d'analyses des échantillons de sol et de fumiers au laboratoire ont totalisé 16 000,00 HTG (145,45 \$ US).

Selon les résultats des calculs effectués, la Valeur Ajoutée Brute obtenue à l'hectare a varié de 522 186,21 HTG (4 747,15 \$ US) à 2 066 834,04 HTG (18 784,40 \$ US). Par rapport aux

parcelles non fertilisées, l'application des fumiers de volaille frais et composté aurait permis de générer respectivement 1 406 496,29 HTG (12 786,33 \$ US) et 1 038 815,84 HTG (9 443,78 \$ US) supplémentaires. Cependant, l'application du fertilisant chimique aurait permis de générer jusqu'à 1 544 647,83 HTG (14 042,25 \$ US) supplémentaires (*Figure 6*).

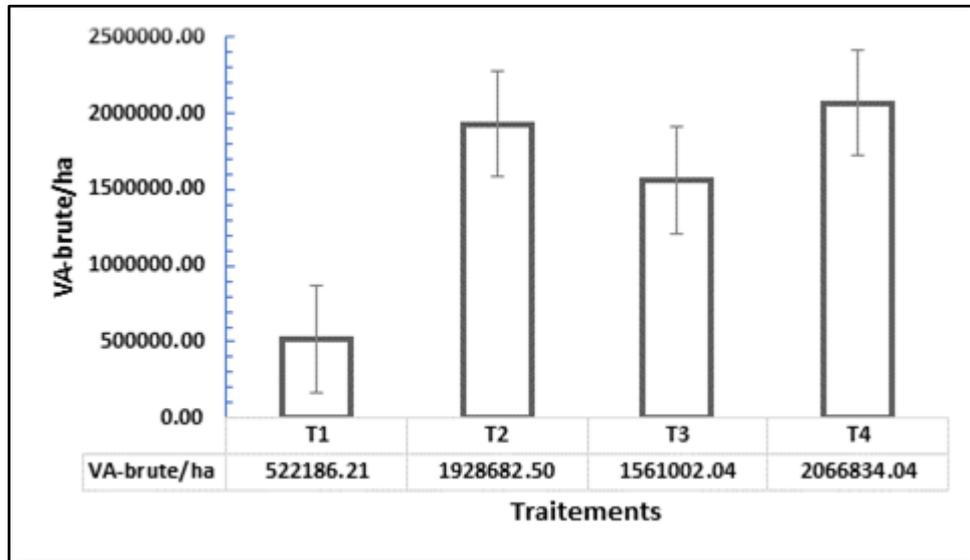


Figure 6 : Variation de la valeur ajoutée brute en HTG par hectare

VI.- DISCUSSION

6.1.- Effets globaux des fumiers de volaille frais et composté

Globalement, les résultats de cette étude ont montré que le fumier de volaille frais et le fumier de volaille composté mélangés à la cendre de bois ont respectivement amélioré la croissance et le rendement de l'amarante, comparativement aux parcelles non fertilisées.

De tels résultats sont conformes aux résultats de Gbaguidi (2008) selon lesquels une amélioration de la croissance et du rendement de l'amarante a été observée sous l'effet des amendements minéraux, organiques et organo-minéraux. Ils sont également conformes à ceux obtenus par Ognalaga (2015) avec des doses respectives de fumiers de bovins et de porcs.

Nos résultats permettent également de confirmer ceux de Tigoun (2021) selon lesquels la croissance et le rendement de l'amarante ont été améliorés par l'application des doses de fientes de volaille, comparativement au compost à base de jacinthe d'eau séchée et au compost à base de jacinthe d'eau fraîche.

6.2.- Effets sur la croissance de la tige

6.2.1.- Croissance en longueur

De manière spécifique, une exception a été faite pour la hauteur moyenne des plants mesurée le 8^{ème} jour après le repiquage. Car, aucune différence significative n'a été détectée entre les parcelles qui n'ont reçu aucun fertilisant ($12,32 \pm 0,26$ cm) et les parcelles qui ont respectivement reçu l'engrais chimique ($13,14 \pm 0,26$ cm) et le fumier de volaille composté mélangé à la cendre de bois ($13,12 \pm 0,26$ cm).

Ces résultats pourraient s'expliquer par plusieurs hypothèses. Durant cette période, le système racinaire n'a pas été suffisamment bien développé pour absorber l'eau et les éléments minéraux disponibles. Le sol a été quasiment nu et le rayonnement solaire assez agressif. L'évaporation de l'eau du sol a été donc rapide au point que les plants ont été exposés au stress hydrique juste avant les arrosages de fin de journée.

Cependant, les mesures effectuées à ce moment-là et même au cours du 15^{ème} et 22^{ème} jours après le repiquage ont montré que les effets produits par le fumier de volaille frais sur la hauteur des plants ($13,85 \pm 0,26$ cm ; $25,84 \pm 0,90$ cm et $57,17 \pm 2,89$ cm) n'ont pas été différents des effets produits par l'engrais chimique ($13,14 \pm 0,26$ cm ; $30,14 \pm 0,90$ cm et $70,78 \pm 2,89$ cm).

Quant aux effets produits par le fumier de volaille composté ($13,12 \pm 0,26$ cm ; $24,07 \pm 0,90$ cm et $54,31 \pm 2,89$ cm), ils n'ont pas été différents de ceux produits par le fumier de volaille

frais. Mais, ils ont montré une infériorité par rapport aux résultats obtenus avec le fertilisant chimique au cours du 15^{ème} et 22^{ème} jours après le repiquage.

Ces derniers résultats pourraient bien s'expliquer par la disponibilité de l'azote contenu dans les différents amendements. Car, contrairement aux composts qui ne contiennent pratiquement que de l'azote organique devant être minéralisé avant même d'être absorbé par les plants, les fumiers disposent d'une fraction d'azote minérale immédiatement disponible aux plants et principalement sous forme ammoniacale, mais aussi de l'azote organique qui va être minéralisé au fur et à mesure dans le sol (Equiterre, 2009).

Toutefois, ces résultats sont meilleurs que ceux obtenus par Faton (2013) dans son expérimentation selon laquelle des fertilisants chimiques ont produits des effets sur la hauteur des plants d'amarante, la longueur et la largeur des feuilles significativement supérieurs aux effets produits respectivement par le compost, l'excreta humain et la fiente de volaille.

