

UNIVERSITY OF YAOUNDE I

FACULTY OF SCIENCES

CENTRE FOR RESEARCH AND TRAINING
IN GRADUATE STUDIES IN LIFE, HEAL
AND ENVIRONMENTAL SCIENCES

RESEARCH AND DOCTORATE TRAINING
UNIT IN LIFE SCIENCES



UNIVERSITE DE YAOUNDE I

FACULTE DES SCIENCES

CENTRE DE RECHERCHE ET DE
FORMATION DOCTORALE EN SCIENCE
DE LA VIE, SANTE ET ENVIRONNEMENT

UNITE DE RECHERCHE ET DE
FORMATION DOCTORALE EN
SCIENCES DE LA VIE

Centre de biotechnologie

Laboratoire de microbiologie des sols

**Production du compost enrichi et association au
Rhizobium pour la croissance des légumineuses : cas du
haricot (*Phaseolus vulgaris*)**

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master en Microbiologie

Option : Sol et Environnement

Par

TCHANGA INEX FLAVIE

Licenciée ès-Sciences

Matricule : 16I2098



Sous la direction de :

AJEAGAH GIDEON AGHAINDUM

Professeur

Année académique : 2022/2023

DEDICACE

En mémoire de ma mère KWEKAM Clémentine.

REMERCIEMENTS

La conception et la finalisation de ce travail n'aurait été possible sans la collaboration, le soutien morale, matériel et financier de nombreuses personnes à qui j'ai l'honneur de remercier.

J'adresse un spécial remerciement à mon encadreur Pr. AJEAGAH Gideon AGHAINDUM, Professeur au Département de Biologie et Physiologie Animal et Chef de Division des Activités Académiques de la Recherche et de la Scolarité de l'Université de Yaoundé 1, pour la supervision académique, le soutien, les idées constructives, l'assistance et l'approvisionnement en équipement nécessaire pour la réalisation de ce travail de recherche.

Je remercie également le Professeur Jean Justin ESSIA NGANG, Chef du Département de Microbiologie et tous les enseignants du Département de Microbiologie pour la formation offerte et mon édification à la recherche.

Je remercie très sincèrement tous les membres du jury qui ont accepté de consacrer de leur temps à juger ce travail de recherche et grâce aux qui j'ai pu améliorer mes connaissances en même temps que ce manuscrit.

Je suis reconnaissante envers le Pr. FOKOM Raymond, Maître de Conférence, Université de Douala pour ses multiples conseils, son assistance dans l'analyse de certaines données ; Dr SONTSA-DONHOUNG Alain-Martial chargé de recherche à l'IRAD et MELI MIAFFO Kévine doctorante à l'Université de Yaoundé 1 pour l'encadrement, l'assistance et le suivie durant cette année de recherche.

Je suis très redevable à maman TCHANGA Madeleine Flavie pour tout le soutien, l'amour et l'encadrement durant mon parcours scolaire et académique.

J'exprime ma sincère gratitude à Isabelle, Ornelle, Cindy et tous mes promotionnaires pour l'accompagnement, le soutien et l'entraide durant la réalisation de ce travail de recherche.

J'exprime une immense gratitude à l'égard de maman SIEWE Monique, Docteur TCHAKOSSI Fabrice et Monsieur KAMENI Vincent pour leurs soutient morales et financières durant mon cursus académique.

Je désire exprimer ma reconnaissance envers madame NGANGOUM Florence Idelette pour les encouragements, les aides financières et morales durant ces années de recherche.

Je suis infiniment redevable à TIENKOUÉ GILDAS pour ses encouragements, son soutien moral et surtout financier durant la réalisation de ce travail de recherche.

SOMMAIRE

DEDICACE.....	
REMERCIEMENTS	i
SOMMAIRE	ii
LISTE DES FIGURES.....	iv
LISTE DES TABLEAUX.....	v
LISTE DES ANNEXES.....	vi
LISTE DES ABBREVIATIONS	vii
RESUME.....	viii
ABSTRACT	ix
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I : REVUE DE LA LITTERATURE.....	4
I.1 Généralité sur le compostage	5
I.1.1 Processus de compostage.....	6
I.1.2 Durée du compostage.....	9
I.2 Généralités sur le RHIZOBIA	9
I.2.1 Etablissement de la symbiose rhizobia-légumineuse.....	10
I.2.2 Les facteurs affectant l'établissement de la symbiose (cas du haricot)	11
I.2.2.1 Les facteurs abiotiques.....	11
I.2.2.2 Les facteurs biotiques	11
I.3 Généralité sur LE Haricot commun (<i>Phaseolus vulgaris</i>).....	11
I.3.1 Description botanique	12
I.3.2 Le cycle végétatif chez le haricot.....	13
I.3.3 Intérêts culturels de haricot.....	14
I.3.3.1 Intérêt agronomique	14
I.3.3.3 Intérêt économique.....	15
CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES	16
II.1 MATERIEL	17
II.1. 3 Matériel végétal et biologique	18
II.2 METHODES	20
II.2.1 Compostage	20
II.2.2 Caractérisation du compost	20
II.2.2.1 Paramètres physiques	20

II.2.2.3 Paramètres microbiologiques	22
II.2.3 Expérimentation.....	25
II.2.4 Collecte des données	26
II.2.5 Analyse statistique des données	28
RESULTATS ET DISCUSSION	29
III.1. Résultats	30
III.1.1 Production du compost.....	30
III.1.1.1 Analyse physico-chimique des différents échantillons de compost.....	30
III.1.1.2 Analyses microbiologiques des échantillons de compost	33
III.1.1.3 Résultats du test de phytotoxicité.....	38
III.1.2 Résultats de l'expérimentation	38
III.1.2.1 Analyses physicochimiques des échantillons des sols	38
III.1.2.2 Impact de l'association compost- <i>Rhizobium</i> sur la croissance de <i>Phaseolus vulgaris</i>	39
III.1.2.2.1 Impact sur les paramètres agronomiques	39
III.1.2.2.2 Impact de l'association du compost- <i>Rhizobium</i> sur les paramètres microbiologiques	42
III.1.2.2.3 Impact sur les paramètres biochimiques	43
III.2 DISCUSSION	44
III.2.1 Processus de compostage	45
III.2.2 Impact de l'association du compost et du <i>Rhizobium</i> sur la croissance de <i>Phaseolus vulgaris</i> (paramètres agronomique, microbiologique et biochimique)	46
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	48
REFERENCES.....	50
ANNEXES	A

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Compostage à ciel ouvert.....	6
Figure 2. Compostage en enclos.....	6
Figure 3. Variation de la température au cours du processus de compostage.....	7
Figure 4. Etablissement de la symbiose rhizobia-légumineuse.....	10
Figure 5. Principaux stades de développement chez le haricot.....	13
Figure 6. Site d'étude ; a : site compostage, b : site d'expérimentation	17
Figure 7. Matériel utilisé a : sol de litière Yaoundé-Olembé ; b : déchets de fruit (DF) ;	18
Figure 8: Matériel végétal (a : haricot commun) et biologique (b : isolat Nj5)	19
Figure 9. Mesure du pH (a) , de la température et de la conductivité électrique (b).....	21
Figure 10. Dispositif expérimental.....	26
Figure 11. Compost : a- compost initial ; b- compost final mature ;	30
Figure12. Variation de la température en fonction du temps au cours du processus	31
Figure 13. Variation du pH en fonction du temps au cours du processus de compostage	31
Figure 14. Variation de la conductivité électrique en fonction du temps au cours	32
Figure 15. Boîtes de pétri : a) croissance des champignons sur milieu PDA ; b) croissance des bactéries sur milieu YEMA.....	34
Figure 16. Observation microscopique de quelques morphotypes de champignons : a) champignon a hyphe non cloisonnés ; b) champignon a hyphe cloisonnés	36
Figure 17. Aspect microscopique (X1000) de quelques isolats bactériens : a) bacille Gram positif, b) cocci Gram négatif.....	38
Figure 18. Cinétique des tailles des plantes	40
Figure 19. Cinétique du nombre de feuilles des plantes de haricot.....	41
Figure 20. Cinétique des surfaces foliaire des plantes	41
Figure21. Effet de la nodulation et efficacité : a- nodulation chez le témoin ; b- nodulation chez le traité ; c- efficacité des nodules.	43
Figure 22. Dosage biochimique ; a) dosage de la chlorophylle, b) dosage de l'azote et la protéine totale.	44

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Caractéristique physicochimique du compost obtenu	32
Tableau 2 : récapitulatif des données du compost selon la norme de l’OMS	33
Tableau 3. Biomasse microbiennes	34
Tableau 4. Caractéristiques macroscopiques des champignons.....	35
Tableau 5. Caractéristiques microscopique des champignons présent dans le compost.....	36
Tableau 6. Caractéristiques morphologiques des bactéries.....	37
Tableau 7 : caractéristiques microscopiques des isolats	37
Tableau 8. Effet du compost sur la germination du haricot	38
Tableau 9. Paramètres physico-chimiques du sol d’expérimentation	39
Tableau 10. Biomasse des gousses fraîches et sèches.....	42
Tableau 11. Nodulation : nombres, poids et efficience.....	43
Tableau 12: Résultats du dosage de l’azote totale, protéine totale et chlorophylle.....	44

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Technique opté pour le mélange de la matière organique à composter.....	B
Annexe 2 : Test du taux d'humidité	B
Annexe 3 : Caractéristiques des isolats bactériens de l'expérimentation.....	B
Annexe 4 : Composition des milieux de culture	C
Annexe 5 : Aspect macroscopique de quelques morphotypes de champignons présent dans le compost.	C
Annexe 6 : Bactéries purifiés	D
Annexe 7 : Pesé et mélange du substrat et du compost.....	D
Annexe 8 : Traitements ayants reçu le compost et le Rhizobium par rapport au témoin 30 jours après le semis.	E
Annexe 9 : Fleures et feuilles du haricot commun.....	F
Annexe 10 : Impacte de l'association du compost au Rhizobium sur les racines de <i>Phaseolus vulgaris</i>	F
Annexe 11 : Maladies et ravageurs de <i>Phaseolus vulgaris</i>	G

LISTE DES ABBREVIATIONS

BFA	:	Bactéries Fixatrices d’Azote
BNL	:	Bactérie Nodulant les Légumineuses
IRAD	:	Institut de Recherche Agricole pour le Développement
LPS	:	Lipopolysaccharide
NA	:	Nutrient Agar
PDA	:	Potatos Destrose Agar
PGPB	:	Plant Growth Promoting Bacteria
pH	:	potentiel d’Hydrogène
SCL/LAS	:	Sandy Clay Loam/Limono-Argilo-Sableux
SL/LS	:	Sandy Loam/Limono-Sableux
TGAP	:	Taxe Générale sur les Activités Polluantes
YEMA	:	Yeast Extract Manitol Agar.
YEMB	:	Yeast Extract Mannitol Broth
OMS	:	Organisation Mondial de la Santé
MOT	:	Matière Organique Totale
COT	:	Carbone Organique Totale

RESUME

La valorisation des déchets est le moyen le plus intéressant pour pallier aux problèmes de santé publique et d'environnement dans les pays en voie de développement tels que le Cameroun. L'objectif générale de notre étude était de produire un compost en utilisant les déchets industriels tels que la bagasse de canne à sucre, le drèche de maïs, les déchets de fruits, la levure de bière et la cendre de bois ; puis l'associer à un bio fertilisant (*Rhizobium*) afin de tester l'efficacité de cette association sur le haricot commun. Pour y parvenir, trois objectifs spécifiques ont été énumérés et un dispositif expérimental mis en place pour réaliser l'expérimentation. Le compost produit était de bonne qualité avec une couleur brun foncé, une texture semblable à la terre et une odeur d'humus ce qui a répondu à l'objectif spécifique 1 qui était de produire le compost. Le processus de compostage présentait la courbe classique de température de compostage : pendant la phase thermophile, la température atteignait environ 60°C à la 6ème semaine de compostage. Le compost produit était riche en minéraux tels que : Mg, Ca, N, P, K et C avec un rapport C/N de 14,7 et un pH basique (8,8) indiquant la maturité conformément au nom de OMS. L'analyse microbiologique a révélé l'abondance des champignons à hyphes cloisonnés et des bactéries à Gram positive ce qui a répondu à l'objectif spécifique 2 qui était de caractériser le compost. L'ajout de la cendre de bois et de la levure de bière a permis de relever le pH, faciliter la montée en température, et la dégradation de la matière organique. Après le compostage, des proportions de compost (1/4, 2/4 et 3/4) mélangé à de la terre non stérile ont été d'une part inoculés d'une quantité standard de *Rhizobium* (10ml après germination et démarrage des plantes) et d'autre part tester sans inoculation de *Rhizobium*. Le taux de germination était compris entre 60% et 80% indiquant l'absence de phytotoxicité. Les cinétiques de la taille des plantes, du nombre de feuille et de la surface foliaire ont révélé que les plantes ayant reçu le compost et le *Rhizobium* ont une croissance plus rapide par rapport au témoin. Le résultat de l'analyse statistique des données montre que l'association du compost au *Rhizobium* a un impact réel très remarquable sur la croissance du haricot commun par l'augmentation hautement significative du nombre de nodule avec une réponse à la nodulation allant jusqu'à 85%, de la quantité d'azote et de protéine de 5 à 6 fois par rapport au témoin, et la capacité de la plante a absorbé la chlorophylle ce qui a répondu à l'objectif spécifique 3 qui était d'évaluer l'impact de l'association du compost et du *Rhizobium* sur la croissance du haricot. Le traitement ayant le meilleur résultat a été le 2/4 de compost avec le *Rhizobium*.

Mots clés : Compost, Déchets industriels, *Rhizobium*, *Phaseolus vulgaris*, nodulation.

ABSTRACT

Waste recovery is the most interesting way of alleviating public health and environmental problems in developing countries such as Cameroon. The general aim of our study was to produce compost using industrial waste such as sugarcane bagasse, maize dregs, fruit waste, brewer's yeast and wood ash, and then to combine it with a bio-fertiliser (*Rhizobium*) in order to test the effectiveness of this combination on common beans. To achieve this, three specific objectives were listed and an experimental set-up set up to carry out the experiment. The compost produced was of good quality, with a dark brown colour, an earthy texture and a humus-like odour, thus meeting specific objective 1, which was to produce compost. The composting process followed the classic composting temperature curve: during the thermophilic phase, the temperature reached around 60°C by the 6th week of composting. The compost produced was rich in minerals such as: Mg, Ca, N, P, K and C with a C/N ratio of 14.7 and a basic pH (8.8) indicating maturity in accordance with the WHO nome. Microbiological analysis revealed the abundance of cloisonné hyphae fungi and Gram-positive bacteria, which fulfilled specific objective 2, which was to characterise the compost by determining physicochemical and microbiological parameters. The addition of wood ash and brewer's yeast raised the pH, facilitated the temperature rise and the degradation of the organic matter. After composting, proportions of compost (1/4, 2/4 and 3/4) mixed with non-sterile soil were inoculated with a standard quantity of *Rhizobium* (10ml after germination and removal of plants) and tested without *Rhizobium* inoculation. The germination rate was between 60% and 80%, indicating the absence of phytotoxicity. The kinetics of plant size, number of leaves and leaf area revealed that plants inoculated with compost and *Rhizobium* grew faster than the control. Statistical analysis of the data showed that the combination of compost and *Rhizobium* had a very remarkable impact on common bean growth, with a highly significant increase in the number of nodules and a response to nodulation of up to 85%, the quantity of nitrogen and protein by 3 to 6 times compared with the control, and the plant's capacity to absorb chlorophyll, which met specific objective 3, which was to assess the impact of the combination of compost and *Rhizobium* on bean growth by determining the agronomic, microbiological and biochemical parameters. The treatment with the best results was 2/4 compost with *Rhizobium*

Key words: Compost, Industrial waste, *Rhizobium*, *Phaseolus vulgaris*, nodulation

INTRODUCTION

Le développement des activités humaines et industrielles concourt à l'augmentation de la production des déchets, qui ont des impacts néfastes sur la santé humaine et sur les ressources en eau. La gestion de ces déchets et leur élimination devient une obligation pour les pays qui font faces à ce problème majeur. Au Cameroun elle est encadrée par : des organismes institutionnels de planification, d'orientation et de contrôle composé des ministères ; des organismes d'exécution et de gestion qui recouvrent les collectivités territoriales décentralisées et des acteurs non gouvernementaux ; des organismes de financement constitué des bailleurs de fond et d'un cadre juridique et réglementaire en charge des conventions, des lois, des décrets et des arrêtés (Bougnom, 2019^a). Malgré le fait d'être une source de nuisances pour l'environnement, les déchets constituent un gisement important pour la récupération des matières premières. La valorisation des déchets reste le moyen le plus intéressant à travers les procédés de compostage ou de méthanisation. Le compostage est le plus répandu car de moindre cout et un moyen efficace de réduction qui conduit à leur valorisation et à la gestion de la matière organique.

Le compostage étant plus répandu car de moindre cout, est un procédé de transformation aérobie par les microorganismes de matières fermentescibles dans des conditions contrôlées, Il permet l'obtention d'une matière fertilisante stabilisée riche en composés humiques (le compost) susceptible d'être utilisé s'il est de qualité suffisante, en tant qu'amendement organique améliorant la structure et la fertilité des sols (Bougnom, 2019^b). Elle réduit l'utilisation des produits chimiques et sa valeur fertilisante agronomique est caractérisée par la teneur en matières organique, en éléments minéraux majeurs et en oligo-éléments (Feix, 2007).

