# **ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET UNIVERSITAIRE**

UNIVERSITE CATHOLIQUE DE BUKAVU

** (U.C.B)**

**B.P. 285 Bukavu**

**FACULTE DES SCIENCES AGRONOMIQUES**

OPTION : **SCIENCE DU SOL**

DETERMINATION DE LA COMPOSITION CHIMIQUE PAR LA TECHNIQUE DE COMPOSTAGE DE DECHET DE PULPE DE CAFE PRODUIT DANS LES STATIONS DE LAVAGE DE CAFE A IHUSI ET NYAMUKUBI DANS LE TERRITOIRE DE KALEHE.

*Mémoire présenté pour l’obtention du diplôme de licence d’ingénieur en sciences agronomiques*

Présenté par : **KAJEMBA NELSON**

**Dirigé par** Prof**. BISIMWA BASENGERE Espoir Codirigé par As. Médard MUFUNGIZI MUTWANGASHABA**

**ANNEE ACADEMIQUE 2021-2022**

**MISE EN GARDE**

« Toute reproduction du présent document, par quelque procédé que ce soit, ne peut être réalisée qu'avec l'autorisation de l'auteur et de l'autorité académique\* de l’Université Catholique de Bukavu » ; (\* Dans ce cas, l'autorité académique est représentée par le(s) promoteur(s) membre(s) du personnel enseignant de l’Université Catholique de Bukavu).

« Le présent document n'engage que son auteur »

# **EPIGRAPHE**

« IL faut rendre à l’agriculture sa place et son rang » De Alphonse Karr

# **DEDICACE**

Ma grand-mère NAKAKALA MWA CONSOLATE,

A Mon cher Père BAMUNOBA BYAKISAKA Guillaume

A ma chère A et tendre mère KAJEMBA BAHOGWERE Solange

A tous mes amis qui m’ont soutenu durant les parcours académiques

A toute la famille BAMUNOBA, Famille KAJEMBA Erick et Famille Kajemba Tibère

KAJEMBA Nelson

# **REMERCIEMENTS**

Tout d’abord nous remercions Dieu tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d’entamer et de terminer ce mémoire.

Ensuite, il serait ingrat de ne pas signaler que ce travail ne serait pas riche et n’aurait pas pu voir le jour sans l’aide et l’encadrement du Professeur BISIMWA BASENGERE Espoir mais également de Monsieur l’Assistant Médard MUFUNGIZI. Raison pour laquelle nous disons un grand merci pour leur disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.

Nos remerciements à mes très chers parents qui ne ménagent aucun effort pour la réalisation de ce mémoire ;

Notre remerciement s’adresse aussi à tous ceux qui ont contribués pour la réalisation de ce travail,

Sans oubliés nos professeurs et assistants par leurs générosités et patiences dont ils ont fait preuve malgré leurs multiples charges, les équipes des différents coopératifs agricoles de caféiers.

SIGLES ET ABREVIATIONS

**AFEQ :** Association de fertilisation du Québec

**ANOVA:** Analysis of variance

**C/N:** Rapport

**Ca :** Calcium

**CAID :** Cellule d’Analyse des Indicateurs de Développement

**Cu :** Cuivre

**CV :** coefficient de variation

**FAO**: Food and Agriculture Organization

**FH:** Food for the Hungry

**IFDC:** International Fertilizer and development Center

**Mg :** Magnésium

**NPK :** Azote- Phosphore- Potassium

**NS :** Non Significative

**PH :** Potentiel d’Hydrogène

**PPDS :** Plus petite Différence Significative

**UCB :** Université Catholique de Bukavu

# TABLE DE MATIERE

[**EPIGRAPHE**](#_Toc144213656)

[**DEDICACE**](#_Toc144213657)

[**REMERCIEMENTS**](#_Toc144213659)

SIGLES ET ABREVIATIONS

TABLE DE MATIERE

[**RESUME**](#_Toc144213662)

[**ABSTRAT**](#_Toc144213663)