6.2.2.- Croissance en épaisseur

En ce qui concerne le diamètre moyen au collet des plants mesuré respectivement le 8^{ème}, 15^{ème} et le 22^{ème} jours après le repiquage, les résultats ont montré que les effets produits par l'engrais chimique ($2,26 \pm 0,08$ mm ; $8,27 \pm 0,27$ mm et $14,66 \pm 0,48$ mm) n'ont pas été différents des effets produits respectivement par le fumier de volaille frais ($2,43 \pm 0,08$ mm ; $7,27 \pm 0,27$ mm et $12,33 \pm 0,48$ mm) et le fumier de volaille composté ($2,21 \pm 0,08$ mm ; $7,00 \pm 0,27$ mm et $12,70 \pm 0,48$ mm). Mais, ces amendements ont tous présenté une supériorité par rapport aux parcelles non fertilisées au cours des périodes respectives ($1,81 \pm 0,08$ mm ; $5,49 \pm 0,27$ mm et $9,63 \pm 0,48$ mm).

Nos résultats obtenus le 22^{ème} jour après le repiquage, soit le 41^{ème} jour après le semis en pépinière, sont bien meilleurs que les résultats obtenus par Ognalaga (2015) le 46^{ème} jour après le semis en pépinière selon lesquels les diamètres moyens de la tige de l'amarante obtenus respectivement avec le fumier de bovins (20 ; 25 et 30 t/ha) et le fumier de porcs (20 et 25t/ha) ont été significativement inférieurs au diamètre moyen obtenu avec un fertilisant chimique de synthèse (300 kg/ha).

6.3.- Effets sur la croissance et le développement foliaires

Quant aux mesures relatives à la surface foliaire effectuées le 15^{ème} et le 22^{ème} jour après le repiquage des plants, les résultats ont montré que les effets produits sur la surface des feuilles les plus développées respectivement par l'engrais chimique ($114,43 \pm 5,73$ cm²), le fumier de volaille frais ($94,79 \pm 5,73$ cm²) et le fumier de volaille composté ($92,98 \pm 5,73$ cm²) n'ont pas

été différents les uns des autres. Cependant, ils ont tous montré une supériorité par rapport aux parcelles non fertilisées pour lesquelles la surface foliaire moyenne des feuilles les plus développées a été de $61,83 \pm 5,73 \text{ cm}^2$.

Ces résultats sont en accord avec ceux issus de l'expérimentation de Houndehin (2017) dans laquelle l'indice foliaire de l'amarante déterminé sur des parcelles ayant reçu le fumier de volaille composté avec 25% de feuilles de neem a été semblable à celui obtenu avec l'engrais chimique de formulation 15-15-15.

Quant au nombre moyen de feuilles développées par plant, aucune différence significative n'a été détectée entre les parcelles qui ont respectivement reçu le fertilisant chimique ($64,06 \pm 2,55$ feuilles), le fumier de volaille frais ($55,64 \pm 2,55$ feuilles) et le fumier de volaille composté ($58,42 \pm 2,55$ feuilles). Tous ces résultats ont montré une supériorité par rapport aux parcelles non fertilisées ($39,11 \pm 2,55$ feuilles). Toutefois, Tigoun (2021) a pu obtenir des résultats un peu supérieurs avec la fiente de volaille (74 feuilles/plant). Mais ses résultats obtenus avec le compost à base de jacinthe d'eau fraîche (59 feuilles/plant) et le compost à base de jacinthe d'eau sèche (62 feuilles/plant) sont un peu similaires à nos résultats, bien que ses observations aient été faites le 28^{ème} jour après le repiquage pour des doses respectives de 40t/ha des différents amendements cités, bien évidemment supérieures aux doses utilisées dans notre expérimentation.

6.4.- Effets sur le pourcentage des plantes récoltées

En ce qui concerne le pourcentage de plantes récoltées par unité expérimentale, les résultats obtenus respectivement sur les parcelles qui ont reçu le fertilisant chimique ($98,89 \pm 1,00 \%$) et les parcelles qui n'ont reçu aucun fertilisant ($100,00 \pm 1,00 \%$) ont été supérieurs aux résultats obtenus sur les parcelles qui ont reçu le fumier de volaille frais ($93,33 \pm 1,00 \%$) et aux résultats obtenus sur les parcelles qui ont reçu le fumier de volaille composté ($90,56 \pm 1,00 \%$). Ce fait pourrait s'expliquer par la qualité microbiologique des fumiers de volaille frais et composté. Car, selon Fuchs (1996), le compost étant un substrat microbiologiquement actif, ses microorganismes exercent une grande influence sur sa qualité et peuvent donc agir aussi bien positivement que négativement sur la santé des plants.

Toutefois, la température supérieure à $55 \text{ }^\circ\text{C}$ qu'ont subi les matériaux durant le processus de compostage aurait pu garantir l'absence de pathogène dans le fumier de volaille composté (Equiterre, 2009). Tel n'a pas été le cas pour le fumier de volaille frais.

De plus, la distance de repiquage utilisée (15 cm x 15 cm) aurait pu entraîner le développement d'un microclimat favorable au développement des champignons dans les unités expérimentales.

Car, les plants étaient devenus manquants sur les unités expérimentales dans les jours qui ont suivi une forte pluie enregistrée entre le 15^{ème} et le 22^{ème} jours après le repiquage des plants par des cas isolés de pourriture du collet. À ce stade, il n'était plus évident de procéder au remplacement des plants manquants.

6.5.- Effets sur le rendement en produits comestibles et la biomasse totale

Les rendements moyens par m² mesurés sur les parcelles qui ont respectivement reçu le fertilisant chimique ($2,68 \pm 0,07$ kg), le fumier de volaille frais ($2,42 \pm 0,07$ kg) et le fumier de volaille composté ($2,08 \pm 0,07$ kg) ont été significativement supérieurs au rendement moyen mesuré sur les parcelles non fertilisées ($0,66 \pm 0,07$ kg). Contrairement au fumier de volaille composté, le fumier de volaille frais mélangé à la cendre de bois ($2,42 \pm 0,07$ kg) a exercé un même niveau d'influence sur le rendement de l'amarante que le fertilisant chimique ($2,68 \pm 0,07$ kg). En tenant compte du rendement moyen par plant, les mêmes tendances ont été observées.

Ces résultats vont dans le même sens que ceux obtenus par Benjamin (2019) qui ont montré une amélioration significative de la croissance et du rendement de la courgette (*Cucurbita pepo* L.) sous l'effet des amendements organique et chimique, comparativement à des témoins non fertilisés.

Les rendements obtenus avec nos différents amendements semblent être supérieurs aux meilleurs rendements (12,96 t/ha et 12,06 t/ha) obtenus dans l'expérimentation de Houndehin (2017) avec le fumier de volaille composté seul et le fumier de volaille composté avec 15 % de feuilles de neem, respectivement appliqués à la dose de 20 t/ha.