Cependant, l'utilisation des microorganismes bénéfiques tels que le *Rhizobium* comme biofertilisant est la méthode d'amendement chez les légumineuses la plus révolutionnaire en agriculture de nos jours. Ces *Rhizobium* connus comme fixateurs symbiotiques de l'azote atmosphérique contribue à la diminution de la pollution générée par les produits agrochimiques. Ils possèdent des propriétés permettant de stimuler la croissance des plantes parmi lesquels la synthèse des hormones de croissance, la solubilisation du phosphore inorganique et l'amélioration de la tolérance au stress dû à la sécheresse, la salinité, les métaux lourd et les excès des pesticides. Ils possèdent en plus la capacité de diminuer ou prévenir les effets causés par des micro-organismes pathogènes.

L'association compost-*Rhizobium* a été trouvé pour augmenter la croissance des plantes à différents stades tels que la germination, l'amélioration des graines, l'augmentation de la taille

des plants, les teneurs en chlorophylles des feuilles, le rendement en grain et les teneurs en protéines (Eci et al., 2017).

A cet effet, la question de recherche est de savoir : comment est-ce que le compost enrichi associé au *Rhizobium* peut optimiser la formation des nodules chez le haricot ? l'hypothèse qui en découle est « Le compost, par sa qualité de fertilisant améliore la structure, les propriétés biologiques, les compositions chimiques et physiques du sol ; associé au *Rhizobium* optimisera la formation des nodules et par conséquent favorisera la croissance des plantes par l'activité fixatrice d'azote. ». Ainsi, le présent travail a pour objectif général d'évaluer l'impact du compost associé au *Rhizobium* sur la croissance du haricot (*Phaseolus vulgaris*). Plus spécifiquement, ce travail consiste à :

- Produire un compost à base des déchets organiques industriels enrichi à la levure de bière et la cendre de bois ;
- Caractériser le compost en déterminant ses paramètres physicochimiques et microbiologiques ;
- Évaluer l'impact du compost enrichi associé au *Rhizobium* sur la croissance du haricot commun (*Phaseolus vulgaris*).

CHAPITRE I : REVUE DE LA LITTÉRATURE

I.1 GENERALITE SUR LE COMPOSTAGE

Le compostage est un processus de décomposition aérobie de matières organiques par les microorganismes en condition contrôlée pour obtenir un produit stable semblable à l'humus utilisable en agriculture (Bougnom, 2019). Ce processus, qui s'applique à des substrats solides mais à humidité élevée, est caractérisé par une élévation naturelle de température, une dégradation de la biomasse en aérobiose, des pertes de masse importantes et la présence d'activités microbiologiques très efficaces. La transformation de la matière organique s'accompagne d'émissions gazeuses et conduit à la synthèse de matériaux stables et riches en substances humiques. De ce fait, il permet d'éviter la pollution des sols due à l'épandage, tout en fournissant un produit dont l'application améliore la structure du sol, sa capacité de rétention des nutriments, et ses qualités comme support de culture (Robertson et Morgan, 1995).

Ainsi, la valeur agronomique du compost est indéniable du point de vue matière organique et des éléments nutritifs sont libérés au cours du processus (Mamo et al, 1999 ; Mays, 2002). Les plus importants facteurs affectant le succès de l'utilisation d'un compost comme amendement agricole sont les degrés de stabilité et de maturité de ce dernier (Said-Pullicino et al, 2007). Il a été rapporté que l'apport d'un compost immature dans un sol engendre des effets négatifs sur la germination, la croissance et le développement des plantes (Tiquia et al, 1997). Les méthodes d'évaluation de la maturité du compost sont nombreuses, car il est impossible de trouver un seul test qui puisse valablement apprécier ce critère. L'utilisation de plusieurs indicateurs tels que le rapport C/N, le test de germination, la croissance des plantes s'avère nécessaire (Said-Pullicino et al, 2007). Il existe deux type fondamentaux de techniques de compostage : le compostage à ciel ouvert et le compostage en réacteur fermé,

❖ Compostage à ciel ouvert ou en andain

Les andains peuvent se présenter sous forme triangulaire ou tabulaire ou être contenu dans une structure fermée ou non (casiers béton, couloirs, tunnel béton ou biodôme, bennes, cylindres, etc.). Compte tenu de leur coût, les casiers, tunnels et autres cellules (parfois fermées) sont réservés à la phase de biodégradation active (« fermentation »). Les andains tabulaires sont en général mis en place lorsque la plateforme est équipée d'un retourneur d'andains entraînant un déplacement latéral de la matière. Les andains triangulaires et tabulaires dominent en compostage lent. Les installations de compostage accéléré à l'air libre utilisent également l'andain tabulaire pour optimiser l'espace ou procéder au déplacement des matières en

fermentation à l'aide d'un retourneur d'andains. Les casiers et tunnels, qui permettent d'optimiser l'espace disponible, sont dominants dans les bâtiments. C'est la méthode la plus pratiquée, car la plus simple et la plus économique à mettre en œuvre. Elle est particulièrement bien adaptée aux traitements des déchets verts. Les andains, d'une hauteur de l'ordre de 2 à 3 mètres, sont retournés périodiquement au chargeur ou à l'aide d'un retourneur d'andain, en particulier les premières semaines durant la phase active de compostage. La durée de traitement, maturation comprise, est de plusieurs mois (figure 1).



Figure 1. Compostage à ciel ouvert

❖ Compostage en réacteur fermé

Ce procédé s'apparente au compostage en casier, mais avec un niveau de confinement supérieur. Chaque tunnel ou caisson constitue un réacteur fermé et piloté de façon autonome en termes d'aération et de gestion de l'humidité. Il est utilisé notamment pour les biodéchets industriels ou ménagers (issus de collecte sélective), particulièrement fermentescibles (figure 2).



Figure 2. Compostage en enclos

I.1.1 Processus de compostage

Le processus de compostage se produit dû à l'activité des micro-organismes (bactéries, champignons, actinomycètes) et d'autres organismes plus grands tels que des vers et des insectes. Ceux-ci nécessitent certaines conditions pour pouvoir vivre. Elles comprennent

l'humidité et l'air. Pour faire du compost de la façon la plus efficace, il faut que les micro-organismes soient en mesure de travailler le mieux possible. C'est à dire que les quatre facteurs suivants doivent être combinés d'une façon optimale : type de matière organique, air, humidité, température. Le taux de l'acidité (pH) est souvent mentionné aussi comme facteur déterminant. L'acidité dépend de l'apport d'air et d'humidité. Un tas de compost qui est bien construit deviendra rarement trop acide. Le processus de compostage sera optimal lorsque : les matériaux variés qui ont différentes vitesses de décomposition sont associés, les différents matériaux sont bien mélangés, la taille du tas varie entre 1 mètre sur 1 et 3 mètres sur 3. Ceci permet de maintenir la température à un niveau constant à l'intérieur du tas. Un bon processus de décomposition passe par 4 phases consécutives : une phase d'échauffement (fermentation), une phase thermophile, une phase de refroidissement, une phase de maturation. Ces différentes phases sont difficiles à discerner les unes des autres parce que le processus se déroule très progressivement. Plusieurs sortes de micro-organismes assurent au cours de chacune de ces phases la transformation de la matière organique en compost (figure 3).

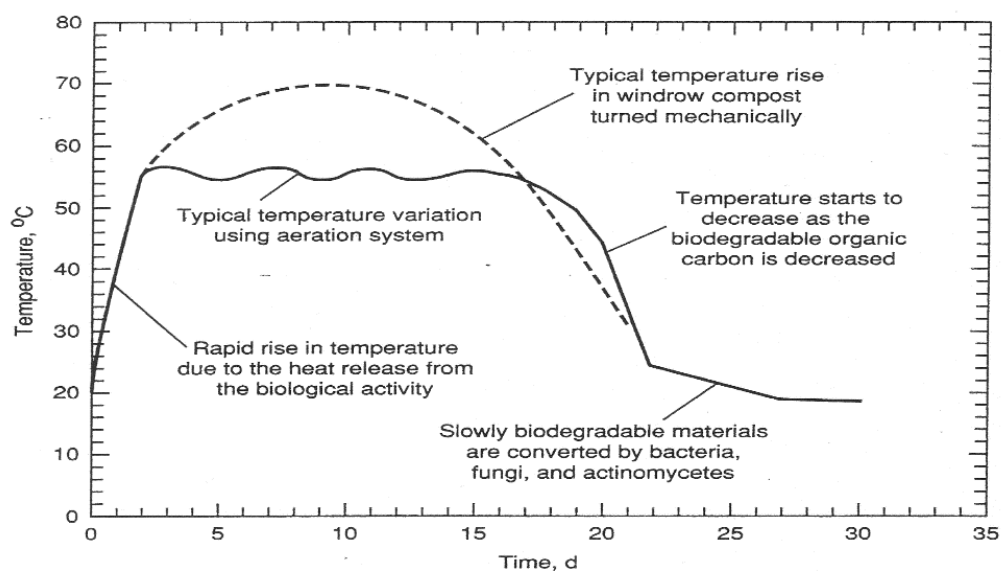


Figure 3. Variation de la température au cours du processus de compostage

Phase d'échauffement et thermophile

Au cours des deux premières phases du compostage, on assiste à une production de chaleur dans le tas de compost. C'est ce qu'on appelle fermentation, et c'est le résultat de la décomposition des structures de fibres dures et complexes de la matière organique. C'est au centre du tas de compost que ce processus de fermentation (décomposition) est le plus important. Pour bien faire démarrer la phase de fermentation, il est important de considérer un certain nombre d'aspects. Premièrement, le tas de compost doit se composer de différentes

sortes de matériaux organiques. Deuxièmement, il faut que les micro-organismes appropriés soient présents. Troisièmement, il est très important qu'il y ait une quantité suffisante d'oxygène et d'eau. Si ces trois conditions sont réunies, la production de chaleur commencera rapidement. Au cours de la fermentation, les micro-organismes se multiplient et se transforment rapidement, ce qui augmente la production de chaleur. C'est ainsi que commence un processus qui s'accélère de lui-même. La phase de fermentation débute le plus souvent au bout de 4 à 5 jours et peut durer 1 à 2 semaines.

La fermentation est maximale lorsque la température dans le tas de compost est de 60-70°C. Des températures trop élevées peuvent détruire les micro-organismes utiles et stopper le processus de décomposition. La fermentation a, grâce à sa température élevée, également une action purifiante. Un certain nombre de germes pathogènes (pour l'homme, les animaux ou les plantes) qui se trouvent dans la matière organique sont détruits.

Une façon simple de savoir si le processus de fermentation a commencé est : environ cinq jours après avoir achevé le tas de compost ou après l'avoir retourné pour la dernière fois, y enfoncer un bâton jusqu'au centre. L'y laisser de 5 à 10 minutes. Le tâter dès qu'il est retiré du tas. Il doit être nettement plus chaud que la température du corps (de 60 à 70°C).

Phase de refroidissement

La phase de fermentation se transforme progressivement en phase de refroidissement. La décomposition a lieu sans dégagement de chaleur important, si bien que la température du tas de compost baisse lentement. Au cours de cette phase, de nouvelles sortes de micro-organismes transforment les composants organiques en humus. Le tas reste moite et chaud en son centre, et la température baisse de 50°C à environ 30°C. En régularisant la température ainsi que l'apport d'air et d'eau, on peut accélérer ou ralentir le processus. La durée de la phase de refroidissement dépend de la manière dont le tas est construit, des matériaux utilisés, de l'entretien du tas, du climat, etc. Le plus souvent, elle dure quelques mois, mais dans les conditions les plus défavorables, elle peut durer jusqu'à un an.

Phase de maturation

Dans cette phase finale du processus de décomposition, la température baisse jusqu'à atteindre la même température que le sol, selon le climat entre 15 et 25°C. En plus des micro-organismes déjà cités, on voit intervenir au cours de cette phase des animaux un peu plus gros qui vivent dans le sol, ce sont surtout les vers de terre qui se nourrissent de matières organiques fortement décomposées, et contribuent ainsi au processus de décomposition. Des régions

tropicales aux régions semi-arides, ce sont surtout les termites qui jouent un rôle important, bien qu'elles puissent causer aussi beaucoup de problèmes. On ne peut jamais vraiment dire que cette phase est terminée ; le processus de décomposition peut continuer indéfiniment à un rythme très lent. Le compost est prêt à l'utilisation quand il est meuble et quand il a l'aspect d'une belle terre organique brune/noire.

I.1.2 Durée du compostage

Le compostage est terminé lorsque les matériaux compostables se sont entièrement transformés en humus. La stabilité du compost peut être testée en remouillant le matériau pour voir s'il se réchauffe à nouveau, révélant ainsi des matériaux encore non incrustés dans le tas. La plupart des systèmes de compostage aérobie comprennent une période de compostage actif, généralement de 21 à 60 jours, et une période de durcissement, généralement de 6 à 24 mois. (UNEP-IETC et *al.*, 1996).

I.2 GENERALITES SUR LE RHIZOBIA

Les rhizobia désignent communément les bactéries du sol et de la rhizosphère capable d'établir des symbioses fixatrices d'azote avec des légumineuses et de favoriser leur croissance dans les sols pauvres en azote (Sprent *et al.*, 2017). Ce sont des bactéries Gram négatifs, non sporulantes, qui se distingue sous deux formes : la forme non bactéroïde ou végétative. Les bactéries sont mobiles par un seul flagelle polaire ou par deux à six flagelles ; la forme bactéroïde, à l'intérieur des cellules du cortex racinaire, les Rhizobia se transforment en bactéroïde de forme branchée, sphérique ou bacilles (Perry et *al.*, 2004). Ce sont des bactéries chimioorganotrophes, aérobies ou micro-aérophiles et peuvent se contenter d'une faible tension en oxygène (pression de 0,01 atm) se développant facilement dans les milieux de culture proche de la neutralité (pH situé entre 6 et 7) mais plus exactement à 6,8 avec une source de carbone et une source d'azote. La température idéale de croissance se situe entre 28-30°C (Somasegaran et Hoben, 1994).

En fonction de leurs modes d'action, les rhizobia sont classées en quatre groupes suivants : les biofertilisants, qui assurent l'augmentation de la disponibilité d'éléments nutritifs pour la plante ; les phyto-stimulateurs qui produisent des phytohormones ; les rhizoremédiateurs qui dégradent les polluants organiques ; les bio-pesticides qui contrôlent les affections à travers la production de métabolites fongicides et antibiotiques (Somers et *al.*, 2004). De nombreux genres sont recensés parmi les rhizobia à l'instar des *Rhizobiums*, *Bradyrhizobium*, *Sinorhizobium*...

Les espèces de rhizobia n'infectent et n'induisent des nodules que chez des hôtes spécifiques. Par exemple, la luzerne est la plante hôte de *Sinorhizobium meliloti* alors que le soja est la plante hôte de *Bradyrhizobium japonicum*. Ce processus complexe implique des molécules qui reconnaissent la plante hôte, appelées lectines, et la fixation du rhizobia sur des sites spécifiques des poils radiculaires.

I.2.1 Etablissement de la symbiose rhizobia-légumineuse

Dans la rhizosphère, les racines végétales synthétisent des molécules qui sont généralement des flavonoïdes et des acides aminés (opines, octropines) qui stimulent la multiplication des bactéries fixatrices d'azote (rhizobia) et donc attirent ces bactéries vers les poils absorbants des racines. Au contact bactéries-racines, il s'effectue une reconnaissance entre les molécules de la racine et celles de la bactérie appelée "dialogue moléculaire" à travers l'interaction polysaccharides bactériens et lectines des légumineuses. C'est à ce niveau que se réalise la spécificité des Bactéries Nodulant les Légumineuses (BNL) - espèce de légumineuse. A l'issue de ce dialogue, il y a compatibilité ou non entre les rhizobia et la racine de la légumineuse. Chez certaines espèces de légumineuses, les rhizobia entrent par les blessures ou ouvertures (groupe de l'arachide) ; mais chez la plupart, cela s'effectue à travers le poil absorbant qui s'incurve ; il se développe ensuite un "cordon d'infection" dans lequel évoluent les bactéries dans la racine. Vers les tissus racinaires et dans les cellules, les rhizobia se différencient (augmentation de volume et polyploïdisation) et entraîne des modifications morphologiques et physiologiques des rhizobia et une énorme augmentation de la taille des cellules de la racine qui s'hypertrophient, se différencient pour former les nodules. (Nwaga, 2018) (figure 4).

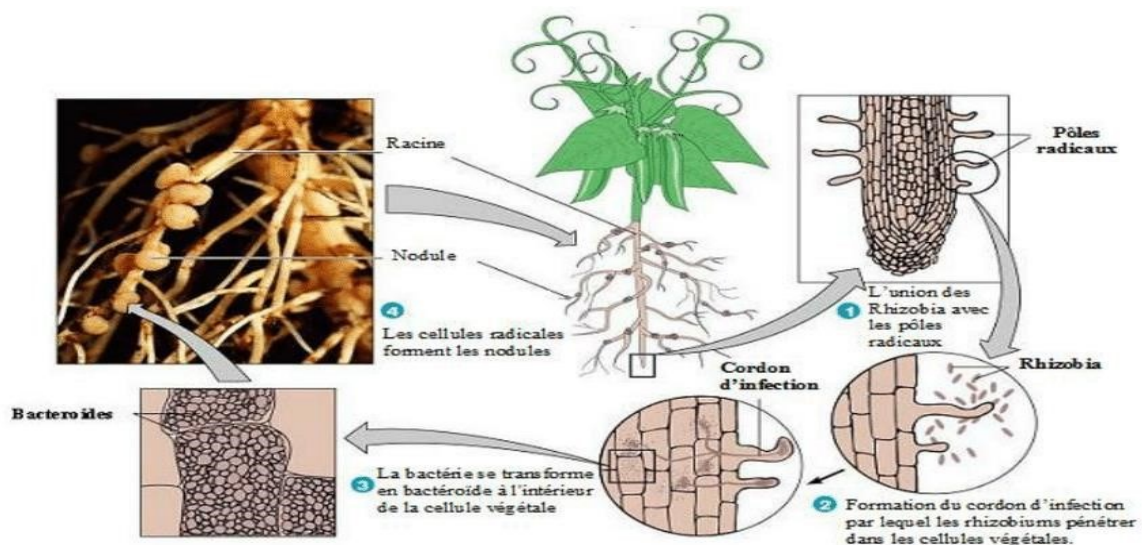


Figure 4. Etablissement de la symbiose rhizobia-légumineuse

I.2.2 Les facteurs affectant l'établissement de la symbiose (cas du haricot)

I.2.2.1 Les facteurs abiotiques

Chez le haricot les principales contraintes de l'établissement de la symbiose rhizobienne sont :

La température où des températures de 35 °C ou plus peut affecter la symbiose de *Phaseolus vulgaris*-*Rhizobium* (Hungria M. et Franco, 1993).