**0. INTRODUCTION**

CHAPITRE I : REVU E DE LITTERATURE

**I.1. IMPORTANCE DE LA FUMURE ORGANIQUE DANS LA FERTILISATION**

**I.2. UTILISATION DES PULPES DE CAFE DANS LA FERTILISATION**

**I.2.1. Généralités sur le caféier**

**I.2.2. Propriétés des pulpes de café**

**I.2.3. Production de compost à partir des pulpes de café**

**I.3. LE COMPOSTAGE**

**I.3.1. Principe général**

**I.3.2. Différents types de compost**

**I.3.3. Principaux paramètres du compostage**

CHAPITRE II : MILIEU ET METHODOLOGIE

II.1. PRESENTATION DU MILIEU D’ETUDE

**II.1.1. Localisation**

**II.1.2. Climat et hydrographie**

**II.1.3. Végétations et sol**

**II.1.4. Agriculture à Kalehe**

**II.2. MATERIELS**

**II.3. METHODES**

**II.3.1. Collecte des pulpes de café**

**II.3.2. Compostage**

**II.3.2. Analyse du compost au laboratoire**

**II.3.3. Analyse des données**

**II.3.4. Limites méthodologiques**

CHAPITRE III. RESULTATS ET DISCUSSIONS

**III.1. 1.Evaluation des effets des sites sur les propriétés du compost**

**III.1.2 Evaluation des effets de la profondeur de compostage sur les propriétés du compost**

**III.1.3 Evaluation des effets combinés des sites et de niveaux de compostage sur les propriétés du compost**

**III.2. DISCUTION DES RESULTATS**

**CONCLUSION ET SUGGESTION**

**REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE**

[**ANNEXES**](#_Toc144213695)

# **RESUME**

La fertilisation des cultures est un défi important en agriculture. Il est important que la recherche trouve des alternatives importantes visant la maximisation des produits diverses comme fertilisants. Cela permet aux agriculteurs d’adopter les types de fertilisants disponibles en minimisant surtout les déficits liés aux exportations des récoltes. Cette étude était axée sur la détermination des éléments chimiques dans le compost des pulpes de café. Spécifiquement, cette étude visait d’évaluer les effets des facteurs sites et profondeur de compostage sur la composition en Azote, Potassium et Phosphore du compost à base des pulpes de café. La méthode expérimentale a facilité la réalisation de cette étude. Elle est partie de la collecte des résidus dans les stations de lavage de café d’Ihusi et Nyamukubi et leur stockage dans les creux de compostage. Il s’en est suivi la récolte du compost trois mois après pour faciliter les analyses au laboratoire. Les analyses de laboratoire effectuées visaient de trouver les teneurs en N, P et K dans le compost. Les facteurs des sites et des niveaux de compostage étaient évalués pour ce faire. Les résultats trouvés ont montré que le facteur site a affecté significativement la variation de la teneur en K du compost. Le compost de Nyamukubi a produit une moyenne de 18.46ppm de potassium, soit élevée par rapport à celui d’Ihusi  (11.46ppm). Les teneurs en azote et phosphore du compost n’ont pas varié en fonction des sites. Elles ont fourni des moyennes respectives 5,23% et 1,94 ppm. En fonction des niveaux de compostage, aucune différence significative n’a été trouvée sur les propriétés du compost étudié. Les moyennes de N, P et K trouvées étaient de 4,83% ; 2,2ppm et 15,2ppm. Les facteurs combinés des facteurs des sites et des niveaux de compostage n’ont pas influencé de manière significative les propriétés du compost. Les moyennes respectives de 4,53% d’N ; 1,48 ppm de P et 14,56ppm de K ont été trouvées. Il est recommandé aux chercheurs postérieurs de continuer cette étude en impliquant différentes méthodes de compostage et des profondeurs variées de compostage, en analysant une diversité d’éléments nutritifs afin d’évaluer la faisabilité d’adoption du compost à base des pulpes de café comme fertilisant.