Nos résultats relatifs à la biomasse moyenne par plant ont montré que l'engrais chimique et le fumier de volaille frais ont exercé un même niveau d'influence sur ce paramètre. Ces amendements ont tous entraîné une amélioration de la production de biomasse de l'amarante, comparativement aux parcelles non fertilisées. Toutefois, les résultats obtenus à l'échelle de l'unité expérimentale ont montré une supériorité du fertilisant chimique ($4,69 \pm 0,12$ kg) par rapport au fumier de volaille frais et au fumier de volaille composté pour lesquels les biomasses moyennes produites ont été respectivement de $4,02 \pm 0,12$ kg et $3,55 \pm 0,12$ kg.

De tels résultats pourraient s'expliquer, d'une part, par le fait que les pourcentages de plantes récoltées sur les parcelles qui ont reçu les différents amendements ont été significativement différents les uns des autres et, d'autre part, par la libération insuffisante de l'azote contenu respectivement dans les fumiers de volaille frais et composté par rapport aux besoins d'exportation de l'amarante.

En effet, la totalité de l'azote contenu dans ces amendements n'est pas utilisable au cours du cycle cultural de l'amarante. Selon Cognet (2021), le taux d'azote des fumiers utilisable au cours de la 1^{ère} année est de l'ordre de 20 à 30 %, ce qui est nettement inférieur au taux de 80% des engrais minéraux. De plus, si avec le fumier une partie de l'azote est rapidement disponible aux plants, il est en effet difficile de prévoir la minéralisation de l'azote contenu dans les composts (Equiterre, 2009). Or, l'azote est l'élément le plus important à prendre en compte dans la fertilisation des légumes (Equiterre, 2009). Chez l'amarante, c'est d'ailleurs cet élément qui permet d'améliorer le rendement en feuilles par le retard la floraison (Nimpagariste, 2019). De plus, dans cette étude, les apports d'amendements visaient tous à compenser exactement les exportations de la culture d'amarante. Les meilleures performances en termes de nombre de feuilles obtenues par Tigoun (2021) avec la dose de 40 t/ha de fiente de volaille à partir du 49^{ème} jour du cycle cultural de l'amarante, soit le 28^{ème} jour après le repiquage, pourraient permettre de déduire que le délai d'application avant le repiquage (15 jours) utilisé dans notre étude et la longueur du cycle cultural de l'amarante (43 jours) auraient pu aussi être trop courts pour la minéralisation complète des éléments nutritifs contenus respectivement dans le fumier de volaille frais et le fumier de volaille composté. Or, le nombre de feuilles développées contribue aux niveaux du rendement et de la biomasse totale atteints.

VI.- CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Cette étude a eu pour objectifs de tester l'efficacité des fumiers de volaille frais et composté sur la croissance et le rendement de l'amarante, comparativement au fertilisant chimique de formulation 15-15-15 utilisé seul et à des parcelles non fertilisées. Les doses respectives de fumiers de volaille frais et composté appliquées ont été calculées de manière à compenser les besoins d'exportation de la culture et équilibrées avec de la cendre de bois, une ressource non valorisée et abondamment disponible dans la zone d'étude.

Les résultats ont montré que le fumier de volaille frais et le fumier de volaille composté mélangés à la cendre de bois sont potentiellement capables d'améliorer la croissance et le rendement de l'amarante, comparativement aux parcelles non fertilisées.

Le fumier de volaille frais mélangé à la cendre de bois a globalement exercé un même niveau d'efficacité sur la croissance et le rendement de l'amarante que le fertilisant chimique. Pour ces deux types d'amendements, les pourcentages de plantes récoltées ainsi que les biomasses par unité expérimentale ont été différents, mais les biomasses moyennes par plante n'ont pas été différentes.

Pour les différentes variables mesurées, les analyses statistiques ont mis en évidence l'existence de différences significatives entre le fumier de volaille composté et le fertilisant chimique, hormis la hauteur moyenne des plants mesurée le 8^{ème} jour après le repiquage, la longueur moyenne des limbes foliaires, le diamètre moyen au collet et le nombre moyen de feuilles développées.

En tenant compte du fait que les doses respectives de fumier de volaille frais et de fumier de volaille composté mélangés à la cendre de bois ont été calculées de manière à compenser exactement les besoins d'exportation de la culture d'amarante en NPK et que seulement 20 à 30% de la teneur en azote des fumiers seraient utilisables au cours de la première année alors que jusqu'à 80% de la teneur en azote de l'engrais minéral seraient utilisables au cours de la même période; mais également du temps nécessaire aux fumiers pour la minéralisation complète de la fraction d'azote organique, et de la longueur du cycle cultural de l'amarante qui a été de 43 jours, il serait possible qu'une plus grande quantité d'azote ait été disponible au cours du cycle cultural de l'amarante sur les parcelles qui ont reçu le fertilisant chimique, comparativement aux parcelles qui ont reçu les fumiers de volaille frais et composté. Par conséquent, les effets produits par les fumiers de volaille frais et composté sur la fertilité des sols pourraient durer beaucoup plus longtemps et les effets observés seraient attribuables à des niveaux d'exportation plus faibles, comparativement au fertilisant chimique de synthèse.

Par ailleurs, en tenant compte également de certains résultats relatifs aux effets produits par les fumiers de volaille frais et composté sur la croissance et le rendement de l'amarante, il serait possible d'affirmer que la restitution au sol des éléments nutritifs contenus dans les déchets organiques est perçue comme une méthode efficace à adopter en vue de remédier à la problématique de perte de fertilité des sols en Haïti. Par conséquent, les déchets organiques comme les fumiers de volaille frais et composté pourraient bien être substitués même partiellement aux fertilisants chimiques de synthèse en attendant d'observer des résultats issus des recommandations qui suivent :

- ✓ Des études similaires doivent se réaliser en vue de tester l'efficacité des fumiers de volaille frais et composté pour des doses dont le taux d'éléments utilisables correspond aux besoins d'exportation de la culture utilisée ;
- ✓ Les fumiers de volaille frais et composté doivent être appliqués au sol dans un délai bien supérieur au délai de 15 jours avant la mise en place de la culture utilisé dans cette étude;
- ✓ D'autres types de déchets organiques comme les déchets organiques ménagers ainsi que les résidus de récolte doivent faire l'objet d'une pareille étude en vue de pouvoir tester l'efficacité des produits et d'augmenter la disponibilité des amendements organiques dans la zone ;
- ✓ Les conditions de production et de stockage de ces types d'amendements doivent être également améliorées en vue d'en garantir la qualité, notamment à GRAVA ferme agricole, le fournisseur des fumiers de volaille frais et composté utilisés dans cette étude.