La salinité inhibe l'établissement de la symbiose *Rhizobium*-légumineuse au cours des différentes étapes du processus et en général aux premières étapes de la nodulation (Zahran, 1999). En effet, la croissance des *Rhizobiums* du sol peut être affectée par le stress salin en limitant la colonisation des racines, l'inhibition des infections, la production et le fonctionnement des nodules (Mustafakulova et Qobilov, 2020);

Le stress hydrique (la sécheresse) réduit l'activité de la nitrogénase et modifie la structure des nodules (Fenta et *al.*, 2020). Une faible disponibilité du phosphore entraîne une diminution de la biomasse nodulaire et une faible fixation biologique du N₂ chez le haricot commun (Tembo et *al.*, 2019).

I.2.2.2 Les facteurs biotiques

Les facteurs biotiques tels que : les génotypes des plantes hôtes et les souches microbiennes, l'absence de souche de *Rhizobium* efficient (Saidi et *al.*, 2014), les maladies causées par les bactéries, les virus et les mycoses, ainsi que des infections par des nématodes qui s'attaquent aux nodosités perturbent l'établissement de la symbiose. Ils affectent le développement des plantes, en altérant la formation et la croissance des nodules. En plus de ces contraintes qui entrave l'établissement de la symbiose haricot-*Rhizobium* entraînant ainsi un faible rendement (Beebe et *al.*, 2012), le haricot (*Phaseolus vulgaris* L.) est une légumineuse à faible potentiel de fixation d'azote atmosphérique (Farid et Navabi, 2015

I.3 GENERALITE SUR LE HARICOT COMMUN (*Phaseolus vulgaris*)

Le haricot commun (*Phaseolus Vulgaris* L.), est une espèce de plantes annuelles de la famille des *Fabaceae* (Légumineuses, Papilionacées), du genre *Phaseolus*, couramment cultivée comme légume. On en consomme soit le fruit (la gousse), soit les graines, riches en protéines. Le terme « haricot » s'applique à l'ensemble des parties consommées (gousse ou graine).

I.3.1 Description botanique

Selon la classification décrite par Chaux et Foury (1994), la position taxonomique du haricot est la suivante :

Règne : Plantae

Super division : Spermatophyta

Division : Magnoliophyta

Classe : Magnoliopsida

Sous classe : Rosidae

Ordre : Fabales

Famille : Fabaceae

Genre : *Phaseolus*

Espèce : *Phaseolus vulgaris* L.

Le haricot est une plante herbacée, annuelle, qui est composée de :

Le port (tige)

Selon le type de port on distingue deux grands groupes (Ecoport, 2013) : Les haricots grimpants (à croissance déterminée, dits haricots à rames) à port volubile et les haricots nains (à croissance indéterminée) à port érigé et plus ramifié, prenant un port buissonnant ou dressé, dont la taille ne dépasse pas 60 cm de haut et qui est la forme privilégiée en grande culture.

Les feuilles

Les feuilles sont composées de 3 folioles (trifoliées) ovales se terminant en pointe, mesurant de 7.5 à 14 cm. Les deux premières feuilles au sommet de l'hypocotyle sont simples. Les feuilles suivantes sont composées et disposées de façon alterne (Kroll, 2000).

Les fleurs

Les fleurs sont de type papilionacé, blanche, rose, rouge ou violacées selon les variétés (Ecoport, 2013). Elles sont groupées en grappes de 4 à 10 fleurs, naissant à l'aisselle des feuilles. Chaque fleur donne naissance à une gousse.

Les fruits

Les fruits sont des gousses « cosses » déhiscentes de forme et de longueur variable refermant 4 à 8 graines. En particulier leur section peut être cylindrique, ovale ou aplatie

(Wortmann, 2006). Chez certaines variétés, se développent des structures fibreuses qui forment à un stade de maturité plus ou moins avancé le « fil » et le « parchemin ».

Les graines

Les graines chez le haricot sont de taille, de forme et de couleur variable selon les variétés. Respectivement, Le des graines pour les petites sont inférieur à 25 g/100 graines, les moyennes oscillent entre 25 à 40 g/100 graines et les grandes sont supérieures à 40 g/100 graines, dont la forme la plus commune est dite « réniforme », typique des haricots. Les graines de haricot sont brillantes et opaques dont la couleur est : blanche, crème, beige, jaune, brune, marron, rose, rouge, pourpre ou violet et noir. La germination des haricots est dite épigée (les cotylédons émergent au-dessus du sol) et les graines peuvent garder leur faculté germinative de 3 à 5 ans (Nyabyenda, 2005).

Le système racinaire

La plante se développe à partir d'une racine principale non dominante qui est très rapidement complétée de racines latérales. Le système racinaire explore principalement la zone entre 20 et 30 cm mais les racines peuvent atteindre une profondeur variante entre 45 et 70 cm. La partie racinaire du haricot est le siège du phénomène de nodulation, qui sont des excroissances. Des variétés plus récentes sont issues de croisements entre les deux groupes.

I.3.2 Le cycle végétatif chez le haricot

La durée des stades de développement varie considérablement en fonction de la variété et des conditions environnementales (Adams et al., 1985). Le cycle de végétation se déroule pendant les périodes les plus chaudes de l'année. Sous climat méditerranéen, le semis s'effectue généralement à partir de la fin d'avril allant jusqu'à la fin mai. Le haricot est une plante très sensible au froid. Les fortes chaleurs excédant 30 °C sont préjudiciables, faisant avorter les fleurs (Silva et al., 2020).

CYCLE DE VIE D'UNE PLANTE DE HARICOT

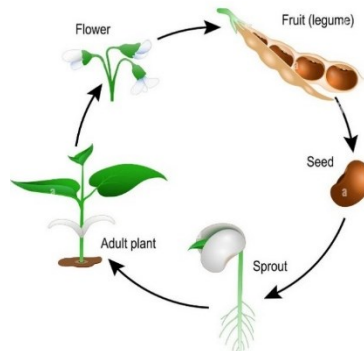


Figure 5. Principaux stades de développement chez le haricot

I.3.3 Intérêts cultureux de haricot

I.3.3.1 Intérêt agronomique

Sur le plan agronomique et en tant que légumineuse, le haricot peut s'intégrer dans les systèmes de production biologique qui utilisent la biofertilisation. En effet, sa culture laisse des reliquats azotés. A cet effet, il est utilisé avec d'autres légumineuses dans les systèmes des rotations et d'associations culturales avec d'autres cultures notamment les céréales dans le but d'assurer la meilleure efficacité d'utilisation des ressources en azote (Canado *et al.*, 2003). Ainsi le maïs (*Zea mays* L.) est principalement cultivé en culture intercalaire avec les haricots à rame comme plante tuteur (Nyabyenda, 2005). L'effet ne se limite pas au support mais pour une amélioration réciproque des deux cultures (Nassary, 2020), elle améliore l'approvisionnement en protéines du fourrage cultivé à la ferme.

I.3.3.2 Intérêt alimentaire

La culture du haricot est destinée à la consommation humaine (les gousses ou graines sont consommées à l'état frais ou les graines à l'état sec) et à l'alimentation des animaux (les résidus de cultures tels que les gousses et tiges séchées (paille) (Kakon *et al.*, 2016.). En effet, le haricot constitue un aliment de base pour près de 500 millions d'êtres humains par sa richesse en protéines (25% environ) (Pujola *et al.*, 2007). Sur le plan nutritionnel et comme beaucoup de légumineuses à graines, ils apportent un sentiment de satiété chez les patients atteints de syndromes métaboliques (Reverri *et al.*, 2017). Ils sont une source riche et peu coûteuse de protéines, d'acides aminés, de glucides, de fibres alimentaires, de vitamines (Kan *et al.*, 2018), d'acides phénoliques et de flavonoïdes (Giusti *et al.*, 2017). Via les protéines, leur consommation contribue à la diminution du taux de cholestérol et à la régulation du diabète (Toews et Wang, 2013), tandis que la composition phénolique réduit l'incidence du cancer (Yang *et al.*, 2020). La consommation de haricot réduit le risque d'accident cardio-vasculaire (Gomes *et al.*, 2020) et d'autres effets ont été rapporté comme anti-obésité (Shi *et al.*, 2020), antioxydants et anti-inflammatoires (Carbas *et al.*, 2020). Les acides phénoliques réduisent le risque de maladies dans le tube digestif (Moreno-Jiménez *et al.*, 2015) et la quantité élevée d'amidon résistant réduit l'indice glycémique et le risque de maladies chroniques (Mojica *et al.*, 2017). Sur le plan industriel, les haricots sont utilisés dans le développement de nombreux produits alimentaires en tant que stabilisateurs de produits surgelés et en tant que conservateurs alimentaires en raison de leur stabilité thermique plus élevée (Carbas *et al.*, 2018).

I.3.3.3 Intérêt économique

Dans le genre *Phaseolus*, le haricot commun (*Phaseolus vulgaris* L.) est économiquement la plus importante avec plus de 90% de la production mondiale (Broughton et al., 2003), où 35 millions d'hectares sont cultivés par an dans le monde (FAOSTAT, 2019) en comprenant différents types de haricot commun de couleurs et de tailles distinctes. Le Brésil, les États-Unis et le Mexique sont les trois les plus grands producteurs de haricots communs au monde, contribuant à environ 5,6 millions de tonnes de production annuelle suivi de l'Afrique qui est également un producteur de haricot commun qui représente chez ces derniers une culture de subsistance importante pour les petits exploitants agricoles (Petry et al., 2015).

CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES

II.1 MATERIEL

II.1.1 Présentation des sites de l'étude

La production du compost a été réalisée à l'animalerie de l'Université de Yaoundé 1 ; l'expérimentation en pots a été également réalisée à l'Université de Yaoundé 1 au jardin botanique à 306 mètre du lieu de compostage situé dans le département du Mfoundi, région du Centre Cameroun. Les différentes analyses réalisées afin de recueillir un certain nombre de paramètre ont été réalisées au laboratoire de sols su Centre de Biotechnologie de l'Université de Yaoundé 1 situé à Nkolbisson, région du centre Cameroun.



Figure 6. Site d'étude ; a : site compostage, b : site d'expérimentation

Le sol utilisé pendant l'expérimentation provenait d'une jachère de forêt Yaoundé – Olembé.

II.1.2. Matériel de production du compost et substrat

Pour la réalisation de notre compost, la matière première sollicitée a été les déchets industriels à savoir : la drèche (déchets de brasseries), les déchets de jus de fruits (déchets de DRINK BIOCAM) tel que : ananas, pommes, corossols, foléré, carottes..., la bagasse de canne à sucre (déchets de SOSUCAM), la cendre de bois et de la levure de bière (Figure 7).

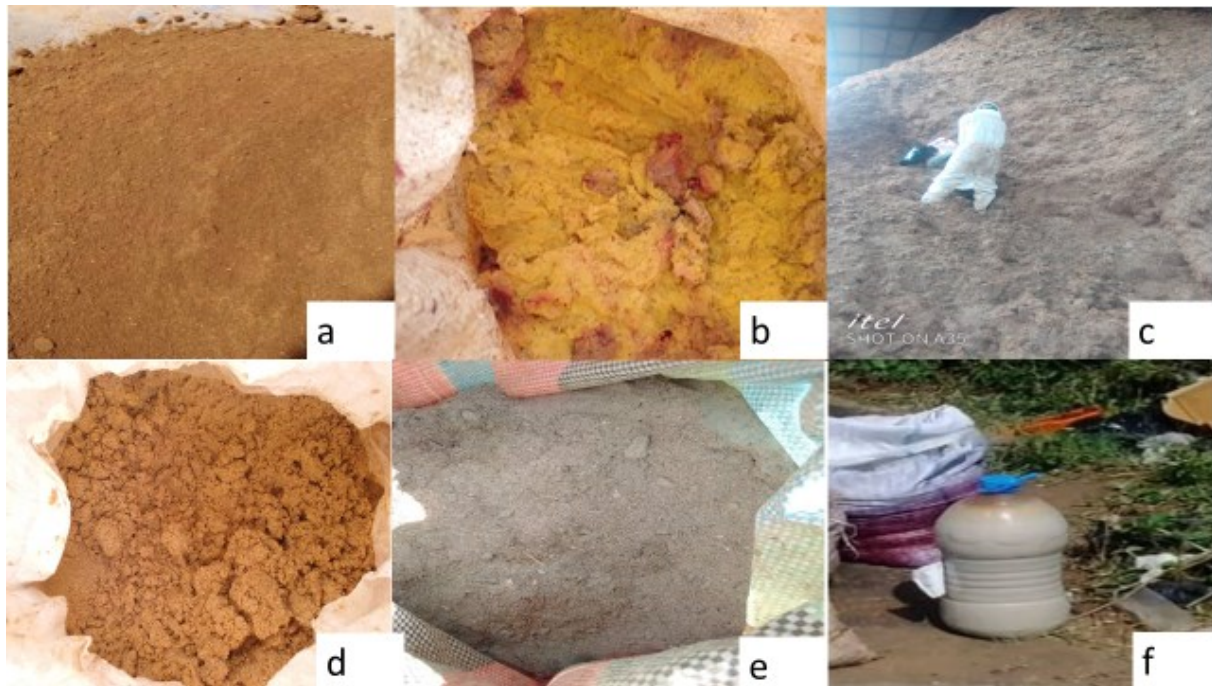


Figure 7. Matériel utilisé a : sol de litière Yaoundé-Olembé ; b : déchets de fruit (DF) ; c : bagasse de canne à sucre (BCS) ; d : drèche de maïs (DM); e : cendre de bois (CB) ; f : levure de bière (LB)

II.1. 3 Matériel végétal et biologique

Le matériel végétal qui a fait l'objet de cette étude a été le haricot commun en provenance d'IRAD de Foumbot (Ouest Cameroun). Il est connu sur le plan nutritionnel comme un bon aliment qui apporte les protéines, glucides, sels minéraux et fibres alimentaires ayant un indice glycémique faible et apportant rapidement la satiété. La variété utilisée est la variété GLP 190 C qui est caractérisé par sa taille (haricot nains), la grosseur et la couleur des graines comme le montre la figure 11 ci-dessous.

Le matériel biologique est constitué d'un isolat bactérien en provenance du laboratoire de l'Université de Douala (NJ5) isolée du haricot (figure 8), caractérisé et sélectionner ayant une croissance rapide (colonies après 24h) (Youagang 2021). Dont les caractéristiques sont consignées dans le tableau I de l'annexe 4.



Figure 8. Matériel végétal (a : haricot commun) et biologique (b : isolat Nj5)

II.1.4. Milieux de cultures

Les différents milieux de cultures utilisés pour le dénombrement, l'isolement et la caractérisation des bactéries et champignons contenus dans le compost sont : le PDA (Potato Dextrose Agar) supplémenté d'un antibactérien (gentamicine) pour identifier les champignons présents dans le compost et le YEMA (Yeast Extract Manitol Agar) supplémenté d'un antifongique (nystatine) utilisé pour isoler les bactéries contenues dans le compost.

II.1.5. Matériels de laboratoire et de terrain

Appareils :

L'autoclave : utilisé pour stériliser les milieux de culture ; La hotte à flux laminaire : utilisée pour la purification et la culture des isolats de bactéries; La boîte de comptage des spores, l'anse de platine : utilisée pour ensemercer les isolats de bactéries ; une balance électronique précise de marque Sartorius pour peser les réactifs, la biomasse des plantes (racines et feuilles), et une balance de marque Naval utilisée pour peser les différents substrats ; l'étuve : utilisée pour sécher le matériel végétal ; le Bec bunsen : utilisé pour stériliser l'anse de platine ; un stéréomicroscope (Zeiss), un microscope : utilisés pour l'observation microscopique enfin un spectrophotomètre utilisé pour la lecture des densités optiques.

Solutions et réactifs :

L'eau du robinet : utilisée pour rincer la verrerie, arroser les plantes et laver le matériel végétal ; l'hypochlorite de sodium (4%), l'eau distillée stérile et l'alcool (90°et 70°) : utilisés

pour désinfecter le matériel végétal aussi comme solvant pour la chlorophylle ; le cristal violet, le Lugol, la fuschine et l'alcool à 90° utilisés pour la coloration de Gram.

Verreries :

L'ermeneyer, le bécher, la fiole jaugée ont été utilisés pour la préparation et le conditionnement des réactifs et solutions; La pipette et les micropipettes ont été utilisées pour prélever des petits volumes de solutions; les boîtes de Pétri utilisées pour les ensemencements; l'éprouvette et tubes à essai ont été utilisés pour mesurer ou contenir des volumes de solvants et effectuer des dosages.

Matériels de terrain :

Deux demi-futs pour la production du compost, sachets de contenance 5l pour l'expérimentation, étagères en bois pour éviter le contact des sachets avec le sol, houes et machettes pour le nettoyage du site expérimental, arrosoir pour arroser les plantes, brouette, étiquettes, pelle pour la préparation du substrat et un registre pour la collecte des données.