**Mots clés : Pulpes de café, Valorisation, Compost, Ihusi, Nyamukubi**

# **ABSTRAT**

Crop fertilization is an important challenge in agriculture. It is important that research finds significant alternatives aimed at maximizing various products as fertilizers. This allows farmers to adopt the types of fertilizers available, especially minimizing the deficits linked to crop exports. This study focused on the determination of chemical elements in the compost of coffee pulp. Specifically, this study aimed to evaluate the effects of the site and depth factors of composting on the composition of Nitrogen, Potassium and Phosphorus of compost made from coffee pulp. The experimental method facilitated the realization of this study. It started from the collection of residues in the coffee washing stations of Ihusi and Nyamukubi and their storage in the composting pits. This was followed by the harvesting of the compost three months later to facilitate laboratory analyses. The laboratory analyzes carried out aimed to find the N, P and K contents in the compost. The factors of the sites and the levels of composting were evaluated to do this. The results found showed that the site factor significantly affected the variation of the K content of the compost. The Nyamukubi compost produced an average of 18.46ppm of potassium, which is high compared to that of Ihusi (11.46ppm). The nitrogen and phosphorus contents of the compost did not vary according to the sites. They provided respective averages of 5.23% and 1.94 ppm. Depending on the levels of composting, no significant difference was found on the properties of the compost studied. The averages of N, P and K found were 4.83%; 2.2ppm and 15.2ppm. The combined factors of site factors and composting levels did not significantly influence compost properties. The respective averages of 4.53% N; 1.48 ppm of P and 14.56 ppm of K were found. It is recommended that subsequent researchers continue this study involving different composting methods and varying depths of composting, analyzing a variety of nutrients to assess the feasibility of adopting coffee pulp compost as a fertilizer. .

Keywords: Coffee pulp, Valorization, Compost, Ihusi, Nyamukubi

# **0. INTRODUCTION**

En République Démocratique du Congo (RDC), la filière de café a connu pendant plusieurs années une situation de déséquilibre permanent entre l’offre et la demande. Pourtant, le café est la principale culture de rente et source de revenu des producteurs, et qui présente environ 61% des exploitations des produits agricoles pour le pays (FAO, 2010). Le déséquilibre était lié aux faibles productions induites par les différentes contraintes de plusieurs ordres dont la baisse de la qualité des sols essentiellement (De Groot et *al*, 2013).

Dans la population locale, le café joue un grand rôle dans vie socioéconomique de la population locale selon les données du 10-20Aoùt 2016 récoltés par CRS (CATHOLIC RELIEF SERVICES) dans le rapport intitulé Kahawa Bora ya Kivu, le changement de revenu des ménages a eu un impact positif sur le changement de la qualité de vie des ménages producteurs de café. Ce rapport révélé une augmentation remarquable du revenu de ménages issu de la vente dont l’accroissement a été influencé dans une grande mesure par l’amélioration du prix du café.

Sud-Kivu l’une des provinces productrices de café, est caractérisé par les sols naturellement Kivu, infertiles. Plusieurs facteurs sont à la base de la baisse de fertilité du sol dans cette province, parmi lesquels nous pouvons citer les facteurs naturels, humains, économiques et agronomiques (KOSSOUMWA L., 2007)

Les sols du Sud-Kivu sont le plus souvent des ferralsols, humifère, épais et ferralitiques Caractérisés par une infertilité du à divers facteurs humains, économiques agronomiques et se traduisant entre autre par la perte des nutriments et une acidité élevé (Muluma-wa-lola, 2012).

Les paysans considèrent la faible fertilité des sols comme la contrainte principale suivie de la sécheresse et perturbation climatiques.

Pour pallier la perte continuelle de fertilité des sols, divers techniques et pratiques sont recommandées telles que le contrôle de l’érosion hydrique, l’utilisation des plantes fixatrices d’Azote, l’utilisation de matière organique, l’utilisation des engrais organiques.

Le recours à la méthode de compostage en utilisant les résidus biodégradables est l’une des solutions proposées par la recherche agricole comme réponse à la disponibilité des fertilisants organiques (Remadna et toumi, 2020).

Le compostage joue un rôle important dans la maximisation des déchets organiques biodégradables ayant des propriétés acceptables en réponse aux besoins des cultures.

En observant les différents sites station de lavage dans la région riveraines au lac Kivu, abondante et la quantité des déchets de pulpes de cafés non valorisés ; vu l’absence de filière de valorisation des déchets, cette étude s’est intéressée sur les méthodes de compostage des pulpes des cafés.

C’est ainsi que notre travail s’est fixé comme objectif global de valoriser des pulpes de café pour contribuer à l’amélioration de la fertilité des sols.

Il a pour objectif spécifique de :

* De déterminer la concentration des éléments nutritifs dans les déchets de pulpes de café en décomposition enfin de valoriser les déchets de pulpes de café.
* De comparer la teneur des éléments nutritifs dans les déchets à celui dans le sol et voir si on peut l’utiliser dans la fertilisation de sol comme compost

Les hypothèses suivantes peuvent être émises :

-les déchets de pulpes de café contribueraient à l’amélioration de la fertilité du sol.

-le compostage de pulpes de café serait une solution favorable à la rareté de l’engrais dans le marché.