VIII.- RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Aglinglo L. A., Ahoudou I., Lègba E. C., Francisco R. A., Hotègni N. V. F., Achigan-Dako E. G., 2008. Fiche technique synthétique pour la production de la tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Laboratory of Genetics Horticulture and Seed Science (GBioS), 6 pages.

Ainika J. N., Amans E. B., Olonitola C. O., Okutu P. C., Dodo E. Y., 2012. Effect of Organic and Inorganic Fertilizer on Growth and Yield of *Amaranthus caudatus* L. in Northern Guinea Savanna of Nigeria. *World of Engineering and Pure and Applied Science*. 2 (2): 26-30.

Argouarc'h J., 2005. Les cultures légumières en agriculture biologique. Fiches technico-économiques des principaux légumes. Culture de plein champ et sous abri. CFPPA RENNES-LE RHEU, 119 pages.

Bargout R. N. & Raizada M. N., 2013. Soil nutrient management in Haiti, pre-Columbus to the present day: lessons for future agricultural interventions. *Agriculture & Food Security*. <http://www.agricultureandfoodsecurity.com/content/2/1/11>.

Bastien Y. R. & Ludovic C. J., 2012. Crise du développement en Haïti : pour sortir de l'impasse. Cahier thématique – Développement économique et création d'emplois. *Haïti Perspectives*, 1 (1) : pages 17-23.

Bayard R. & Gourdon R., 2009. Traitement biologique des déchets. Techniques de l'Ingénieur. <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/environnement-securite-th5/gestion-et-valorisation-des-dechets-42437210/traitement-biologique-des-dechets-g2060/>. <https://doi.org/10.51257/a-v2-g2060>.

Bellande A., 2009. Impact socioéconomique de la dégradation des terres en Haïti et interventions pour la réhabilitation du milieu cultivé. *Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)*, 73 pages.

Benjamin J., 2019. Effet de trois types de composts et de fertilisants chimiques sur la croissance et le rendement de la courgette (*Cucurbita pepo* L.) dans des sols basaltiques et calcaires à la commune de Kenscoff, Haïti. Travail de fin d'études pour l'obtention du diplôme de master de Spécialisation en Production Intégrée et Préservation des Ressources Naturelles en Milieu Urbain et Péri-urbain. Université de Liège, Gembloux Agro-Bio Tech, 62 pages.

Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD), Groupe de Recherche et d'Échanges Technologiques (GRET) & Ministère des affaires étrangères, 2002. Mémento de l'agronome. Montpellier : CIRAD, 1700 pages.

Charles N., 2014. Diagnostic de l'élevage caprin au niveau de la commune de Ouanaminthe. Mémoire de Fin d'Etudes Agronomiques pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur-Agronome. Université d'État d'Haïti (UEH), Faculté d'Agronomie et de Médecine Vétérinaire (FAMV), 75 pages.

Cognet S., 2021. Productions maraichères, Document du cours de cultures maraichères. ULiège, Gembloux Agro-Bio Tech - Institut Haute Ecole Charlemagne, 118 slides.

Commission des Communautés Européenne, 1974. Informations internes sur l'agriculture. Conséquences écologiques de l'application des techniques modernes de production en agriculture. Direction générale de l'Agriculture. Direction Economie Agricole - Division Bilans, Etudes, Informations Statistiques, 459 pages.

Damais G. & Bellande A., 2004. Évaluation de l'impact de la gestion des engrais chimiques par le Ministère de l'Agriculture et propositions de relance de la filière sur une base concurrentielle. Ministère de l'Agriculture, des Ressources Naturelles et du Développement Rural (MARNDR), 73 pages.

Deblay S., 2006. Fertilisation et amendement. Educagri éditions, 2ème édition, 131 pages.
<https://fr.scribd.com/document/481835329/Fertilisation-Et-Amendements-1>.

Dhaouadi K., Aubry C., Hadjar D., Gilliot J. M., Parnaudeau V., Houot S., 2014. Potentiel de substitution des engrais minéraux azotés par des produits résiduels organiques à l'échelle d'un territoire. Echo-MO, N° 105, 5-8.

Djogbédé A. Z. K., HINVI L. C. & Fiogbe E. D., 2012. Effets de substitution des engrais chimiques par *Azolla pinnata* en riziculture au Nord Bénin. International Journal of Biological and Chemical Sciences, 6(6):027-3044. DOI : <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v6i6.5>.

Douze M., 2021. Etude sur les résidus des fertilisants chimiques de quelques nutriments utilisés dans la riziculture au niveau de la vallée de l'Artibonite, Haïti. Mémoire rédigé en vue de l'obtention du diplôme de Master en Sciences et Gestion de l'Environnement. Université de Liège & Université Catholique de Louvain, 74 pages.

Duplan Y. J. J., 2005. La déforestation en Haïti : Vulnérabilité socio-économique et écologique. Mémoire, Certificat International d'Ecologie Humaine. Université de Bordeaux, 65 pages.

Duvivier P., Louissaint J. & Sampeur U., 2006. Réponse de trois variétés de riz (*Oriza sativa*, L.) [Bogapote, Malaïka et TCS10] à la fertilisation phosphatée et potassique dans la Vallée de l'Artibonite, Haïti. Recherche, Étude et Développement (RED), 3 (1), 22-25.

Elie D. E., 2018. Évaluation des performances financières des unités de production rizicole dans la Plaine de Haut-Maribahoux. Mémoire de Fin d'Etudes Agronomiques pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur-Agronome. Faculté d'Agronomie et de Médecine Vétérinaire (FAMV). Université d'État d'Haïti (UEH), 69 pages.

Équiterre, 2009. Module 7, Amendement et fertilisation – Chapitre 14, « Fertilisation » Manuscrit du Guide de Gestion globale de la ferme maraîchère biologique et diversifiée, 18 pages.

FERTIAL, 2017. Manuel d'utilisation des engrais. Grandes cultures, arboricultures et cultures maraîchères et industrielles, 128 pages.

Fuchs J., 1996. Influence de la qualité biologique des composts sur les plantes et leur santé. Institut de recherche et des Consultations en Agronomie et Ecologie Appliquées, Biophyt SA, 14 pages.

Gbaguidi B. A., 2008. Etude comparée de l'impact du compost et de quelques engrais chimiques sur le rendement de certaines cultures maraîchères. Cas de *Amaranthus hybridus* L. et de *Lactuca sativa* L. Mémoire de fin de formation pour l'obtention du diplôme d'ingénieur des travaux. Université d'Abomey-Calavi (UAC), 43 pages.