II.2 METHODES

II.2.1 Compostage

Le type de compostage appliqué dans cette étude est le compostage en système clos dans deux demis fus. La production du compost a duré trois mois pour une période allant de Décembre 2021 à Février 2022. Pour construire notre matériel de compostage, un fut de 250 litres a été préalablement coupé en deux puis perforé à l'aide des ciseaux pour permettre une bonne aération au cours du processus. Les matières organiques citées (DM, BCS, DF, SB, LB) ont été pesées selon les proportions suivantes : 73Kg de matières organiques soit 63,5Kg de matières fraîches (DM+DF) pour 6,5Kg de matière sèches (BCS) enrichi de 3Kg de cendre le tout arrosé par 10 litres de levure de bière et 5 litres d'eau de robinet avant d'être introduits dans les demis fus. Le retournement était effectué chaque semaine pour permettre une bonne aération du compost.

II.2.2 Caractérisation du compost

II.2.2.1 Paramètres physiques

Température, pH et conductivité électrique : La température, le pH et la conductivité électrique ont été mesurés chaque semaine. Il était question pour nous de mettre en contact l'électrode du multi paramètre/pHmètre et le tas de compost afin de relever les données

correspondantes comme présenté dans la figure 9 ci-dessous. Le procédé a été répété 5 fois et la moyenne a été déterminée. Entre deux mesures, les électrodes du multi paramètre et du pHmètre ont été rincés avec de l'eau distillé.



Figure 9. Mesure du pH (a) , de la température et de la conductivité électrique (b)

II.2.2.2 Paramètres chimiques

Ces analyses ont été effectuées au laboratoire de Microbiologie des Sols a Nkolbisson.

L'azote total

La teneur en azote total a été déterminée par la méthode de Kjeldahl. Le minéralisât du compost est distillé avec de la soude à 40% dans un distillateur d'azote de marque BUCHI K-350. Les vapeurs d'azotes obtenues sont recueillies dans un bécher contenant un mélange rosâtre composé d'acide borique à 4% et du réactif de Tashiro. Après distillation du minéralisât, la solution obtenue est dosée par titrimétrie avec l'acide sulfurique 0.1N.

Matière Organique Totale (MOT)

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

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

- M1 : masse de l'échantillon après pesage à l'étuve (g)

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

Carbone Organique Total (COT)

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

$$\%COT = \frac{\%MOT}{2}$$

Rapport C/N

Le rapport C/N du compost a été déterminé+ à partir des valeurs respectives de carbone organique total et d'azote total obtenues suivant la formule ;

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

Phosphore total (Pt)

La teneur en phosphore total du compost a été déterminée par la méthode « molybdovanadate ». 1mL de réactif de molybdovanadate est ajouté à 25mL de chaque échantillon préalablement minéralisé. Un témoin constitué d'eau distillée suit le même traitement. Si les molécules d'ortho phosphates sont présentes, elles vont réagir avec le molybdate dans un milieu acide pour former le complexe phosphomolybdate. En présence de vanadium, l'acide vanadomolybdophosphorique qui a une couleur jaune se forme. L'intensité de la coloration est proportionnelle à la concentration de phosphate présent dans le milieu. La lecture au spectrophotomètre DR/3900 à la longueur d'onde 650nm. Les valeurs sont affichées sous forme d'ortho phosphate (PO_4^{3-}) et exprimées en mg/L. la conversion de cet ortho phosphate en phosphore est obtenue en divisant le résultat par le coefficient 3.07.

II.2.2.3 Paramètres microbiologiques

Dénombrement de la biomasse fongique et bactérienne : Les analyses des flores fongique et bactérienne ont été réalisées selon la technique des suspensions-dilutions, le milieu gélosé PDA supplémenté d'un antibiotique (gentamicine) a été utilisé pour les champignons, et le milieu solide YEMA additionnée d'un agent antifongique (nystatine 0,5 %) pour les bactéries.

Dans un Erlenmeyer de 250 ml contenant 90 ml d'eau distillée stérile, 10 g de compost sec sont ajoutés de manière aseptique (après séchage à 30°C pendant une nuit). Ce mélange est agité mécaniquement avec une barre aimantée pendant 30 minutes pour suspendre les particules de compost, de spores et mycéliums attachés à celui-ci. La suspension obtenue correspond à la dilution 10^{-1} . 1 ml de la dilution 10^{-1} est prélevé de manière aseptique et introduit dans 9 ml d'eau distillée donnant ainsi la dilution 10^{-2} qui est agitée pendant 2 minutes avant de prélever 1 ml et ajouté à 9 ml d'eau distillée stérile ; ainsi de suite jusqu'à dilution 10^{-8} . 0,1 ml est prélevé sur chaque dilution, en opérant de la dilution 10^{-5} à la dilution 10^{-3} , et ensemencé sur les milieux de culture, à l'aide d'une pipette pasteur courbée en verre stérile. Les boîtes de Pétri seront incubées à 26°C pendant 24h pour les bactéries et 3 jours pour les champignons.

La charge fongique et bactérienne a été déterminée par comptage des colonies et les résultats ont été exprimés en UFC (Unités Formant Colonie) / g de compost selon la formule mathématique ci-dessous :

$$N = \frac{\sum \text{colonies}}{V} \times Fd$$

- N : Nombre d'UFC par gramme de compost ;
- Σ colonies : somme des colonies des boîtes de pétri interprétables ;
- V : Volume de solution déposée (1ml) ;
- Fd : Facteur de dilution retenu.

Seules les boîtes de Pétri contenant entre 30 et 300 colonies à deux dilutions successives ont été sélectionnées pour l'énumération.

Observations macroscopiques

La description morphoculturale des isolats bactériens et fongiques a été réalisée sur des cultures en boîte de Pétri. Les isolats purs ont été caractérisés sur la base de la forme, couleur, contour... d'une colonie individuelle.

Observations microscopiques :

Champignons : elle était basée sur les critères d'identification microscopique. Pour se faire, un carré de gélose d'environ 3mm a été découpé et déposer sur une lame constituant le frottis, ensuite une goutte de colorant (Bleu de coton) a été ajouté le tout recouvert d'une lamelle et observer au microscope électronique à l'objectif 40X. Elle a permis de recueillir des informations sur le type d'hyphe (septé ou non) ; la présence des conidies en amas ou en chaînes, la présence et la forme des spores (ronde ou ovale...) (Hocini et Meziani, 2013).

Bactéries : la coloration de Gram a permis de distinguer les bactéries à l'examen direct par leur aptitude à fixer le violet de gentiane (Gram-) ou la fuschine (Gram+). Outre le distinguo entre les Gram- et Gram+, elle permet de déterminer le mode de regroupement des bactéries et leur forme. Le protocole expérimental détaillé a été fait suivant la méthode de Pavard, (2019).

Préparation du frottis : prélever une colonie de bactérie à l'aide d'une anse de platine et la déposé sur une lame puis là fixé à la flamme.

Coloration par le cristal violet, laissez agir pendant 30 secondes à 1 minute, puis rincez à l'eau distillée ; Mordançage au lugol (solution d'iode iodo-iodurée) : étalez le lugol et laissez agir 30 secondes, puis rincez à l'eau distillée.

Décoloration (rapide) à l'alcool est l'étape la plus importante de la coloration : versez goutte à goutte l'alcool ou un mélange alcool-acétone sur la lame inclinée obliquement, et surveillez la décoloration qui doit être rapide. Le filet doit être clair à la fin de la décoloration. Rincez abondamment avec de l'eau déminéralisée pour stopper la décoloratio ; attention, l'utilisation abusive de l'alcool aura pour conséquence de rendre toutes les bactéries gram négative.

Recoloration à la safranine ou à la fuschine ; mettez de l'eau distillée sur la lame et quelques gouttes de fuschine. Laissez la lame sur une platine chauffante à 50°C.

Observez avec une goutte d'huile à immersion objectif 100 (grossissement x 1000).

Test de phytotoxicité

Les tests de phyto-toxicité évaluent l'effet du compost sur la faculté germinative de *Phaseolus vulgaris*. 04 jours après le semis, la maturité du compost a été évaluée suivant le pourcentage de germination des différents traitements par rapport au témoin.

Expression des résultats

Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (cité par M Chennaoui, 2016), le taux de germination est donné par l'expression suivante :

$$\% \text{ de germination} = \frac{Nc}{80} \times \frac{Nt}{80} \times 100$$

- **80** : représente le nombre de graines utilisées
- **Nc** : le nombre de graines germées dans le traitement
- **Nt** : le nombre de graines germées dans le témoin.

II.2.3 Expérimentation

Une partie de l'échantillon de sol a été prélevé avant le semis et envoyé pour une analyse physico-chimique à l'unité de recherche d'analyse des sols et chimie de l'environnement (URASCE) de la Faculté d'Agronomie et des Sciences Agricoles de l'Université de Dschang.

La préparation de l'échantillon a consisté à : tamiser l'échantillon de sol à l'aide d'un tamis grossier de maille 2mm afin de les rendre plus uniformes.

Désinfection du matériel végétal

Les graines du haricot ont été préalablement désinfectées. Le processus de désinfection a été effectué en rinçant séquentiellement ces graines avec de l'éthanol à 80° pendant 3 minutes, puis avec de l'hypochlorite de sodium 4% pendant 2 -3 minutes, ensuite elles ont été rincées par de l'eau distillée stérile et traitées avec de l'alcool à 75° pendant 1 minute, suivi de 8-10 rinçages successifs avec de l'eau distillée stérile. Les graines ont ensuite été séchées entre les plis des papiers filtres stériles (Bashan et *al.*, 1993).

Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental (Figure 10) fait en pot a été un dispositif en bloc-non randomise réaliser sur des étagères en bois haut d'environ 75 cm (pour éviter tout contact avec le sol source première de contamination), large d'environ 30 cm et long d'environ 4,5 m. Les répétitions au sein d'un même traitement étaient distantes d'environ 20 cm sur la ligne et 30 cm sur la colonne ; les différents traitements quant à eux étaient distants d'environ 40 cm sur une même ligne. Ce dispositif est constitué de 40 pots de 5l, divisé en 8 lots de 5 pots ; les lots représentatifs des traitements et les pots des répétitions. Le semi a été effectué comme suit : Arroser le substrat mis dans les sachets de 5l avec de l'eau du robinet, creuser 04 poquets d'environ 2 cm par pot et introduire 4 graines dans chaque poquet, Ainsi, 80 graines ont été semées par traitement dans des sachets de 5l dans des proportions 1/4, 2/4 et 3/4. Les traitements sont arrosés tous les jours matin et soir afin de maintenir l'humidité du sol entre 60 et 80%. Une semaine après, le démariage des plantes laissant 4 plantes par pot a été effectué puis inoculation du *Rhizobium* à l'aide d'une seringue, 1600ml de solution bactérienne, soit 200ml par traitement correspondant 40ml par pot et 10ml par poquet.

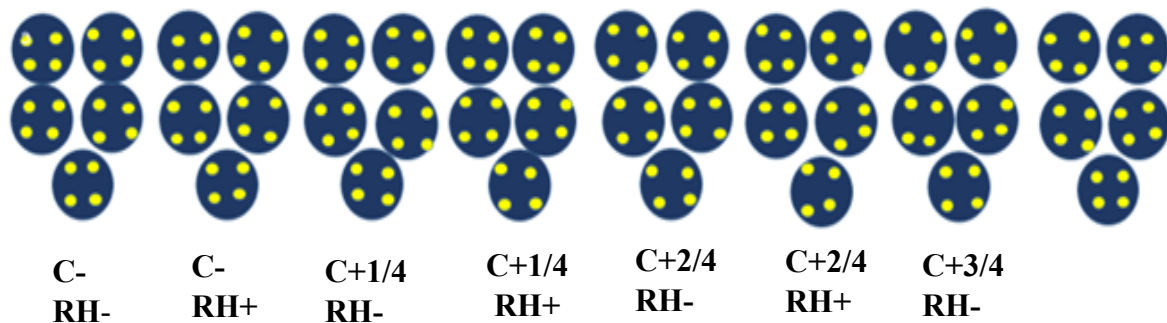


Figure 10. Dispositif expérimental

II.2.4 Collecte des données

Au terme de cette expérimentation, les paramètres agronomiques, microbiologiques et biochimiques ont été évalués pour connaître le développement et le fonctionnement de *Phaseolus vulgaris*.

Paramètres agronomiques

L'évaluation de la qualité du compost pour l'usage agricole doit être conforme aux caractéristiques préconisées par les normes d'un amendement organique. Le compost utilisé était âgé de six mois et aucun ajout d'engrais chimique n'a été pratiqué.

Surface foliaire (cm²) : pour chaque traitement, la mesure de la surface foliaire a été effectuée chaque 2 semaines suivant la formule : Surface foliaire = 0,8 x longueur x largeur. La longueur et la largeur sont évaluées à l'aide d'une règle graduée.

Taille des plants (cm) : la longueur de la tige de *Phaseolus* a été mesurée en centimètre par plant et par pot avec une règle graduée du collet jusqu'au dernier nœud ou était inséré la dernière feuille supérieure sur la tige chaque deux semaines.

Nombre de feuille : le nombre de feuille a été déterminé en comptant les feuilles chaque semaine (*Phaseolus vulgaris*) en éliminant les feuilles mortes.

Biomasses des gousses fraîches et sèches : après récolte, les gousses ont été pesées à l'aide d'une balance de précision. Les pesées ont été faites séparément pour chaque traitement pour obtenir les biomasses fraîches. Les mêmes gousses ont été par la suite séchées à l'étuve à 60°C pendant plusieurs jours jusqu'à élimination complète de l'eau et obtention d'un poids constant pour les pesées.

Paramètres microbiologiques

Nodulation et efficience : la nodulation et l'efficience ont été évaluée pendant la période de floraison par comptage des nodules puis pesé à l'aide d'une balance à précision et coupé à l'aide d'une lame. L'efficience représente la coloration rose des nodules. Il a été déterminé selon la formule :

$$\text{Efficience} = \frac{\text{Nombre de nodules roses}}{\text{Nombre total de nodule}} \times 100$$

La réponse à la nodulation a été déterminé selon la formule :

$$\text{RN} = \frac{\text{Traité - Témoin}}{\text{Traité}} \times 100$$

Paramètres biochimiques

Dosage de la chlorophylle : La chlorophylle a été dosée à partir d'un extrait de feuilles vertes fraîchement récoltées avant la récolte. Deux grammes de feuilles sont finement découpés puis broyés à sec dans le mortier avec une pincée de sable et de carbonate de calcium. Le broyat ainsi obtenu a été déposé dans 20 ml d'éthanol à 90° en laissant le mélange 3 min à l'air libre. Le liquide obtenu a été filtré à l'aide d'un entonnoir portant un papier filtre. Le filtrat a été ensuite dilué en ajoutant 50 ml d'éthanol à 90°, avec 3 répétitions par échantillon. La lecture des résultats a été effectuée avec un spectrophotomètre. La teneur en chlorophylle totale des extraits a été obtenue en utilisant la formule d'ARNON :

$$\text{Chlorophylle totale} = (0,0202 \times \text{D.O } 645) - (0,0802 \times \text{D.O } 663) \text{ mg/g (Zinga et al, 2016).}$$

Dosage de l'azote total et protéine total : Le dosage de l'azote total a été effectué selon la méthode de Devani et al, (1989). Les parties aériennes des plantes sont séchées à l'étuve à 65°C pendant 48 h puis broyées et tamisées à l'aide d'un tamis fin. La minéralisation consistait à peser 0,2 g d'échantillon de matière sèche (tiges et feuilles broyées) additionnées de 5 ml d'acide sulfurique concentré et de 0,5 g de catalyseur de minéralisation. L'ensemble est chauffé à 200°C jusqu'à minéralisation complète (environ 3h), le minéralisat obtenu est ajusté à 100 ml avec de l'eau distillée. Après ajout de quelques gouttes de phénolphtaléine 1 % de la soude 40 % (jusqu'à coloration rose), les échantillons sont distillés puis le distillat est titré par la solution de H₂SO₄ N/50 jusqu'au virage au rose, avec 3 répétitions par échantillon. Les densités optiques

sont lues à 412 nm au spectrophotomètre. La quantité d'azote de chaque échantillon est déterminée par rapport à une courbe d'étalonnage obtenue à partir d'une solution de sulfate d'ammonium à 0,4 mg/g fraîchement préparée. La teneur en protéines brutes est obtenue en multipliant la teneur en azote par le facteur conventionnel de 6,25.

II.2.5 Analyse statistique des données

Les données collectées issues des différents paramètres sont introduites dans le logiciel SPSS 16.0 pour l'analyse des variances (ANOVA). La comparaison des moyennes a été effectuée à l'aide du test de Duncan au seuil 5%. Les résultats présentés sous forme d'histogrammes, sont réalisés à l'aide du logiciel Microsoft Excel 2016.

RESULTATS ET DISCUSSION

III.1. RESULTATS

Le compostage des déchets industriels enrichis à la levure de bière et la cendre de bois associé au *Rhizobium* sur la croissance du haricot (*Phaseolus vulgaris*) a permis de collecter des données et d'analyser les résultats. Ceci afin d'en ressortir une explication scientifique des différents comportements observés.

III.1.1 Production du compost

Qualité du compost : la maturité du compost final est un important critère à considérer pour l'estimation de la qualité du compost car elle est essentielle pour une utilisation saine et optimale comme amendement pour le sol et comme source de nutriments pour les plantes. La figure 11 ci dessous présente le compost initial et le compost final obtenue après séchage et tamisage des échantillons. Le compost final obtenu nous permet de dire qu'il peut être de bonne qualité de part sa couleur (marron), une bonne odeur d'humus, sa texture et sa granulométrie sous réserve de sa caractérisation.