Outre l’introduction, la conclusion et recommandations, ce travail est subdivisé en trois chapitres. Le premier présentera la revue de littérature, le second présentera le milieu, matériel et méthodologies et le troisième présentera les résultats et discussions de ces derniers

# CHAPITRE I : REVU E DE LITTERATURE

## **I.1. IMPORTANCE DE LA FUMURE ORGANIQUE DANS LA FERTILISATION**

Les engrais organiques sont des matières provenant des plantes ou des animaux. Lorsqu’elles sont déposées sur le sol ou qu’elles sont enfouies, elles augmentent la fraction organique du sol. Elles peuvent se transformer en humus selon les processus d’humification (AFEQ, 2002).

Plusieurs types d’engrais organiques sont à distinguer : le fumier végétal, le fumier animal, purin animal, le purin végétal, le compost et les engrais verts (AFEQ, 2002).

L’apport de la matière organique étant une pratique plus ancienne dans l’agriculture, ce dernier consiste à apporter à divers degrés de décomposition au sein des champs. De ce fait, (Pouyat., 2008), distingue le fumier, le compost, les résidus de cultures, les déchets, les engrais verts etc. les fertilisants organiques en interaction avec toutes les composantes de la fertilité du sol, jouent un rôle important (Coulibaly et al. 2008).

Les matières organiques jouent trois rôles dont : le rôle physique, nutritionnel, et énergétique. De par la richesse en carbone et hydrogène, partant de l’énergie, libèrent par oxydation des quantités prépondérantes d’énergies au profit des micro-organismes du sol. Partant de son rôle physique, il y a colonisation par les populations microbiennes lorsque les matières organiques sont incorporées dans le sol. Les exsudats de ces organismes et de leurs produits de dégradation agissent sur les propriétés d’agrégation des sols (IFDC, 2020).

Au plan nutritionnel, le processus de minéralisation aboutit à la libération des éléments structuraux composant les substances organiques entre autre le Phosphore et l ‘Azote (Olejado et *al.* 2011). C’est dans ce cadre que la matière organique contribue à l’amélioration de la production végétale tout en améliorant les différentes composantes de la fertilité des sols (Pouyat, 2008). Cependant, la fumure organique à elle seule, ne suffit pas par le fait qu’elle n’est souvent pas disponible en vue d’assurer le niveau de production significatif par les agriculteurs (FAO, 2003)

## **I.2. UTILISATION DES PULPES DE CAFE DANS LA FERTILISATION**

### **I.2.1. Généralités sur le caféier**

Le caféier appartient au genre *coffea L*., de la famille des Rubiacée. Le sous genre coffea maintenant divisé en deux sections : coffea et mascarocoffea, comprend la plupart des espèces de caféier actuellement connues. Seules les espèces *coffea arabica* et *coffea canephora* sont utilisées en grande culture jusqu’à ce jour (Cambrony, 1982).

Le caféier est un arbre buissonnant qui peut atteindre 3 à 4 mètres de hauteur. Le système aérien est constitué d’un axe verticale ou axe orthotrope à croissance continue et sur lequel sont inséré les rameaux primaires ou rameaux plagiotropes opposés deux à deux. A l’aisselle de chaque paire de feuilles de l’axe orthotrope (nœud), un seul ou unique bourgeon va se transformer en rameau primaire tandis qu’une multitude des bourgeons dormants pourront évoluer en tiges orthotropes lorsque les conditions le permettront. La lumière est un facteur favorable à l’émission de ces tiges orthotropes supplémentaires.

Les deux espèces de caféier arabica et robusta possèdent des caractéctéristiques différentes :

1. ***Coffea arabica***

Il atteint à l’état sauvage une hauteur de 8 à 10 m et son système racinaire pivotant acquiert parfois un très fort développement. Les feuilles sont longues de 8 à 20cm et larges de 3à7cm. Les rameaux long et ﬂexible, portent des feuilles vertes, luisantes à leur face supérieure des feuilles. Il est tétraploïde (2n=44) et autogame à 90%. Les ﬂeurs de couleurs blanche, apparaissent au nombre de 4 à 18 à l’aisselle des feuilles. L’arabica présente parfois de la cauliﬂorie (Cambrony, 1982).