Gbessemehlan A. M. R., Zoundji M. C. C., Babatounde N., Gangnon S. A. O., Akplo M. T., Kouelo F. A., Houngnandan P., 2022. Etude comparative de l'efficacité de deux types de composts inorganiques sur la performance agroéconomique de l'amarante (*Amaranthus cruentus* L.) dans les jardins familiaux de Bénin. International Journal of Biological and Chemical Sciences. 16(3): 1122-1136.

Gnitangni M. D., 2012. Recyclage et valorisation des déchets ménagers : Utilisation agricole des compost d'ordures ménagères dans la ceinture maraîchère de Parakou, Nord-Benin. Mémoire de fin de formation pour l'obtention de licence professionnelle. Université d'Abomey-Calavi (UAC), 48 pages.

Godbout S., Palacios J. H. & Brassard P., 2012. Avenues pour la valorisation des cendres de combustion de la biomasse agricole. IRDA, 2 pages.

Guerrier H., 2017. Valorisation des déchets solides ménagers (DSM) en agriculture urbaine et péri-urbaine dans la ville de Léogane (Ouest Haïti). Travail de fin d'études pour l'obtention du diplôme de master de Spécialisation en Production Intégrée et Préservation des Ressources Naturelles en Milieu Urbain et Péri-urbain. Université de Liège, Gembloux Agro-Bio Tech, 50 pages.

Hébert M. & Breton B., 2008. Recyclage agricole des cendres de bois au Québec – État de la situation , impacts et bonnes pratiques Agro-environnementales. Agrosolutions, 19 (2).

Hounhin J. S., 2017. Effet de microdose de fumier de volaille amélioré sur la croissance et le rendement de l'amarante au Sud de Benin. Travail de Fin d'Études pour l'obtention du diplôme de master. Université de Liège, Gembloux Agro-Bio Tech, 46 pages.

Institut Haïtien de Statistique et d'Informatique (IHSI), 2015. Recensement General de la population et de l'habitat.

Jeune W., 2020. Comment améliorer la fertilité des sols en Haïti. Feed the Future Haïti. Projet d'Appui à la Recherche et au Développement Agricole (AREA Project), 24 pages.

Lacour J., 2012. Valorisation de résidus agricoles et autres déchets organiques par digestion anaérobie en Haïti. Thèse en cotutelle. Institut National des Sciences Appliquées de Lyon (France) & Université Quisqueya (Haïti), 218 pages.

Lewani M. O. A., 2017. Formulation d'un biofertilisant à base de déchets organiques ménagers et de déjections animales en vue de sa vulgarisation. Travail de Fin d'Études pour l'obtention du diplôme de master. Université de Liège, Gembloux Agro-Bio Tech, 61 pages.

LIEGUI G. S., 2019. Vermicompostage : une alternative durable de valorisation des déchets organiques ménagers en maraîchage périurbain à Yaoundé. Travail de Fin d'Étude présenté pour l'obtention du diplôme de master. Liège université, Gembloux Agro-Bio Tech, 79 pages.

Maltas A. & Sinaj S., 2014. Les cendres de bois : un nouvel engrais pour l'agriculture suisse. Recherche agronomique suisse. 5 (6) : 232-239

Ministère de l'Agriculture des Ressources Naturelles et du Développement Rural (MARNDR), 2011. Politique de développement agricole 2010-2025, 28 pages.

Ministère de l'Agriculture des ressources Naturelles et du développement Rural (MARNDR) – Programme de Subvention des Fertilisants et Amélioration de la productivité des cultures et des sols (PSF), 2014. Rapport d'essai sur l'azote dans la culture de riz. Réponse de trois variétés de riz (CAP, TCS-10 et L1) à différentes doses d'azote en termes de rendement-grain et de production de biomasse, 28 pages.

Ministère de l'Environnement (MDE), 2004. Plan d'Actions Départemental pour l'Environnement et le Développement Durable du Nord-Est, 32 pages.

Ministère de l'Environnement (MDE), 2015. Programme Aligné d'Action National de Lutte contre la Désertification (PAN-LCD), 103 pages.

Ministère de l'Environnement (MDE), 2018. Projet de Renforcement du système de gestion des déchets solides en Haïti. Programme des Nations unies pour le Développement (PNUD), 49 pages.

Nimpagariste D., 2019. Guide de bonnes pratiques de production de fruits et de légumes. World Vegetable Center, 90 pages.

Nobera E., 2014. Haïti Sécurité Alimentaire en Bref. Famine Early Warning Systems Network (FEWS NET). Agence des Etats-Unis pour le Développement International (USAID), 44 pages.

Ognalaga M., Boussiengui-Boussiengui G. & Oyanadigui Odjogui P. I., 2015. Contribution à la restauration de la fertilité des sols du périmètre maraîcher de l'IGAD DJAMITI (Franceville) par l'apport raisonné des amendements organiques et minéral. Journal of Animal et Plant Sciences. 24 (3) : 3843-3853. <http://www.m.elewa.org/JAPS>

Pierre M., 2015. Midi de la biomasse. Pistes de valorisation des cendres de chaufferies biomasse en Wallonie. Valbiom, 7 pages.

Recous S., Jeuffroy M. H., Hénault C., Bamière L., s.d. Partie II. Analyses des dix actions techniques. Action 1 : Réduire le recours aux engrais minéraux de synthèse, en les utilisant mieux et en valorisant plus les ressources organiques, pour réduire les émissions de N₂O associées. Institut National de recherche Agronomique (INRA), pages 71-132.

Régis G. & Roy A. L., 1999. Manuel pratique de conservation des sols d'Haïti. Ministère de l'Agriculture, des Ressources Naturelles et du Développement Rural (MARNDR) & Coopération Française, 133 pages.

Ruget F., Bonhomme R. & Chartier M., 1996. Estimation simple de la surface foliaire de plantes de maïs en croissance. Agronomie, EDP sciences. 16 (9): 553-562.

SATEGE, 2016. Fiche 2: Seuils réglementaires fixés par les normes. Chambre d'Agriculture du Nord-Pas de Calais, 4 pages.

Savci S., 2012. Investigation of Effect of Chemical Fertilizers on Environment: doi: 10.1016/j.apcbee.2012.03.047: www.sciencedirect.com/www.elsevier.com/locate/procedia.

Scutt R., 2020. Comparaison des performances agronomiques du poivron (*Capsicum annuum* L.) et de l'amarante (*Amaranthus cruentus* L.) cultivés dur des structures de *Terra Treta* et en conditions traditionnelles. Université de Fondwa (UNIF), 21 slides.

Sinaj S., Maltas A., Kebli H. & Turpault M.P., 2015. La valorisation des cendres en agriculture : L'expérience suisse. Institut des Sciences en Production Végétale & Institut National de recherche Agronomique (INRA), 6 pages.