Figure 11. Compost : a- compost initial ; b- compost final mature ;

III.1.1.1 Analyse physico-chimique des différents échantillons de compost

Température (T°) :

La dynamique de température était semblable dans les deux démis fus de compostage ; on observe qu'au début du processus, la température était semblable à la température ambiante 25°C puis elle a augmenté brusquement à la 2^{ème} semaine atteignant 40°C (phase de réchauffement) ; la phase thermophile s'était déroulé entre la 2^{ème} et la 6^{ème} semaines et le pic

de température était d'environ 60°C. Après cette phase, la température à diminuer progressivement entre la 7^{ème} et la 8^{ème} semaine pour rejoindre la température ambiante du départ avant de se stabilisé. La variation de température au cours du processus de compostage est présentée dans la figure 12 ci-dessous :

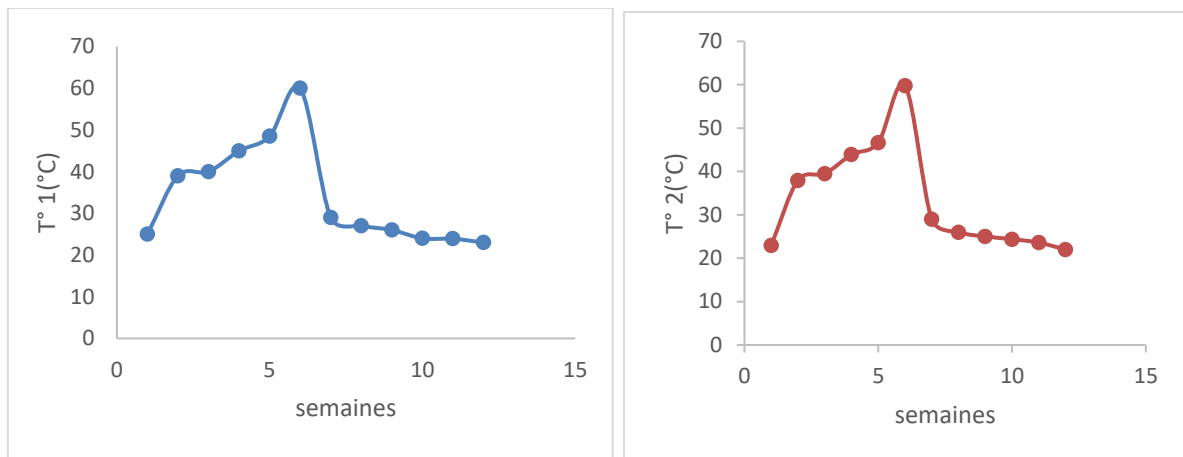


Figure12. Variation de la température en fonction du temps au cours du processus

pH :

La courbe de pH montre une phase acidophile allant de la 1^{ère} à la 4^{ème} semaine avec une valeur de pH de 4,5-5,5. Elle passe par une neutralité a la 7^{ème} semaine avant d'entrer dans la phase basidiophile jusqu'à la 12^{ème} semaine avec une valeur de pH égale à 8,8 (figure 13). Nous pouvons dire que cette courbe suit la courbe classique de pH dans le processus de compostage.

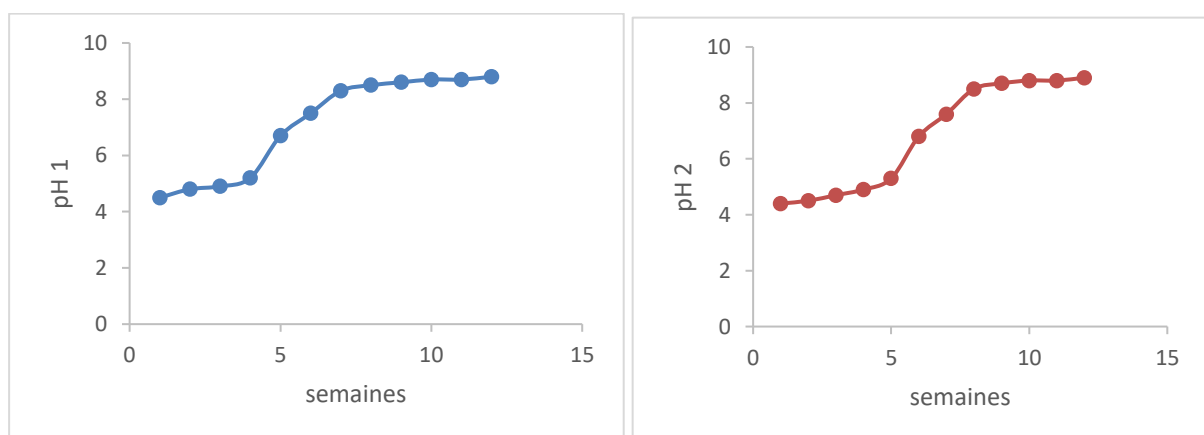


Figure 13. Variation du pH en fonction du temps au cours du processus de compostage

Conductivité électrique (CE) :

Elle est la mesure de la concentration des ions solubles afin d'apprécier la salinité du substrat (Tiquia, 2010). Ici nous constatons que la concentration en ions solubles était stable entre la 1^{ère} et la 6^{ème} semaines puis elle a augmenté entre la 7^{ème} et la 9^{ème} semaines avant de décroître progressivement jusqu'à la 12^{ème} semaines comme le présente la figure 14 ci-dessous.

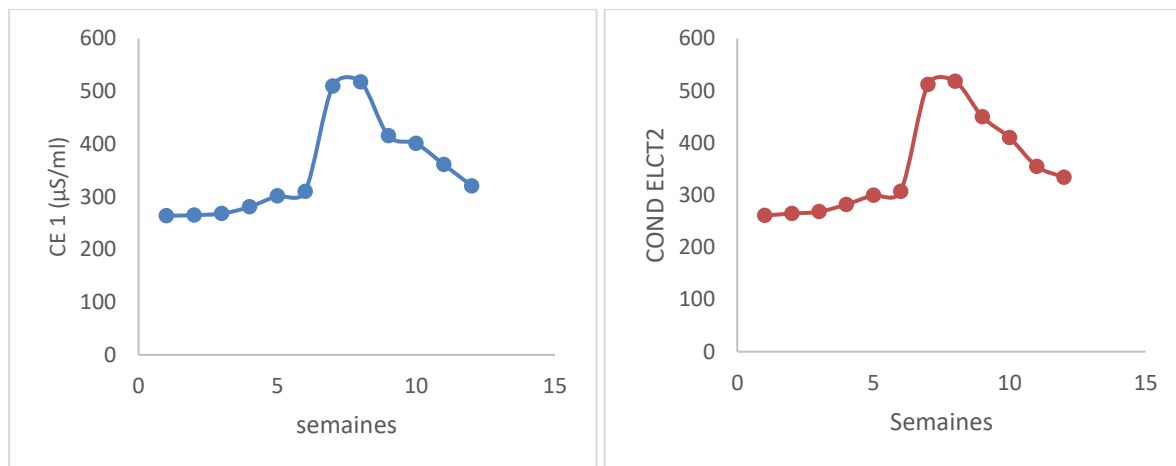


Figure 14. Variation de la conductivité électrique en fonction du temps au cours du processus de compostage.

Les propriétés physiques et chimiques et la teneur en micronutriments des composts produits sont indiquées dans le Tableau I, nous constatons que ces propriétés sont presque identiques dans les deux demis fut. Toutefois, les composts étaient riches en matières organiques et en éléments nutritifs tels que l'azote, le phosphore et le potassium ainsi que d'autres éléments comme le calcium et le magnésium ; les rapport C/N étaient comprise entre 10 et 15 conformément aux normes de qualité selon OMS (tableau II).

Tableau 1. Caractéristique physicochimique du compost obtenu

	C (g/kg)	MO (g/kg)		N (g/kg)	C/N	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Mg (mg/kg)	Ca (mg/kg)
C1	31,25	64,5		2,14	14,6	0,97	0,85	14,96	23,35
C2	31,09	64,5		2,1	14,8	0,89	0,88	15	23,5

Tableau 2 : récapitulatif des données du compost selon la norme de l'OMS

Paramètres	Valeur des produits finis	Normes de qualité de compost selon l'OMS
Température (°C)	23	/
pH	8,8	6-9
Conductivité électrique (µs/cm)	320	/
Carbone (C)	32,25	/
Azote (N)	2,14	
Potassium (K) (%)	0,85	0,1-2,3
Phosphore (P) (%)	0,97	0,1-1,7
Rapport C/N	14,7	10-15
Matière Organique (%)	13,28	10-30
Taille des particules (mm)	5	2-10
Couleur	Brun foncé	Brun foncé-Noir
Odeur	Odeur de la terre sèche humecté	Odeur de la terre humidifiée

III.1.1.2 Analyses microbiologiques des échantillons de compost

La connaissance des divers groupes de microorganismes et de leurs rôles est importante étant donné que le compostage est un processus microbien. Les micro-organismes transforment la matière organique facilement dégradable en une matière plus stable en dégageant de la chaleur ; ils réduisent considérablement la quantité de matière initiale en utilisant une partie pour leurs croissances. Les différentes phases du compostage correspondent à des environnements différents et des communautés microbiennes différentes.

III.1.1.2.1 Biomasse microbienne

Dans notre étude, nous avons pu caractériser les bactéries et les champignons dont les caractéristiques sont représentées dans le tableaux III ci-dessous. La figure 15 présente l'aspect macroscopique des boîtes de Pétri qui ont servis pour le dénombrement et l'isolement de ceux-ci.

Tableau 3. Biomasse microbiennes

	bactéries (105 UFC.g-1compost	Champignons (103 UFC.g-1 compost
C1	521,33±2,64	2260±2,51
C2	530,66±1,15	2099,66±1,15

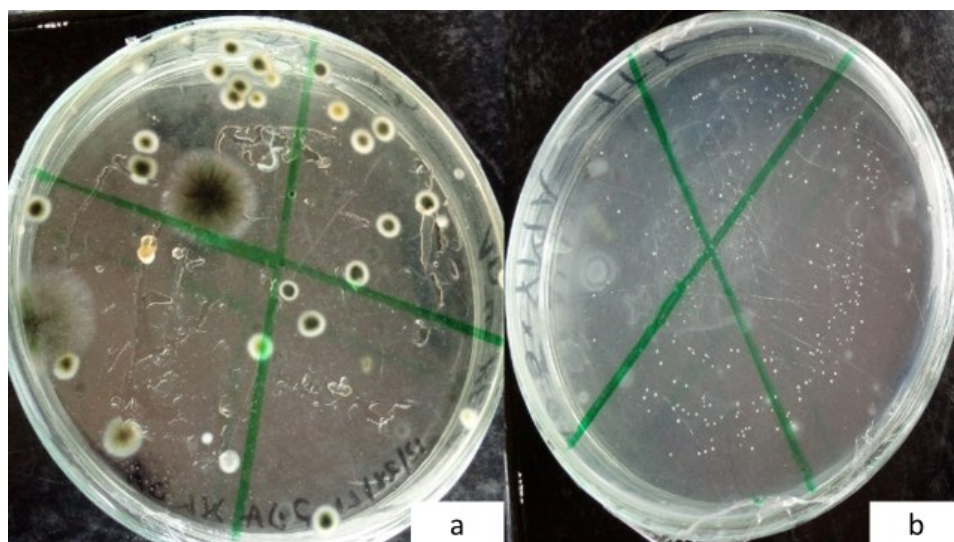


Figure 15. Boîtes de pétri : a) croissance des champignons sur milieu PDA ; b) croissance des bactéries sur milieu YEMA.

III.1.1.2.2 Caractérisations macroscopiques et microscopiques des microorganismes du compost

Champignons

Observations macroscopiques :

L'analyse macroscopique des champignons présent dans le compost nous a permis de répertorier 10 morphotypes différents après purification sur milieu PDA. Les caractéristiques morphologiques des différentes colonies de ces champignons sont consignées dans le tableau IV suivant. Nous remarquons que 50% des colonies sont de couleur blanche, (60%) d'aspect duveteux, (80%) à forte densité, (80%) ayant des bordures filamenteuses à croissance régulière et (70%) un temps de croissance de 72h.

Tableau 4. Caractéristiques macroscopiques des champignons

	Couleur	Aspect	Densité	Bordure	Relief	Temps de croissance
1	Verdâtre	Poudreux	Dense	Filamenteux à croissance régulière	Plan	72h
2	Verte au centre et blanche en bordure	Duveteux	Dense	Filamenteux à croissance régulière	Surélevé	72h
3	Vert au centre et brin en bordure	Poudreux	Peu dense	Filamenteux à croissance régulière	Plan	72h
4	Brin	Duveteux	Dense	Filamenteux à croissance régulière	Surélevé	48h
5	Blanche	Duveteux	Dense	Filamenteux à croissance régulière	Plan	72h
6	Blanche	Duveteux	Dense	Filamenteux à croissance régulière	Surélevé	72h
7	Blanche	Duveteux	Dense	Filamenteux à croissance régulière	Plan	72h
8	Vert en face, marron au revers et blanche en bordure	Duveteux	Dense	Filamenteux à croissance régulière	Surélevé	72h
9	Blanchâtre	Cotonneux	Peu dense	Filamenteux à croissance irrégulière	Surélevé	48h
10	Blanche	Poudreux	Dense	Filamenteux à croissance irrégulière	Surélevé	48h

Observations microscopiques :

La caractérisation microscopique des champignons présent dans le compost nous a permis d'identifier les types de champignons qui peuplait notre compost, il en ressort qu'il y avait (60%) des champignons a hyphes cloisonnés, avec la présence des spores a 100% et des conidies en amas ou en chaines. Le tableau V ci-dessous présente les caractérisques des isolats identifiés et la figure 16 présente les résultats de la coloration au bleu de coton.

Tableau 5. Caractéristiques microscopique des champignons présent dans le compost

	Conidies	Spores	Hyphes
1	Présence en chaine et ovale	Présence	cloisonné
2	Absence	Présence	cloisonné
3	Absence	Présence	non cloisonné
4	Présence en chaine et arrondi	Présence	non cloisonné
5	Présence en amas et arrondi	Présence	cloisonné
6	Absence	Présence	cloisonné
7	Présence en amas et arrondi	Présence	non cloisonné
8	Présence en chaine et arrondi	Présence	cloisonné
9	Présence en amas et arrondi	Présence	cloisonné
10	Absence	Présence	non cloisonné

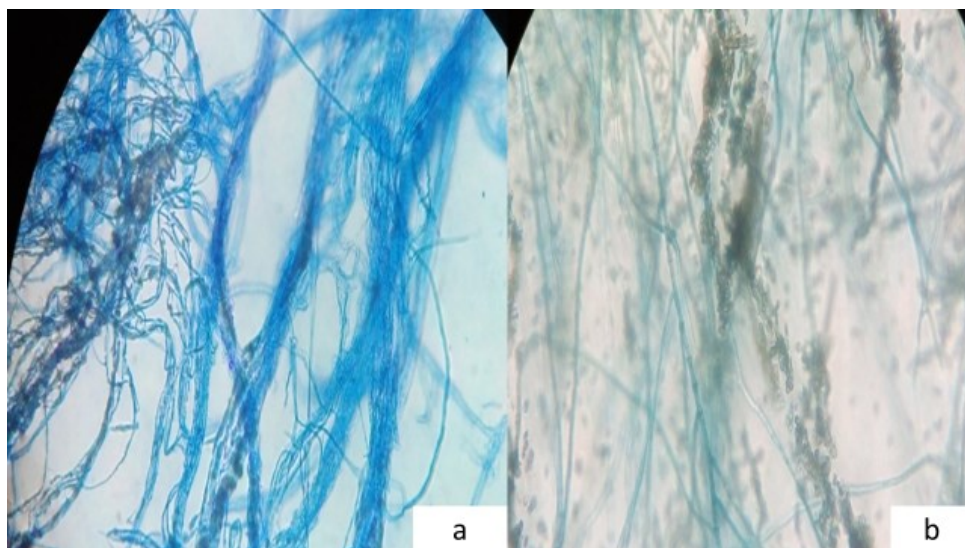


Figure 16. Observation microscopique de quelques morphotypes de champignons : a) champignon a hyphe non cloisonnés ; b) champignon a hyphe cloisonnés

Bactéries

Observations macroscopiques :

L'analyse macroscopique des bactéries présent dans le compost nous a permis de répertorier 6 isolats différents après purification sur milieu YEMA.

Les caractéristiques morphologiques des différentes colonies de ces bactéries sont consignées dans le tableau VI suivant. Nous remarquons que 43% des colonies étaient de

couleur blanche, 86% avaient des bordures lisses et régulières, 71% avaient un relief bombé et toutes les colonies avaient un temps de croissance de 24h.

Tableau 6. Caractéristiques morphologiques des bactéries

isolat	Forme	Couleur	Bordure	Relief	Temps de croissance
a	Arrondi	Rose	Lisse régulier	Bombé	24h
b	Arrondi	Jaune	Lisse régulier	Bombé	24h
c	Arrondi	Blanche	Lisse régulier	Plan	24h
d	Arrondi	Blanche	Lisse irrégulier	Plan	24h
e	Arrondi	Orange	Lisse régulier	Bombé	24h
f	Arrondi	Blanchâtre	Lisse régulier	Bombé	24h
g	Arrondi	Marron	Lisse et régulier	Bombé	24h

Observations microscopiques : Etat frais et coloration de Gram

La caractérisation microscopique des bactéries présentes dans le compost nous a permis d'identifier quelques caractéristiques des bactéries qui peuplait notre compost, il en ressort que 57% des bactéries étaient regroupés en amas, 71% étaient Gram + et mobile. Le tableau VII ci-dessous présente les caractéristiques des isolats caractérisés et la figure 17 présente les types de Gram observés au microscope.