Soltner D., 2017. Les bases de la production végétale. Tome I : Le sol et son amélioration. Collection Sciences et techniques Agricoles. 27^{ème} édition.

Tchobanoglous G., Theisen H. & Vigil S., 1993. Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues. <https://lib.ugent.be/catalog/rug01:000312687>.

Valcin A. B. R., 2018. Diagnostic de la gestion des déchets ménagers solides dans la ville de Ouanaminthe. Mémoire de Fin d'Études présenté pour l'Obtention du Diplôme d'Ingénieur-Agronome. Faculté d'Agronomie et de Médecine Vétérinaire (FAMV). Université d'État d'Haïti (UEH), 33 pages.

Wari S. A., 2012. Problématique de la gestion des déchets ménagers urbains de la ville N'Djamena, cas du 8^{ème} arrondissement. Mémoire pour l'obtention du diplôme master en ingénierie de l'eau et de l'environnement. Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement, 46 pages.

ANNEXES

Annexe 1. Matrice des données – Partie I

No	Id.	Ligne	Colonne	Trait	NPR	BIOMT	RDMTP	H8JAR	D8JAR	H15JAR	D15JAR
1	L1C1	L1	C1	T1	45.00	1.10	0.85	12.77	1.92	18.89	5.14
2	L1C2	L1	C2	T3	44.00	2.90	2.40	12.72	2.12	24.22	6.62
3	L1C3	L1	C3	T4	45.00	4.25	3.27	12.61	2.43	29.22	8.42
4	L1C4	L1	C4	T2	42.00	3.30	2.80	11.50	2.04	20.11	5.87
5	L2C1	L2	C1	T4	45.00	5.04	3.95	13.06	2.30	30.44	8.50
6	L2C2	L2	C2	T2	45.00	3.65	3.10	14.67	2.54	23.67	6.87
7	L2C3	L2	C3	T1	45.00	1.12	0.80	12.44	1.72	18.00	4.61
8	L2C4	L2	C4	T3	40.00	3.45	2.86	12.00	1.81	19.28	5.27
9	L3C1	L3	C1	T2	41.00	4.09	3.25	14.33	2.30	27.67	7.76
10	L3C2	L3	C2	T4	45.00	4.37	3.35	14.44	2.31	31.78	8.33
11	L3C3	L3	C3	T3	41.00	3.75	2.85	13.44	2.28	23.56	7.39
12	L3C4	L3	C4	T1	45.00	1.20	0.89	10.61	1.56	19.22	5.61
13	L4C1	L4	C1	T3	38.00	4.08	3.10	14.33	2.64	29.22	8.72
14	L4C2	L4	C2	T1	45.00	1.50	1.01	13.44	2.02	22.33	6.58
15	L4C3	L4	C3	T2	40.00	5.03	3.93	14.89	2.82	31.89	8.56
16	L4C4	L4	C4	T4	43.00	5.08	3.87	12.44	2.01	29.11	7.81

Trait. : Traitement ; **PC** : Pourriture du collet ; **NPR** : Nombre de plantes récoltées ; **BIOMT** : Biomasse moyenne en kg / 1.35 m² ; **RDMTP** : Rendement moyen en kg / 1.35m² ; **H8JAR** : Hauteur moyenne en cm mesurée le 8^{ème} jour après le repiquage ; **D8JAR** : Diamètre moyen en mm mesuré le 8^{ème} jour après le repiquage ; **H15JAR** : Hauteur moyenne en cm mesurée le 15^{ème} jour après le repiquage ; **D15JAR** : Diamètre moyen en mm mesuré le 15^{ème} jour après le repiquage.

Annexe 2. Matrice des données – Partie II

No	Id.	Ligne	Colonne	Trait.	H22JAR	D22JAR	Lf15JAR	lf15JAR	Lf22JAR	lf22JAR
1	L1C1	L1	C1	T1	38.78	9.46	10.28	4.39	13.94	6.33
2	L1C2	L1	C2	T3	48.89	11.84	11.39	5.11	14.56	7.22
3	L1C3	L1	C3	T4	70.33	14.10	12.61	5.89	18.61	7.94
4	L1C4	L1	C4	T2	38.67	10.72	10.94	5.17	16.00	6.83
5	L2C1	L2	C1	T4	68.22	15.33	13.17	6.61	19.28	8.78
6	L2C2	L2	C2	T2	52.56	11.56	11.44	5.33	14.78	7.11
7	L2C3	L2	C3	T1	28.00	8.39	9.06	4.22	12.78	5.50
8	L2C4	L2	C4	T3	42.56	10.56	10.39	5.06	15.39	6.72
9	L3C1	L3	C1	T2	60.78	12.56	13.50	6.33	17.44	7.78
10	L3C2	L3	C2	T4	74.22	15.72	13.28	6.33	19.11	8.72
11	L3C3	L3	C3	T3	59.89	14.00	12.89	6.28	16.67	8.22
12	L3C4	L3	C4	T1	38.44	10.22	9.78	4.72	14.56	6.11
13	L4C1	L4	C1	T3	65.89	14.38	14.78	7.28	18.28	8.22
14	L4C2	L4	C2	T1	42.33	10.44	10.94	5.17	13.83	5.94
15	L4C3	L4	C3	T2	76.67	14.46	13.72	6.67	18.17	8.56
16	L4C4	L4	C4	T4	70.33	13.50	13.50	6.44	17.39	7.28

Trait. : Traitements ; **H22JAR** : Hauteur moyenne en cm mesurée le 22^{ème} jour après le repiquage ; **D22JAR** : Diamètre moyen en mm mesuré le 22^{ème} jour après le repiquage ; **Lf15JAR** : Longueur moyenne des limbes foliaires des feuilles les plus développées mesurée en cm le 15^{ème} jour après le repiquage ; **If15JAR** : Largeur moyenne des limbes foliaires des feuilles les plus développées mesurée en cm le 15^{ème} jour après le repiquage ; **Lf22JAR** : Longueur moyenne des limbes foliaires des feuilles les plus développées mesurée en cm le 22^{ème} jour après le repiquage ; **If22JAR** : Largeur moyenne des limbes foliaires des feuilles les plus développées mesurée en cm le 22^{ème} jour après le repiquage ;