Tableau 7 : caractéristiques microscopiques des isolats

Isolats	Forme	Mode de regroupement	Mobilité	Type de Gram
A	Arrondi	Amas	Mobile	-
B	Bâtonnet	Amas	Immobile	+
C	Arrondi	Isolé	Mobile	+
D	Ovale	Amas	Mobile	+
E	Ovale	Isolé	Mobile	-
F	Bâtonnet	Isolé	Immobile	+
G	Arrondi	Amas	Mobile	+

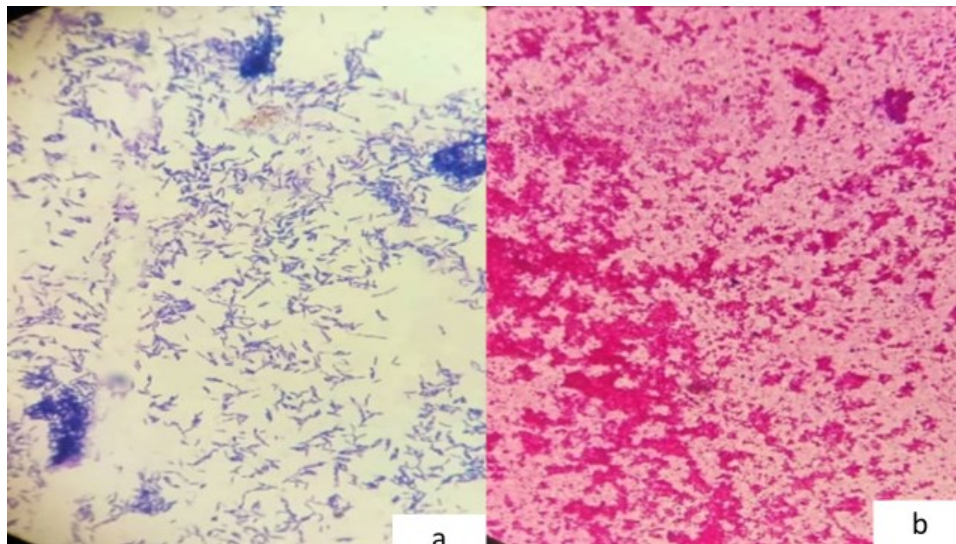


Figure 17. Aspect microscopique (X1000) de quelques isolats bactériens : a) bacille Gram positif, b) cocci Gram négatif.

III.1.1.3 Résultats du test de phytotoxicité

L'ajout de la levure de bière et la cendre de bois n'était pas toxique pour les graines du haricot au concentration 1/4, 2/4, et 3/4 avec ou sans le *Rhizobium* ; tous les traitements ont eu un pourcentage de germination entre 68 et 80% (tableau VIII).

Tableau 8. Effet du compost sur la germination du haricot

Traitements	C- RH-	C1/4 RH-	C 2/4 RH-	C 3/4 RH-
% de germination	68,75±0,25 ^a	76,5±0,50 ^b	80,89±0,62 ^d	80,14±0,05 ^d

III.1.2 Résultats de l'expérimentation

III.1.2.1 Analyses physicochimiques des échantillons des sols

Les analyses physico-chimiques de l'échantillon de sol d'expérimentation ont été réalisées au URASCE de l'Université de Dschang. Les caractéristiques du sol sont consignées dans le Tableau IX ci-dessous. Les analyses du substrat utilisé montrent que le sol avait une texture limono-sableuse, un PH acide (5,7), ce sol était également pauvre en matière organique (0,71%), de plus la teneur en phosphore assimilable était de 34,19 mg/kg traduisant une richesse minérale. La teneur en carbone organique était de 0,41 %, calcium 3,28 unité et somme des bases 5,36 unité.

Tableau 9. Paramètres physico-chimiques du sol d'expérimentation

Echantillon de sol de Yaoundé-Olembé		
Texture (%)	Argile	13,75
	Limon	16,00
	Sable	70,25
	Classe texturale	L-S
Acidité du sol	pH eau	5,70
	pH KCl	4,90
Matières organiques	CO (%)	0,41
	MO (%)	0,71
	N total (g/kg)	0,18
	Rapport C/N	2,25
Cations échangeables (m éq/100g)	Calcium (Ca)	3,28
	Magnésium (Mg)	1,20
	Potassium (K)	0,55
	Sodium (Na)	0,33
	Sommes des bases	5,36
Capacité d'échange cationique (m éq/100g)	CEC	12,45
	Saturation (%)	43,05
Phosphore assimilable	Bray II (mg/kg)	34,19

III.1.2.2 Impact de l'association compost-*Rhizobium* sur la croissance de *Phaseolus vulgaris*

III.1.2.2.1 Impact sur les paramètres agronomiques

Taille de la plante

La cinétique des tailles des plants en fonction du temps pour les traitements : témoin négatif (C- RH-), témoin positif (C- RH+), 1/4 de compost sans *Rhizobium* (C+1/4 RH-), 1/4 de compost avec *Rhizobium* (C+1/4 RH+), 2/4 de compost sans *Rhizobium* (C+2/4 RH-) et avec *Rhizobium* (C+2/4 RH+), enfin 3/4 de compost sans *Rhizobium* (C+3/4 RH-) et avec *Rhizobium* (C+3/4 RH+) montrent qu'il y a un impact visible sur la croissance du haricot. Cependant, la différence est très remarquable entre les traités et le témoin. Le meilleur

traitement était le 2/4 de compost avec le *Rhizobium* présentant la plus grande valeur de taille (59cm) à la 8^{ème} semaine par rapport au témoin (39cm) illustré par la figure 18 ci-dessous :

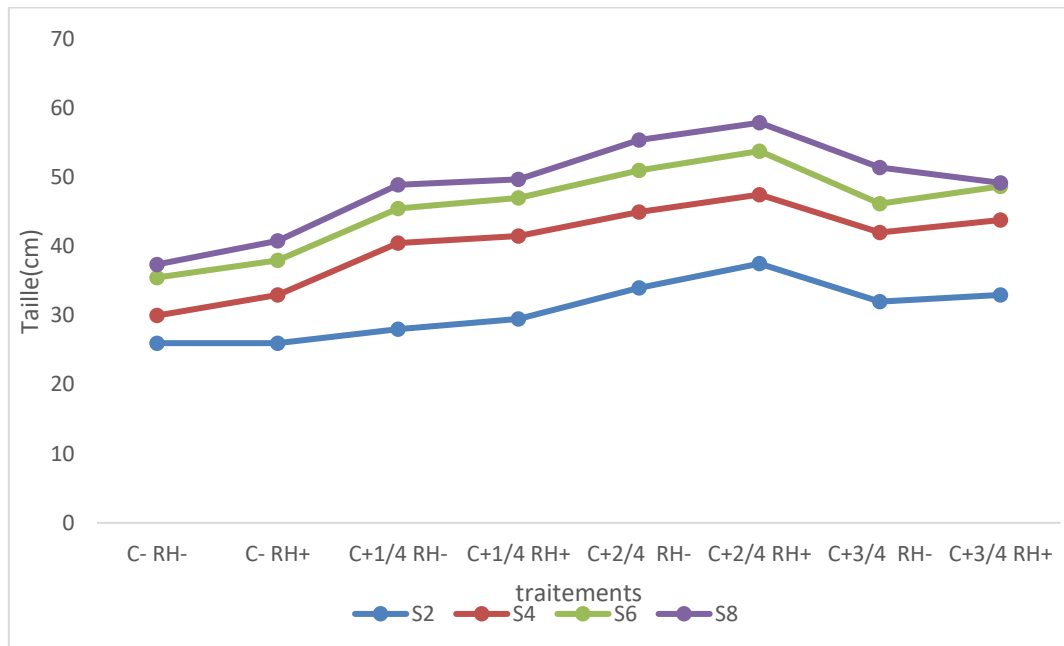


Figure 18. Cinétique des tailles des plantes

Nombre de feuilles

Les résultats obtenus pour la cinétique du nombre de feuille montrent qu'à la 1^{ère} semaine, les plantes avaient le même nombre de feuilles car la croissance du haricot débute toujours par l'apparition de deux feuilles ; par ailleurs, le nombre de feuilles augmente considérablement à partir de la 2^{ème} semaine jusqu'à la 6^{ème} des traitements 1/4 de compost à 2/4 de compost avec *Rhizobium* ; le 3/4 de compost évolue également avec un nombre de feuille inférieur aux autres traitements mais supérieure au témoin prouve que le compost et le *Rhizobium* ont un impact sur la cinétique du nombre de feuille de *Phaseolus vulgaris*. Illustré par la figure 19 ci-dessous :

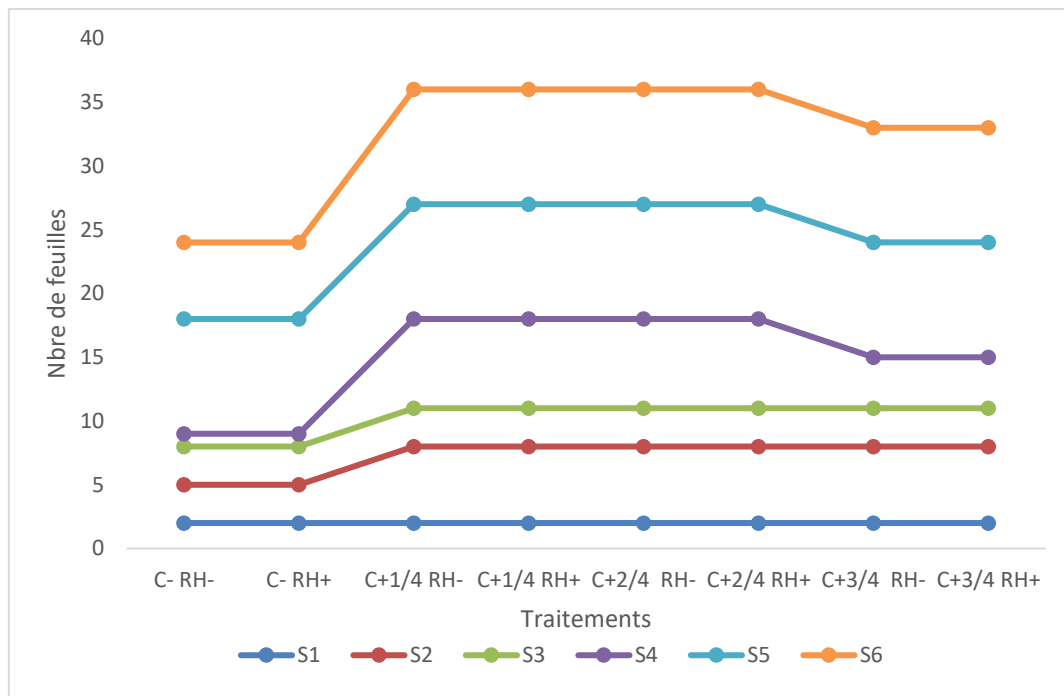


Figure 19. Cinétique du nombre de feuilles des plantes de haricot

Surface foliaire

La cinétique de la surface foliaire montre que les feuilles étaient plus large à la 2^{ème} semaine qu'à la 8^{ème} ce qui s'explique par le fait qu'à la deuxième semaine, les plantes ont moins de feuille et les nutriments absorbés se répartissent aisément par rapport à la 8^{ème} semaine ou il y a plus de feuilles pour les nutriments absorbés. On constate également que les traitements ayant les feuilles plus large étaient le 2/4 de compost avec et sans le *Rhizobium* présentant les plus grandes valeurs de 122cm² et 121cm² respectivement par rapport au témoin négatif (80cm²) à la 2^{ème} semaine illustrée par la figure 20 ci-dessous :

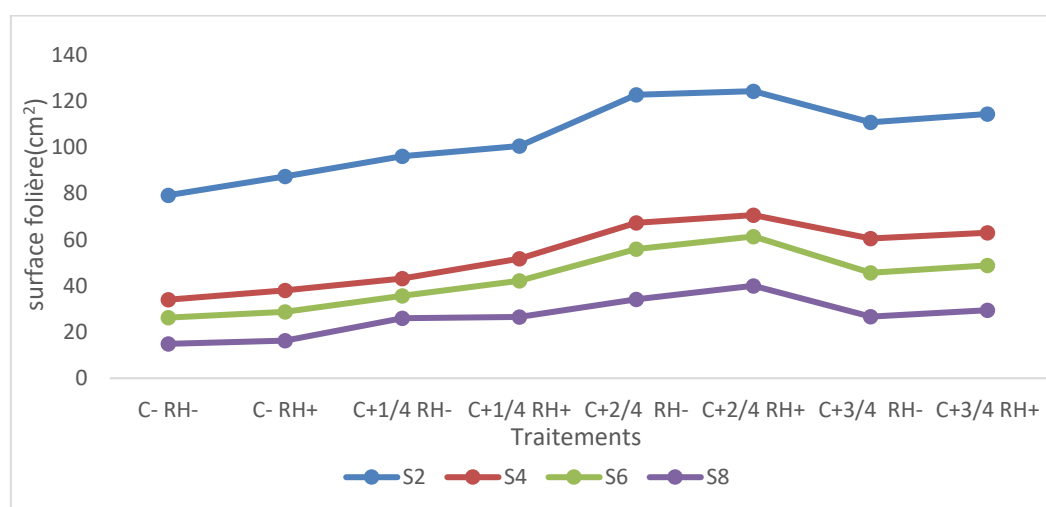


Figure 20. Cinétique des surfaces foliaires des plantes

Biomasse des gousses fraîches et sèches

L'analyse statistique des données du rendement en gousse fraîche ne montre pas de différence de poids significative entre les traités et le témoin de même pour le poids des gousses sèches sauf le 2/4 de compost avec *Rhizobium* qui a un poids frais et sec supérieur au 2/4 de compost sans le *Rhizobium* et deux fois supérieure au témoin illustré dans le tableau X ci-dessous.

Tableau 10. Biomasse des gousses fraîches et sèches

Traitements	Biomasse des Gousses Fraîches (BGF) en g/plant	Biomasse des Gousses Sèches (BGS) en g/plant
C- RH-	3,98±0,53 ^a	1,43±0,10 ^a
C- RH+	4,40±0,45 ^{ab}	1,55±0,50 ^a
C+1/4 RH-	5,60±0,44 ^{cd}	3,53±0,55 ^b
C+1/4 RH+	5,01±0,52 ^{bc}	3,79±0,51 ^b
C+2/4 RH-	5,50±0,46 ^{cd}	3,97±0,51 ^b
C+ 2/4 RH+	6,31±0,50 ^d	4,97±0,50 ^c
C+3/4 RH-	5,35±0,26 ^{cd}	3,77±0,24 ^b
C+3/4 RH+	5,59±0,36 ^{cd}	3,70±0,52 ^b

III.1.2.2.2 Impact de l'association du compost-*Rhizobium* sur les paramètres microbiologiques

L'impact du compost associé au *Rhizobium* sur la nodulation de *Phaseolus vulgaris* 30 jours après le semis est présenté dans le tableau XI ci-dessous. Ces résultats montrent que l'association du compost-*Rhizobium* a un impact hautement significatif sur la nodulation d'environ 5 fois supérieur au témoin pour les traitements 1/4 et 3/4 et 6 fois pour le traitement 2/4. De même, la réponse à l'inoculation montre une augmentation hautement significative allant de 79% à 85% du nombre de nodules des traitements ayant reçu le compost en association ou non au *Rhizobium* par rapport au témoin positif qui n'a augmenté que de 10%. En ce qui concerne l'efficacité (coloration rose à l'intérieur des nodules), nous remarquons que les traitements ayant reçu le compost avec ou sans le *Rhizobium* avaient plus de nodules efficaces (93%) que le témoin (81%). Pour la biomasse nodulaire, on note une différence très significative entre le poids des nodules des traités qui atteint 1,06 g pour le traitement 2/4 de compost avec le *Rhizobium* et celui du témoin qui n'était que 0,23g (figure 21).

Tableau 11. Nodulation : nombres, poids et efficience

Traitements	Nombre de nodules/ pot	poids des Nodules (g/pot)	Réponse à l'inoculation (%)	Efficience des nodules (%)
C- RH-	60,67±0,57 ^a	0,23±0,11 ^a	/	81,37±0,64 ^a
C- RH+	67,33±0,57 ^b	0,26±0,09 ^b	+10	86,22±0,60 ^b
C+1/4 RH-	298,67±0,52 ^c	0,28±0,08 ^c	+79,68	90,33±0,60 ^c
C+1/4 RH+	299,67±0,43 ^d	0,33±0,05 ^d	+79,75	91,33±0,52 ^d
C+2/4 RH-	379,33±0,45 ^g	0,81±0,23 ^g	+84	92,01±0,61 ^g
C+ 2/4 RH+	399,33±0,56 ^h	1,06±0,26 ^h	+85	93,01±0,54 ^h
C+3/4 RH-	310,67±0,57 ^e	0,44±0,10 ^e	+80,47	91,69±0,53 ^e
C+3/4 RH+	353,67±0,48 ^f	0,57±0,15 ^f	+83	91,72±0,56 ^f

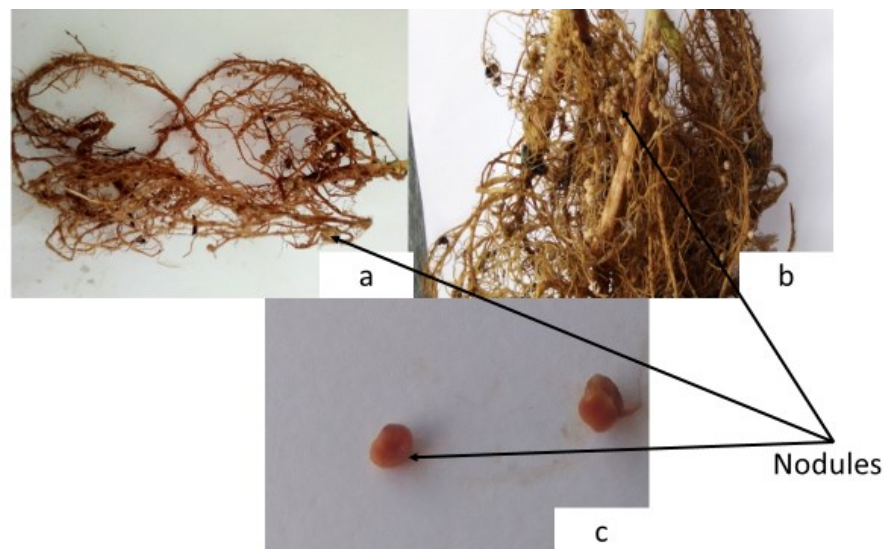


Figure21. Effet de la nodulation et efficience : a- nodulation chez le témoin ; b- nodulation chez le traité ; c- efficience des nodules.

III.1.2.2.3 Impact sur les paramètres biochimiques

Dosage de l'azote, de la protéine et de la chlorophylle :

Le test de Ducan sur la teneur en Azote totale, Protéine totale et Chlorophylle totale a montré une différence hautement significative entre les traités et le témoin ; on constate que les teneurs sont croissantes en fonction des proportions de compost (1/4, 2/4 et 3/4) et de l'ajout

du *Rhizobium*. Cependant, le traitement ayant reçu 2/4 de compost avec le *Rhizobium* a plus absorbé la chlorophylle (149,62mg/g) et contient plus d'azote (44,27 mg/g) et de protéine (276,53mg/g) (tableau XII) que les autres traitements. La figure 22 nous montre les extraits de chlorophylle et d'azote dosés.

Tableau 12: Résultats du dosage de l'azote totale, protéine totale et chlorophylle

Traitement	Azote totale (mg/g)	Protéine totale (mg/g)	Chlorophylle totale (mg/g)
C- RH-	10,95±0,50 ^a	70,53±0,52 ^a	133,21±0,41 ^a
C- RH+	14,09±0,50 ^b	92,37±0,49 ^b	138,43±0,09 ^c
C+1/4 RH-	15,96±0,58 ^c	97,50±0,50 ^c	136,55±0,41 ^b
C+1/4 RH+	19,69±0,41 ^d	124,78±0,52 ^d	143,47±0,05 ^e
C+2/4 RH-	27,37±0,58 ^e	179,37±0,58 ^g	144,02±0,45 ^e
C+ 2/4 RH+	44,27±0,58 ^f	276,53±0,50 ^h	149,62±0,27 ^g
C+3/4 RH-	29,71±0,58 ^g	157,44±0,56 ^e	141,93±0,43 ^d
C+3/4 RH+	31,37±0,40 ^h	168,19±0,52 ^f	145,66±0,62 ^f

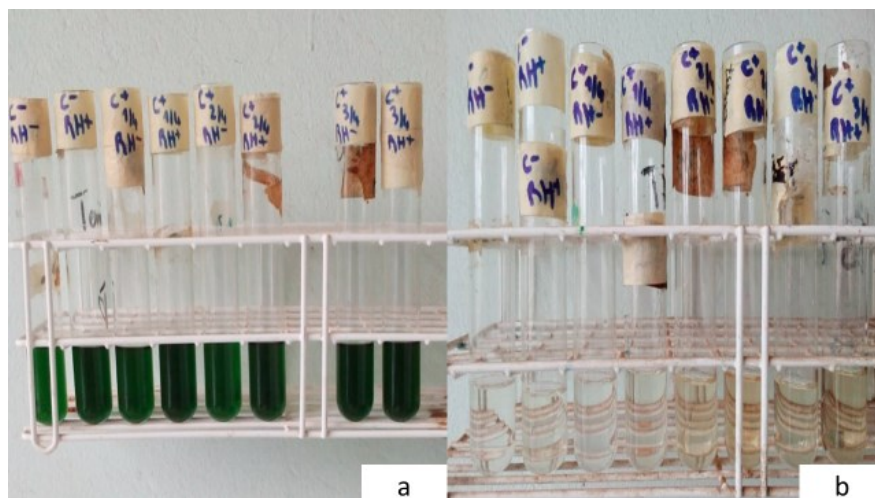


Figure 22. Dosage biochimique ; a) dosage de la chlorophylle, b) dosage de l'azote et la protéine totale.

III.2 DISCUSSION

La présente étude avait pour objectif d'évaluer l'efficacité du compost associé au *Rhizobium* sur la croissance du haricot commun (*Phaseolus vulgaris*) tout en préservant l'écosystème du sol et de l'environnement. Elle nous a permis d'une part de produire le compost à base des déchets industriels et d'autre part d'évaluer sa qualité, son efficacité ainsi que

l'impact de l'association du compost au *Rhizobium* à différentes proportions (1/4, 2/4 et 3/4) à travers une culture en pot (*Phaseolus vulgaris*) sur substrat non stérile.

III.2.1 Processus de compostage

Durant le processus de compostage, les températures dans les deux démis fus ont suivis l'évolution classique de compostage (phase de chauffage, phase thermophile, phase de refroidissement et la phase de maturation) illustré par la Figure 12. Au début du compostage, elles étaient aux environs de 25°C, ce qui est semblable aux résultats trouvés par Bougnom et al. (2020) qui ont travaillé sur l'évaluation de la cendre de bois comme additif pour le compostage du fumier de vache et ont montré qu'au début du processus de compostage, la température est semblable à la température ambiante (22°C). Au bout de deux semaines, on a observé une élévation brusque de température atteignant 40°C ce qui serait due à l'activité intense des microorganismes après ajout de la levure de bière et au fait que la matière organique avait déjà subi une dégradation partielle mécanique dans les différentes industries ; La phase thermophile a été observée entre la 2^{ème} et la 6^{ème} semaine où les températures ont atteint 60°C due également à l'activité intense des microorganismes qui est proportionnelle à la disponibilité de l'oxygène dans les démis futs ce qui est en accord avec les travaux de Bohacz et al. (2018). Pendant cette phase, les pathogènes sont détruits Yu et al. (2018). De même que les résultats de Bougnom et al. (2020), la phase de refroidissement a été observée entre la 7^{ème} et la 8^{ème} semaine par une diminution progressive de température quittant de 60°C à 25°C. Pendant cette phase, le milieu est à nouveau colonisé par les microorganismes mésophiles qui dégradent les polymères restés intacts lors de la phase thermophile. Elle se termine par un retour à la température ambiante. La phase de maturation débute à partir de la 8^{ème} semaine (température égale à 25°C) ; elle est marquée par une activité peu significative des microorganismes qui agissent comme précurseurs de l'humus par la dégradation lente des composés résistants entraînant une coloration brun foncé du compost et le rendant plus fin et plus homogène ayant une texture similaire à celle du sol comme le démontre les travaux de Ceglie et al. (2014) qui ont travaillé sur l'intensification écologique par le recyclage de nutriments et le compostage en agriculture biologique. Dès-lors, le pH du milieu augmentait au fur et à mesure que la matière organique était dégradée.

Le pH au cours de notre processus de compostage a été marqué par deux phases : la phase acidophile (pH≤7) où le pH était respectivement 4,5 et 5,5 dans les démis fus qui s'étendait de la phase de réchauffement à la phase thermophile durant laquelle il y a eu dégradation des acides organiques permettant un phénomène d'alcalinisation du compost tel

que conclu par Steger et *al.* (2006) qui ont travaillé sur le compostage des déchets vers mélangés à des déchets ménagers ; et la phase basidophile ($\text{pH} \geq 7$) où le pH était 8,3 et 8,8 qui s'étendait de la phase de refroidissement à la phase de maturation durant laquelle il y a minéralisation de la matière organique. Ces valeurs finales de pH entrent bel et bien dans l'intervalle de norme de qualité dicté par l'OMS présenté dans le tableau II ci-dessus ce qui est une preuve de la bonne qualité du produit finale. La croissance du pH observée dans les deux démis futs pourraient être corrélées aux quantités de cendres de bois ajoutées (5%) ce qui corrobore avec les résultats de Neher. (2018) et de Cerda et *al.* (2018) ; de plus, d'après les travaux menés par Koivula et *al.* (2004) et Kuba et *al.* (2008), l'ajout de cendres permet d'accélérer le processus de compostage, de rehausser le pH, d'augmenter la température, d'absorber l'humidité et de diminuer certains types d'odeurs.

Un rapport C/N comprise entre 10 et 20 en fin de compostage est un indicateur de la maturité du compost d'après Liu et *al.* (2018) qui ont travaillé sur l'efficacité du compost amélioré par la communauté microbienne distinctive dans une usine de compostage hyper thermophile à grande échelle. Les composts produit dans les deux démis futs avaient un rapport C/N égale à : 14,6 et 14,8 respectivement ce qui répond à ce critère de plus ces rapports sont conformes à la norme dictée par l'OMS qui a situé la valeur du rapport C/N entre 10 et 15. Comme indicateur de la maturité et de la qualité du compost, on peut également citer le test de phytotoxicité.

Le test de phytotoxicité est utilisé pour évaluer la maturité et la qualité du compost obtenu d'après Bohacz. (2018) qui a travaillé sur les extraits aqueux de compost lignocellulosiques, les résultats obtenus dans notre étude montrent que les composts avaient un taux de germination supérieur à 60% et seraient par conséquent mature et dépourvus de tout effet toxique de plus, d'après Chennaoui et *al.* (2016), un compost est considéré comme non toxique lorsque son taux de germination excède 50%.

III.2.2 Impact de l'association du compost et du *Rhizobium* sur la croissance de *Phaseolus vulgaris* (paramètres agronomique, microbiologique et biochimique)

En ce qui concerne le nombre de feuille, nous avons des différences entre le nombre de feuille des traités et le nombre de feuilles du témoin, les meilleurs traitements ont été le 2/4 de compost avec le *Rhizobium* prouvant ainsi que l'inoculation du compost et du *Rhizobium* a une proportion considérable permet d'optimiser le développement foliaire du haricot commun ce qui est en accord avec les travaux de Ulin et *al.* (2015) qui ont obtenus des résultats similaires.

L'inoculation du *Rhizobium* à une concentration suffisante permet à la plante de bien fixer l'azote atmosphérique permettant d'optimiser sa croissance. Dans notre travail, on note que les traitements compost en association avec le *Rhizobium* ont un meilleur rendement en terme de nodulation et d'efficacité ; ce qui est en accord avec les recherches menées par Surtiningsh et al. (2009) qui ont testé le *Rhizobium* sur le soja (*Glycine max*) et démontrées que l'inoculation de *Rhizobium* améliore la croissance et la production des légumineuses de manière très significative par rapport aux légumineuses qui n'ont pas reçu de *Rhizobium*. Par ailleurs, l'utilisation du compost dans la culture des légumineuses permet d'améliorer la disponibilité des nutriments principalement l'azote et le phosphore. Ils ont également montré qu'une dose optimale de compost augmente considérablement la croissance des plants de haricot ce qui corrobore avec les résultats que nous avons obtenus avec le 2/4 de compost sans le *Rhizobium* ; nous pouvons observer une différence hautement significative entre ce dernier et le témoin bien qu'il n'y ait pas de différence significative avec le 2/4 de compost avec *Rhizobium*. L'interaction entre le compost et le *Rhizobium* a un impact réel sur la quantité d'azote et de protéine absorbée par le haricot commun. L'ajout du compost et du *Rhizobium* a permis d'augmenter la teneur en azote du sol et stimuler la capacité des plantes à absorber les nutriments azotés ce qui a induit une augmentation du poids frais des gousses ainsi que les quantités en protéines des graines. Ceci va dans le même sens que les travaux de Salisbury et al. (1995) qui ont travaillé sur la physiologie des plantes et affirment que, l'absorption d'azote entraîne une augmentation de la teneur en azote des feuilles.

D'après les travaux menés par Lakitan. (1995) sur la physiologie, la croissance et le développement des plantes, le taux de métabolisme des plantes dépend de la teneur en azote présent dans les tissus foliaires. Évaluer le poids frais des tissus revient à déterminer le taux d'humidité, de nutriments et de métabolisme. La teneur en protéine joue un rôle important dans la culture des légumineuses car plus elle est élevée, plus elle constitue la matière première pour la formation de nouvelles cellules qui accélèrent la croissance de la plante. Ceci est en accord avec les valeurs élevées de l'azote et de la protéine totale obtenues pour les concentrations 1/4 et 2/4 de compost avec le *Rhizobium*. Les valeurs moyennes obtenues avec le 3/4 seraient dûes à un excès de nutriments.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Parvenu au terme de notre travail qui avait pour objectif général de tester de tester l'impact de l'association du compost au *Rhizobium* sur la croissance du haricot commun (*Phaseolus vulgaris*).

Il était question pour nous en objectif spécifique 1 de produire le compost à base des déchets industriels tels que la bagasse de canne à sucre, la drêche de maïs, les déchets de fruits, la cendre de bois et la levure de bière ; Il en ressort que le compost produit était de très bonne qualité de par sa couleur, sa texture, sa granulométrie et son odeur d'humus (sous réserve de sa caractérisation).

En objectif spécifique 2, nous devrions caractériser le compost en déterminant les paramètres physicochimiques et microbiologiques ; il en ressort que tout au long du processus de compostage, la température, le pH et la conductivité électrique ont suivis le processus classique de compostage et le compost produit regorgeait des bactéries et des champignons dont les caractéristiques macroscopique et microscopique ont été présentés dans nos résultats.

En objectif spécifique 3, nous devrions évaluer l'impact du compost associé au *Rhizobium* sur la croissance du haricot commun tant sur les paramètres agronomiques, microbiologiques que biochimiques ; il en ressort que, l'association du compost au *Rhizobium* a un impact réel sur la croissance du haricot commun par une augmentation hautement significative du nombre de nodule, de la quantité d'azote, de protéine, et la capacité de la plante a absorbé la chlorophylle. Le traitement ayant le meilleur résultat a été le 2/4 de compost avec le *Rhizobium*.

Pour des travaux futurs, il sera intéressant :

- Refaire cette recherche en se basant sur d'autre plante que les légumineuses
- Refaire le compostage en suivant le dynamisme microbien à chaque phase.

REFERENCES

- Adams M. V., Coyne D. P., Davis J. H. C., Graham P. H., Francis, C. A. 1985.** Common bean (*Phaseolus vulgaris*). In: Summerfield RJ, Roberts EH ed. Grain legume crops. London, Collins. 433-476.
- Bohacz. A. J. 2018.** Compost et extraits aqueux de compost lignocellulosiques sous l'aspect de la fertilisation, de la formation de l'humus, de l'évaluation de la valeur sanitaire, phytosanitaire et de la phytotoxicité : valorisation des déchets et de la biomasse. 2837-2850.
- Bougnom B. P. 2019^a.** Gestion et traitement des déchets. Unité d'enseignement, niveau 4, département de microbiologie, *Université de Yaoundé I*, Yaoundé, Cameroun.
- Bougnom B. P. 2019^b.** Gestion des ordures solides. Unité d'enseignement, niveau 4, département de microbiologie, *Université de Yaoundé I*, Yaoundé, Cameroun.
- Bougnom. B. P., Dieudonne. O., Sontsa-Donhoung. A. M. 2020.** Evaluation of wood Ash as Additive for Cow Manure composting, *International Annals of Science*. 100-110.
- Bashan Y., Holguin G., Lifshitz R. 1993.** Isolation and characterization of plant growthpromoting rhizobacteria. *Methods in Plant Molecular Biology and biotechnology*, 21: 331-354.
- Beebe S., Rao I., Blair M., Acosta J. 2013.** Phenotyping common beans for adaptation to drought. *Frontiers in physiology*. 4-35.
- Broughton W. J., Hernandez G., Blair M., Beebe S., Gepts P., Vanderleyden J. 2003.** Beans (*Phaseolus spp.*)—model food legumes. *Plant and soil*. 252(1): 55-128.
- Canado I. C., Doussinague C., Villena E. 2003.** Technicien en agriculture. Ed. Cultural S. A. Madrid.519p.
- Carbas B., Machado N., Oppolzer D., Ferreira L., Queiroz M., Brites C., ... Barros A. I. 2020.** Nutrients, Antinutrients, Phenolic Composition, and Antioxidant Activity of Common Bean Cultivars and their Potential for Food Applications. *Antioxidants*. 9(2) : 186.
- Carbas B., Pathania S., Castanho A., Lourenço D., Veiga I. M., Patto M. C. V., Brites, C. 2018.** Elucidating potential utilization of Portuguese common bean varieties in rice based processed foods. *Journal of Food Science and Technology*, 55(3) : 1056-1064.