Annexe 3. Matrice des données – Partie III

No	Id.	Ligne	Colonne	Trait.	NFD	RDPNC	RDMT/P	BIOM/P	Sfmax15	Sfmax22
1	L1C1	L1	C1	T1	41.78	0.25	0.019	0.024	33.83	66.24
2	L1C2	L1	C2	T3	56.33	0.50	0.055	0.066	43.66	78.84
3	L1C3	L1	C3	T4	64.33	0.98	0.073	0.094	55.70	110.89
4	L1C4	L1	C4	T2	37.56	0.50	0.067	0.079	42.41	82.00
5	L2C1	L2	C1	T4	66.78	1.09	0.088	0.112	65.28	126.91
6	L2C2	L2	C2	T2	54.33	0.55	0.069	0.081	45.78	78.81
7	L2C3	L2	C3	T1	35.22	0.32	0.018	0.025	28.68	52.71
8	L2C4	L2	C4	T3	47.22	0.59	0.072	0.086	39.39	77.59
9	L3C1	L3	C1	T2	63.56	0.84	0.079	0.100	64.13	101.76
10	L3C2	L3	C2	T4	69.78	1.02	0.074	0.097	63.07	125.02
11	L3C3	L3	C3	T3	62.11	0.90	0.070	0.091	60.69	102.78
12	L3C4	L3	C4	T1	40.67	0.31	0.020	0.027	34.63	66.71
13	L4C1	L4	C1	T3	68.00	0.98	0.082	0.107	80.66	112.71
14	L4C2	L4	C2	T1	38.78	0.49	0.022	0.033	42.41	61.67
15	L4C3	L4	C3	T2	67.11	1.10	0.098	0.126	68.61	116.57
16	L4C4	L4	C4	T4	55.33	1.21	0.090	0.118	65.25	94.91

Trait. : Traitements ; **NFD** : Nombre moyen de feuilles développées à la récolte ; **RDPNC** : Rendement moyen en produits non comestibles en kg / 1.35 m² ; **RDMT/P** : Rendement moyen en produits comestibles en kg/plante ; **BIOM/P** : Biomasse moyenne en kg/plant ; **Sfmax15** : Surface moyenne maximale des feuilles les plus développées mesurée en cm² le 15^{ème} jour après le repiquage ; **Sfmax22** : Surface moyenne maximale des feuilles les plus développées mesurée en cm² le 22^{ème} jour après le repiquage.

Annexe 4. Tableau de l'Analyse de Variance (ANOVA) de la Biomasse totale

S.V.	DL	SC	CM	F	Pr(>F)
Traitement	3	27.0348	9.0116	166.1955	0.000003661 ***
Ligne	3	2.1656	0.7219	13.3128	0.004629 **
Colonne	3	0.6160	0.2053	3.7866	0.077656
Erreur	6	0.3253	0.0542		
Total	15	30.14			

Annexe 5. Tableau de l'Analyse de Variance (ANOVA) du Rendement parcelaire

S.V.	DL	SC	CM	F	Pr(>F)
Traitement	3	0.0099180	0.0033060	161.2683	0.000004002 ***
Ligne	3	3 0.0007785	0.0002595	12.6585	0.005264 **
Colonne	3	0.0003255	0.0001085	5.2927	0.040192 *
Erreur	6	0.0001230	0.0000205		
Total	15	19.07			

Annexe 6. Tableau de l'Analyse de Variance (ANOVA) de la Hauteur des plantes mesurée 8 jours après le repiquage

S.V.	DL	SC	CM	F	Pr(>F)
Traitement	3	4.7071	1.5690	6.0172	0.030606 *
Ligne	3	3.8393	1.2798	4.9079	0.046942 *
Colonne	3	11.9465	3.9822	15.2716	0.003246 **
Erreur	6	1.5645	0.2608		
Total	15	22.06			

Annexe 7. Tableau de l'Analyse de Variance (ANOVA) du Diamètre des plantes mesuré 8 jours après le repiquage

S.V.	DL	SC	CM	F	Pr(>F)
Traitement	3	0.83383	0.277942	11.4105	0.006837 **
Ligne	3	0.20788	0.069292	2.8447	0.127669
Colonne	3	0.55913	0.186375	7.6514	0.017884 *
Erreur	6	0.14615	0.024358		
Total	15	1.75			

Annexe 8. Tableau de l'Analyse de Variance (ANOVA) de la Hauteur des plantes mesurée 15 jours après le repiquage

S.V.	DL	SC	CM	F	Pr(>F)
Traitement	3	227.912	75.971	23.6945	0.001001 **
Ligne	3	73.320	24.440	7.6226	0.018040 *
Colonne	3	50.033	16.678	5.2016	0.041666 *
Erreur	6	19.237	3.206		
Total	15	370.50			

Annexe 9. Tableau de l'Analyse de Variance (ANOVA) du Diamètre des plantes mesuré 15 jours après le repiquage

S.V.	DL	SC	CM	F	Pr(>F)
Traitement	3	15.8625	5.2875	17.6785	0.002207 **
Ligne	3	6.5053	2.1684	7.2500	0.020233 *
Colonne	3	4.3619	1.4540	4.8612	0.047861 *
Erreur	6	1.7946	0.2991		
Total	15	28.52			

Annexe 10. Tableau de l'Analyse de Variance (ANOVA) de la Hauteur des plantes mesurée 22 jours après le repiquage

S.V.	DL	SC	CM	F	Pr(>F)
Traitement	3	2327.67	775.89	23.2503	0.001054 **
Ligne	3	695.22	231.74	6.9443	0.022305 *
Colonne	3	327.41	109.14	3.2703	0.100981
Erreur	6	200.23	33.37		
Total	15	3550.52			

Annexe 11. Tableau de l'Analyse de Variance (ANOVA) du Diamètre des plantes mesuré 22 jours après le repiquage

S.V.	DL	SC	CM	F	Pr(>F)
Traitement	3	51.509	17.1697	18.7173	0.001895 **
Ligne	3	11.109	3.7028	4.0366	0.068905 .
Colonne	3	6.796	2.2654	2.4696	0.159429
Erreur	6	5.504	0.9173		
Total	15	74.92			

Annexe 12. Tableau de l'Analyse de Variance (ANOVA) de la Longueur des feuilles mesurée 15 jours après le repiquage

S.V.	DL	SC	CM	F	Pr(>F)
Traitement	3	22.1181	7.3727	166.060	0.00000367 ***
Ligne	3	12.4327	4.1442	93.343	0.00002003 ***
Colonne	3	6.5897	2.1966	49.474	0.0001264 ***
Erreur	6	0.2664	0.0444		
Total	15	41.41			

Annexe 13. Tableau de l'Analyse de Variance (ANOVA) de la Largeur des feuilles mesurée 15 après le repiquage

S.V.	DL	SC	CM	F	Pr(>F)
Traitement	3	6.4840	2.16132	38.6525	0.0002556 ***
Ligne	3	3.9653	1.32177	23.6382	0.0010076 **
Colonne	3	1.5153	0.50512	9.0334	0.0121086 *
Erreur	6	0.3355	0.05592		
Total	15	12.30			

Annexe 14. Tableau de l'Analyse de Variance (ANOVA) de la Longueur des feuilles mesurée 22 jours après le repiquage

S.V.	DL	SC	CM	F	Pr(>F)
Traitement	3	46.943	15.6475	18.4024	0.001983 **
Ligne	3	6.487	2.1622	2.5429	0.152469
Colonne	3	6.968	2.3227	2.7317	0.136287
Erreur	6	5.102	0.8503		
Total	15	65.50			

Annexe 15. Tableau de l'Analyse de Variance (ANOVA) de la Largeur des feuilles mesurée 22 jours après le repiquage

S.V.	DL	SC	CM	F	Pr(>F)
Traitement	3	10.7997	3.5999	13.3937	0.004557 **
Ligne	3	1.3016	0.4339	1.6143	0.282369
Colonne	3	2.4468	0.8156	3.0345	0.114741
Erreur	6	1.6126	0.2688		
Total	15	16.16			

Annexe 16. Tableau de l'Analyse de Variance (ANOVA) du Nombre de feuilles développées par plantes

S.V.	DL	SC	CM	F	Pr(>F)
Traitement	3	1378.20	459.40	17.7006	0.00220 **
Ligne	3	246.15	82.05	3.1614	0.10705
Colonne	3	497.42	165.81	6.3885	0.02686 *
Erreur	6	155.72	25.95		
Total	15	2277.49			

Annexe 17. Tableau de l'Analyse de Variance (ANOVA) du Nombre de plantes récoltées

S.V.	DL	SC	CM	F	Pr(>F)
Traitement	3	49.188	16.3958	20.1795	0.001549 **
Ligne	3	15.188	5.0625	6.2308	0.028370 *
Colonne	3	15.687	5.2292	6.4359	0.026422 *
Erreur	6	4.875	0.8125		
Total	15	84.94			

Annexe 18. Tableau de l'Analyse de Variance (ANOVA) de la Biomasse par plante

S.V.	DL	SC	CM	F	Pr(>F)
Traitement	3	0.0149823	0.0049941	174.2122	0.000003185 ***
Ligne	3	0.0018943	0.0006314	22.0262	0.001222 **
Colonne	3	0.0006712	0.0002237	7.8052	0.017080 *
Erreur	6	0.0001720	0.0000287		
Total	15	0.02			

Annexe 19. Tableau de l'Analyse de Variance (ANOVA) du Rendement par plante

S.V.	DL	SC	CM	F	Pr(>F)
Traitement	3	0.0099180	0.0033060	161.2683	0.000004002 ***
Ligne	3	0.0007785	0.0002595	12.6585	0.005264 **
Colonne	3	0.0003255	0.0001085	5.2927	0.040192 *
Erreur	6	0.0001230	0.0000205		
Total	15	0.01			

Annexe 20. Données brutes des calculs de la valeur ajoutée brute

No	Id.	Ligne	Colonne	Trait	Rdmt/1.35m ²	Rdmt/m ²	Rdmt/ha	PB/ha	Cout-semence/ha	Frais-labo	Cout-fertilisant/ha	CI (Cs+Fl+Cf)/ha	VA-brute/ha en HTG
1	L1C1	L1	C1	T1	0.85	0.63	6296.30	516674.07	1282.31	16000.00	0.00	17282.31	499391.76
2	L1C2	L1	C2	T3	2.40	1.78	17777.78	1458844.44	1282.31	16000.00	125220.46	142502.77	1316341.67
3	L1C3	L1	C3	T4	3.27	2.42	24222.22	1987675.56	1282.31	16000.00	110228.84	127511.15	1860164.41
4	L1C4	L1	C4	T2	2.80	2.07	20740.74	1701985.19	1282.31	16000.00	41710.75	58993.06	1642992.13
5	L2C1	L2	C1	T4	3.95	2.93	29259.26	2401014.81	1282.31	16000.00	110228.84	127511.15	2273503.66
6	L2C2	L2	C2	T2	3.10	2.30	22962.96	1884340.74	1282.31	16000.00	41710.75	58993.06	1825347.68
7	L2C3	L2	C3	T1	0.80	0.59	5925.93	486281.48	1282.31	16000.00	0.00	17282.31	468999.17
8	L2C4	L2	C4	T3	2.86	2.12	21185.19	1738456.30	1282.31	16000.00	125220.46	142502.77	1595953.53
9	L3C1	L3	C1	T2	3.25	2.41	24074.07	1975518.52	1282.31	16000.00	41710.75	58993.06	1916525.46
10	L3C2	L3	C2	T4	3.35	2.48	24814.81	2036303.70	1282.31	16000.00	110228.84	127511.15	1908792.55
11	L3C3	L3	C3	T3	2.85	2.11	21111.11	1732377.78	1282.31	16000.00	125220.46	142502.77	1589875.01
12	L3C4	L3	C4	T1	0.89	0.66	6592.59	540988.15	1282.31	16000.00	0.00	17282.31	523705.84
13	L4C1	L4	C1	T3	3.10	2.30	22962.96	1884340.74	1282.31	16000.00	125220.46	142502.77	1741837.97
14	L4C2	L4	C2	T1	1.01	0.75	7481.48	613930.37	1282.31	16000.00	0.00	17282.31	596648.06
15	L4C3	L4	C3	T2	3.93	2.91	29111.11	2388857.78	1282.31	16000.00	41710.75	58993.06	2329864.72
16	L4C4	L4	C4	T4	3.87	2.87	28666.67	2352386.67	1282.31	16000.00	110228.84	127511.15	2224875.52

Rdmt/1.35m² : Rendement en kg/1.35 m² ; **Rdmt/m²** : Rendement par m² ; **Rdmt/ha** : Rendement par hectare ; **PB/ha** : Produit brute par hectare ; **Cout-semence/ha** : Coût de semences par hectare ; **Frais-labo** : Frais d'analyses des échantillons de sol et de fumiers de volaille frais et composté ; **Cout-fertilisant/ha** : Coût de fertilisants par hectare ; **CI (Cs + Fl + Cf)/ha** : Consommations Intermédiaires par hectare ; **VA-brute/ha en HTG** : Valeur Ajoutée Brute par hectare en gourdes haïtiennes.

N.B. : Lors de la récolte, le taux de référence de la Banque de la République d'Haïti (BRH) a été de 110 HTG pour un dollar US.

Annexe 21. Planche de photos de préparation de sol



Annexe 22. Planche de photos du semis et de l'élevage des plantules en pépinière



Annexe 23. Planche de photos du repiquage des plantules en champ et de la reprise



Annexe 24. Planche de photos de la croissance des plants en champ



Annexe 25. Planche de photos de la croissance des plants en champ