- Ceglie F. G., et Abdelrahman. H. M. 2018.** Ecological intensification through nutrients recycling and composting in organic farming: composting for sustainable Agriculture. 1-22.
- Cerda A., Artola A., Font X., Barrena R., Gea T., Sanchez A. 2018.** Compostage des déchets alimentaires : status and challenges. *Bioresource Technology*. 57-67.
- Chaux C. L., Foury C. L. 1994.** Productions légumières. 563 p. Paris.
- Chennaoui M., Salama Y., Makan A., Mountadar M. 2016.** Valorisation agricole d'un compost produit à partir du compostage en cuve des déchets municipaux. *European Scientific Journal*. 12(35): 247. 35p.
- Devani M. B., Shishoo J. C., Shal S. A. Suhagia B. N. 1989.** Spectrophotometrical method for determination of nitrogen in Kjeldahl digest. *Journal of the Association of Official Analytical Chemists*. 72: 953-956.
- Eci Oktaviani., Sudrajat., Dwi Susanto. 2017.** Effect of Inoculant *Rhizobium* and Compost as Amelioration On Growth of Peanut (*Arachis Hypogaea*) In Soil Post-Coal Mining. *International Journal of Scientific and Technology Research*.
- Ecoport. 2004.** Ecoport database. Ecoport.
- FAOSTAT 2019.** FAOSTAT. Available at: <http://www.fao.org/faostat/en/#home>.
- Farid M., Navabi A. 2015.** N₂ fixation ability of different dry bean genotypes. *Canadian Journal of Plant Science*. 95(6) : 1243-1257.
- Feix I. 2007.** Besoins de recherches et de transfert des résultats en matières de compostage dans un contexte de développement durable de la gestion biologique des déchets. *Techniques, Sciences, Méthodes*. 115-120.
- Fenta B. A., Beebe S. E., Kunert K. J. 2020.** Role of fixing nitrogen in common bean growth under water deficit conditions. *Food and Energy Security*. 9(1): 183.
- Giroux M., Audesse P. 2004.** Comparaison de deux methods de determination des teneurs en carbone organique, en azote tota et du rapport C/N de divers amendements organiques et engrais de ferme. *Agrosol*. 15(2): 6-8.
- Giusti F., Caprioli G., Ricciutelli M., Vittori S., Sagratini G. 2017.** Determination of fourteen polyphenols in pulses by high performance liquid chromatography-diode

- array detection (HPLC-DAD) and correlation study with antioxidant activity and colour. *Food chemistry*. 221: 689-697.
- Gomes M. J., Lima S. L., Alves N. E., Assis A., Moreira M. E., Toledo R. C., ... Martino H. S. 2020.** Common bean protein hydrolysate modulates lipid metabolism and prevents endothelial dysfunction in BALB/c mice fed an atherogenic diet. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*. 30 : 41-150.
- Hungria, M., Franco, A. A. 1993.** Effects of high temperature on nodulation and nitrogen fixation by *Phaseolus vulgaris* L. *Plant and Soil*, 149(1): 95-102.
- Hocini A. Meziani W. 2013.** Isolement et caractérisation de champignons cellulolytiques des sols de Béjaia. *Mémoire de Master en Environnement et Sécurité Alimentaire, Université Abderrahmane Mira- Béjaia*, 68p.
- Kakon S. S., Bhuiya M. S. U., Hossain S. M. A., Naher Q., Bhuiyan M. D. 2016.** Effect of nitrogen and phosphorus on growth and seed yield of French bean. *Bangladesh Journal of Agricultural Research*. 41(4): 759-772.
- Kan L., Nie S., Hu J., Wang S., Bai Z., Wang J., ... Song K. 2018.** Comparative study on the chemical composition, anthocyanins, tocopherols and carotenoids of selected legumes. *Food Chemistry*. 260 : 317-326.
- Kroll R. 2000.** Les cultures maraîchères, *Maisonneuve et Larose*. 219 pp.
- Koivula N., Raikkonen T., Urpilainen S., Ranta S., Hanninen K. 2004.** Ash in composting of source-separated catering waste. *Bioresource technology*. 93 : 291-299.
- Kuba T., Tschöll A., Partl C., Meyer K., Insam H. 2008.** Wood ash admixture to organic wastes improves compost and its performance. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 127 : 43-49.
- Lakitan B. 1995.** Physiologie végétale, croissance et développement. Raja Grafindo Persada. Jakarta Indonésien.
- Liu L., Wang S., Guo X., Zhao T., Zhang B. 2018.** Succession et diversité des microorganismes et leur association avec les propriétés physicochimiques pendant le compostage thermophile des déchets verts : Gestion des déchets. 101-112.

- Mamo M., Rosen C. J., Halbach T. R., 1999.** Nitrogen availability and leaching from soil amended with municipal solid waste compost. *Journal of environmental quality*, 1074-1082.
- Mays P., 2002.** Valorisation organique des biodéchets : le succès par la qualité. *Environnement and Technique*. 39-43.
- Mojica L., Mejia E. G., Granados-Silvestre M. Á., Menjivar, M. 2017.** Evaluation of the hypoglycemic potential of a black bean hydrolyzed protein isolate and its pure peptides using in silico, in vitro and in vivo approaches. *Journal of Functional Foods*. 31: 274-286.
- Moreno-Jiménez M. R., Cervantes-Cardoza V., Gallegos-Infante J. A., González-Laredo R. F., Estrella I., García-Gasca T. D. J., ... Rocha-Guzmán, N. E. 2015.** Phenolic composition changes of processed common beans: their antioxidant and anti-inflammatory effects in intestinal cancer cells. *Food Research International*. 76: 79-85.
- Mustafakulova F., Qobilov G. U. 2020.** Influence of salinity on growth, development and symbiotic properties of legumes, rhizobia symbiosis of alfalfa in vegetation experiments. *International Journal of Fauna and Biological Studies*, 7(3): 78-85.
- Nassary E. K., Baijukya F., Ndakidemi P. A. 2020.** Assessing the Productivity of Common Bean in Intercrop with Maize across Agro-Ecological Zones of Smallholder Farms in the Northern Highlands of Tanzania. *Agricultur.*, 10: 117.
- Neher. D. 2018.** Ecological sustainability in agricultural systems: definition and measurement, Integrating sustainable agriculture, ecology, and environmental policy. Routledge. 51-61.
- Nwaga. 2018.** Biotechnologies des symbioses. *Université de Yaoundé I*, Yaoundé, Cameroun.
- Nyabyenda P. 2005.** Les plantes cultivées en régions tropicales d'altitude d'Afrique : généralités, légumineuses alimentaires, plantes à tubercules et racines céréales. *Presses agronomiques de Gembloux*.
- OMS. 1993.** Urban Solid waste Management, Ed 1985 et 1991.
- Pavard G., 2019.** Isolement et caractérisation de bactéries appartenant au groupe des *Bdellovibrio* et organismes apparentés et leurs proies dans un grand lac. *Science de l'environnement*, 40p.

- Perry J. J., Staley J.T., Lory S., 2004.** Microbiologie. Edition Dunod, Paris.
- Petry N., Boy E., Wirth J. P., Hurrell R. F. 2015.** The potential of the common bean (*Phaseolus vulgaris*) as a vehicle for iron biofortification. *Nutrients*. 7: 1144-1173.
- Pujolà M., Farreras A., Casañas F. 2007.** Protein and starch content of raw, soaked and cooked beans (*Phaseolus vulgaris*). *Food Chemistry*. 102(4): 1034-1041.
- Reverri E. J., Randolph J. M., Kappagoda C. T., Park E., Edirisinghe I., Burton-Freeman B. M. 2017.** Assessing beans as a source of intrinsic fiber on satiety in men and women with metabolic syndrome. *Appetite*, 118: 75-81.
- Robertson F. A. Morgan W. C. 1995.** Mineralization of C and N in organic materials as affected by duration of composting. *Australian Journal of Soil Research*. 33: 511-524.
- Saidi S., Ramirez-Bahena M.-H., Santillana N., Zuniga D., Alvarez-Martinez E., Peix A., Mhamdi R., Velazquez E. 2014.** *Rhizobium laguerreae* sp. nov. nodulates *Vicia faba* on several continents. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 64: 242–247.
- Said-Pullicino D., Kaiser K., Guggenberger G., Gigliotti G. 2007.** Changes in the chemical composition of water-extractable organic matter during composting: Distribution between stable and labile organic matter pools. *Chemosphere* 66: 2166-76.
- Salisbury F. B., Ross C. W. 1995.** Plant Physiology (translated). ITB Press. Bandung. Indonesian.
- Shi Z., Zhu Y., Teng C., Yao Y., Ren G., Richel A. 2020.** Anti-obesity effects of α -amylase inhibitor enriched-extract from white common beans (*Phaseolus vulgaris*) associated with the modulation of gut microbiota composition in high-fat diet-induced obese rats. *Food and Function*. 1624-1634.
- Silva D. A. D., Pinto-Maglio C. A. F., Oliveira É. C. D., Reis R. L. D. M. D., Carbonell S. A. M., Chiorato A. F. 2020.** Influence of high temperature on the reproductive biology of dry edible bean (*Phaseolus vulgaris*). *Scientia Agricola*, 77(3).
- Somasegaran P., Hoben H.J. 1994.** Handbook for Rhizobia: Methods in Legumes-Rhizobium Technology. Springer-Verlag. New York, Inc., 1. 450p.
- Somers E., Vanderleyden J., Srinivasan M. 2004.** Rhizosphere Bacterial signaling: A Love parade Beneath our Feet. *Critical Reviews in Microbiology*. 30(4): 205-240.

- Sprent J.I., Ardley J., James E.K. 2017.** Biogeography of nodulated legumes and their nitrogen- fixing symbionts. *New phytologist*, 215 (1): 40-56.
- Steger MF., Frazier P., Oishi S., Kaler M. 2006.** The Meaning of Life Questionnaire: assessing then presence of and search for meaning in life. *Journal of Counseling Psychology*, 53: 80-93.
- Surtiningsih T., Farida., Nurhariyati T. 2009.** Rhizobium Biofertilisation on Soybean (*Glycine max*). *Hayati* 15: 31–35.
- Tembo L., Namebo M., Chanda R., Kafwa K., Munyinda K. 2019.** Genotypic Variation for Response to Phosphorus Fertilization in Common Bean Mutants. *Crops*. 4(1): 1116.
- Tiquia S. M., Tam N. F. Y., Hodgkiss I. J. 1997.** Effects of turning frequency on composting of spent pigmanure sawdust litter. *Bioresource Technology*. 62: 37-42.
- Tiquia S. M. 2010.** Reduction of compost phytotoxicity during the process of decomposition. *Chemosphere*. 70: 506- 512.
- Toews R., Wang N. 2013.** Physicochemical and functional properties of protein concentrate from pulses. *Food Research International*. 52(2): 445-451.
- Ulin M. N., Sisca N., Arifin. 2015.** Effect of Application Legin and Compost Against Crop Peanut (*Arachis hypogaea L.*) Varieties Giraffe. *Brawijaya University*. Malang.
- UNEP-IETC., HIID. 1996.** International source Book on Environmentally Sound Technologies for Municipal Solid Waste Management. *Centre International de technologie environnementale*, 427 p.
- Wortmann C. S., Brink M., Belay G. 2006.** *Phaseolus vulgaris L.* (common bean). Record from PROTA4U. Brink, M. and Belay, G. (Editors). PROTA (Plant Resources of Tropical Africa/Ressources végétales de l’Afrique tropicale), Wageningen, Netherlands.
- Yang Q. Q., Farha A. K., Cheng L. Z., Kim G., Zhang T., Corke H. 2020.** Phenolic content and in vitro antioxidant activity in common beans (*Phaseolus vulgaris*) are not directly related to anti-proliferative activity. *Food Bioscience*. 100662.
- Youagang G. H. S., Ngo Nkot L, Asseng C. C., Nyata Ngolisa A. I. C., Ngakou A., Nwaga D. 2020.** Isolation and characterization of Legume Nodulating Bacteria Isolated form common bean (*Phaseolus vulgaris L*) nodule. *Global Scientific Journals*. (5): 1777-

1792. **Yu. Z., Tang. J., Liao. H., Liu. X., Zhou. P., Chen. Z., Zhou. S. 2018.** La communauté microbienne distinctive améliore l'efficacité du compostage dans une usine de compostage hyperthermophile à grande échelle. *Bioresource Technology*. 146-154.
- Zahran H. H. 1999.** *Rhizobium*-legume symbiosis and nitrogen fixation under severe conditions and in an arid climate. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 63: 968-989.
- Zinga I., Longue R.D., Komba E.K., Beaumont C., Semballa S. 2016.** Evaluation de la teneur en protéines et en chlorophylle dans les feuilles de cinq variétés locales de manioc infectées par la mosaïque en République Centrafricaine. Articles originaux. *Tropicultura*, 34 : 3-9.

ANNEXES

Annexe 1 : Technique opté pour le mélange de la matière organique à composter



Annexe 2 : Test du taux d'humidité



Annexe 3 : Caractéristiques des isolats bactériens de l'expérimentation

	Diamètre	Forme	Couleur	Aspect	Présence de mucus	Viscosité	Transparent ou opacité	Eclat	Relief	Type de bactérie
NJ5	0,50	Arrondie	Beige	Homogène	Pas de mucus	Pas visqueuse	Opaque	Brillante	Plate	Gram-

Annexe 4 : Composition des milieux de culture

Milieu YEMB (Yeast Extract Mannitol Broth)
ExtractMannitol agar)

- Mannitol 10g/l
- Extrait de levure 0,5g/l
- KH₂PO₄ 0,2g/l
- NaCl 0,1g /l
- Eau distillée 1000ml
- pH ajusté à 6,8

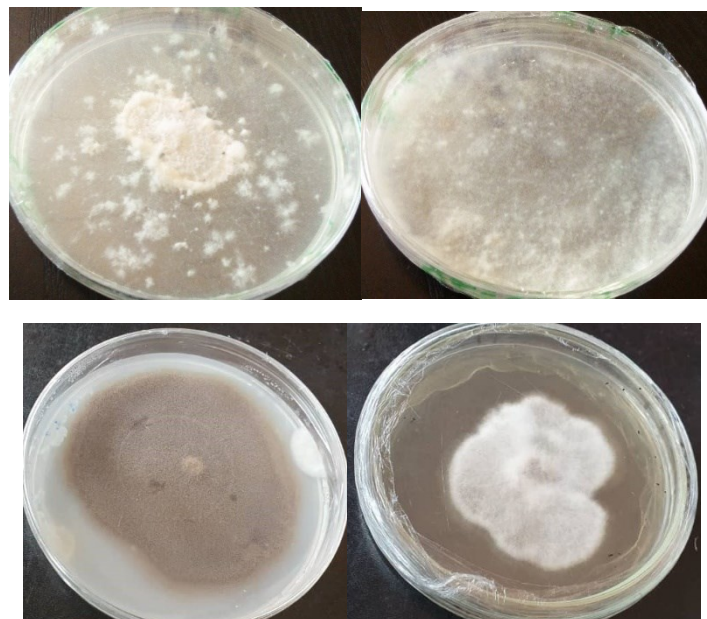
Milieu YEMA (Yeast

- Milieu YEMA+ agar (15g/l)

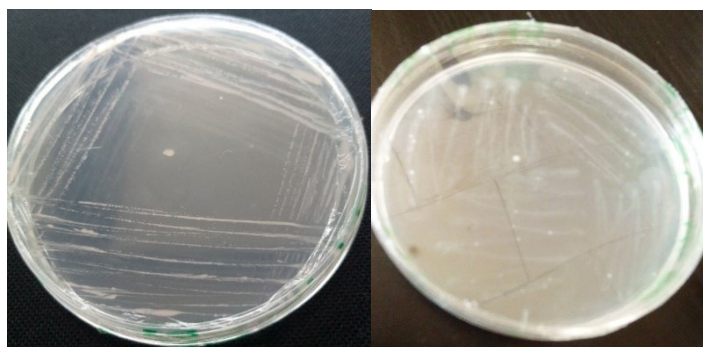
Gélose nutritive

- Peptone 5g/l
- NaCl 5g/l
- Extrait de levure 1,5g/l

Annexe 5 : Aspect macroscopique de quelques morphotypes de champignons présent dans le compost.



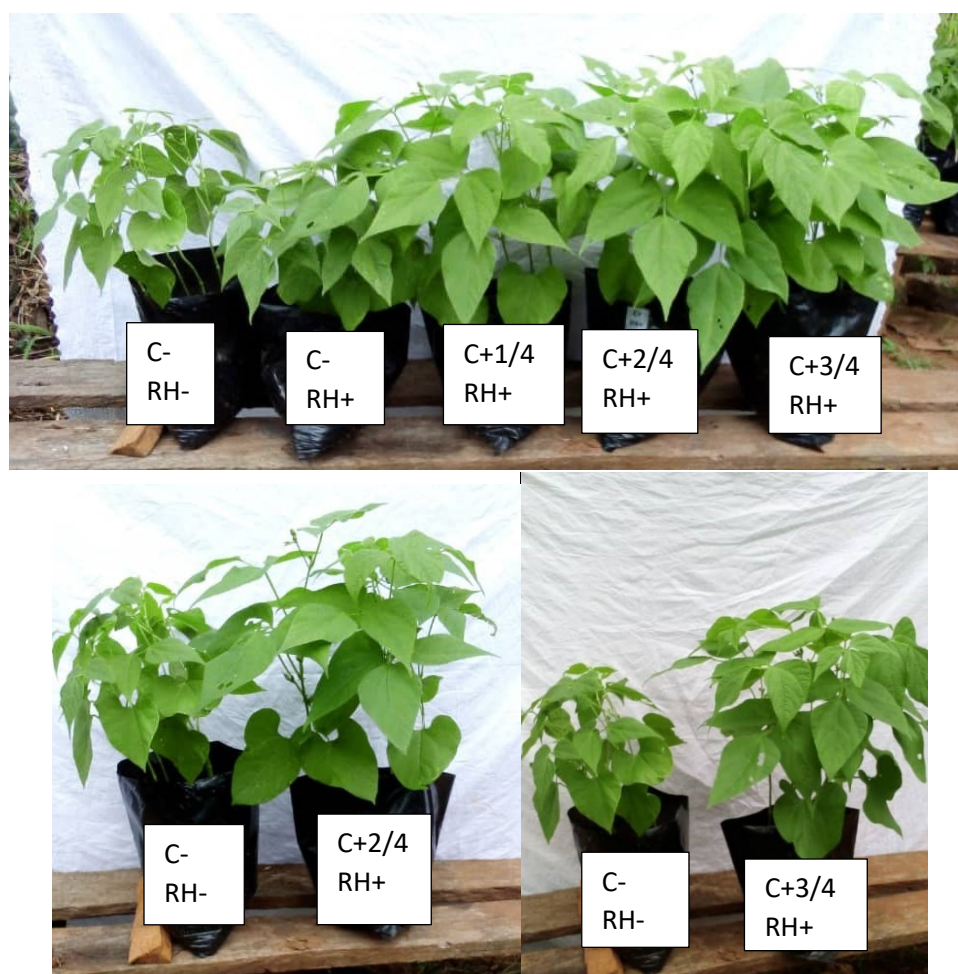
Annexe 6 : Bactéries purifiées



Annexe 7 : Pesé et mélange du substrat et du compost



Annexe 8 : Traitements ayant reçu le compost et le *Rhizobium* par rapport au témoin 30 jours après le semis.



Annexe 9 : Fleures et feuilles du haricot commun



Annexe 10 : Impacte de l'association du compost au Rhizobium sur les racines de Phaseolus vulgaris.



Annexe 11 : Maladies et ravageurs de *Phaseolus vulgaris*