1. ***Coffea canephora***

A l’état spontané, le caféier Robusta atteint 8à15m de hauteur. Son système racinaire est moins pivotant et structuré que celui de l’arabica. Les feuilles mesurent 15 à25cm de longueur et 5 à 12 cm de largeur, de couleur verte luisante à leur face supérieure. Les domaines y sont peu perceptibles. Il diploïde (2n=22) et autostérile. Les ﬂeurs de couleur blanche sont très nombreuses, et les bourgeons ﬂoraux éclosent l’année même de leur formation ((Pochet et Fleama, 2001).

### **I.2.2. Propriétés des pulpes de café**

Les pulpes de café possèdent plusieurs propriétés, soit physiques, chimiques et également bioactives.

1. **Propriétés physiques des pulpes de café**

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

En effet, lorsque les pulpes de café deviennent de plus en plus humides, l'adhésion entre les grains augmente et ces derniers forment des agglomérats de plus grande taille. L'angle de talus quant à lui reste le même, peu importe le taux d'humidité des pulpes de café. L'angle de talus est une donnée utile pour déterminer les superficies nécessaires des aires d'entreposage des pulpes de café après l'avoir récupéré. La densité apparente des pulpes de café est environ de 0,42 g/cm3 et la densité réelle est d'environ 1,16 g/cm3. En ce qui concerne leur porosité, les grains de pulpes de café ne possèdent pas de micropores. En général, la porosité est de 0,63, peu importe le taux d'humidité et la taille des pores, est d'environ 10 µm. (Chen et autres, 2103) Toutefois, cette porosité peut être augmentée si nécessaire en diminuant la cristallinité des pulpes de café en dégradant sa matrice cellulose-lignine. (Ballesteros et *al.* 2010) Enfin, la surface des grains est de charge négative (Shen et Gondal, 2013).

1. **Propriétés chimiques des pulpes de café**

Les glucides sont les éléments les plus abondants dans les pulpes de café. En effet, les pulpes de café sont riches en cellulose et en hémicellulose. Plus précisément, les pulpes de café contiennent 46,8 % de mannose, 30,4 % de galactose, 19 % de glucose et 3,8 % d'arabinose. Ces données varient d’une étude à l’autre, cela pouvant être dû à la variété des grains de café utilisée. Dans les pulpes de café expresso, le galactomannane est le plus abondant et représente 50 % des glucides (Konami et *al.* 2008 ; Ballesteros et *al.* 2010)

En ce qui concerne les lipides, les données varient principalement entre 9,3 % et 16,2 %, parfois aux alentours de 20 %. De plus, cet ordre de grandeur ne varie pas significativement entre l'arabica et le robusta. La part de lipides dans les grains café, quant à eux, varie entre 11 % et 20 %. Plus précisément, celle du café arabica varie entre 14 % et 20 % et celle du café robusta entre 11 % et 16 %. Les lipides n'étant pas extraits de manière efficiente dans un milieu aqueux, il est normal de retrouver la quasi-totalité de ceux-ci après que le café eut été filtré. Une part de lipide relativement similaire dans les différents types de pulpes de café facilite la récupération du café et sa réutilisation. En effet, la matière récupérée peut ainsi être un mélange des différentes pulpes de café. Aussi, les lipides des pulpes de café sont composés de 84,4 % de triglycérides. Ceux-ci sont représentés par l'acide linoléique (C18:2), l'acide palmitique (C18:2) et (C16:0), l'acide oléique (C18:1) et l'acide stéarique. (Melo et autres, 2014) Les lipides des pulpes de café contiennent aussi des stérols, dont le sitostérol (10-14 % de pulpe de café), le stigmastérol (4-5 %) et le campe stérol (3-4 %) (Vega et *al,* 2015).

Ensuite, les pulpes de café contiennent entre 6,7 et 14 % de protéines selon les études et est de même ordre chez l'arabica ou le robusta. Cependant, il se peut que ces estimations soient surévaluées à cause de la présence d’autres composés contenant de l'azote tel que la caféine ainsi que plusieurs acides aminés. En effet, 17 aminés sont présents dans les pulpes de café, dont les neuf acides aminés essentiels. Ces derniers représentent presque 50 % des acides aminés présents (annexe 13). De plus, la concentration des acides aminés essentiels des pulpes de café industriel est deux fois plus grande que dans le tourteau de soya, celle-ci pouvant être jusqu’à 3,7% dans les pulpes de café. Aussi, les pulpes de café possèdent une forte concentration en acides aminés à chaîne latérale ramifiée (BCAA) (Vega et *al.* 2015).

1. **Propriétés bioactives des pulpes de café**

Les pulpes de café arabica possèdent une activité anti-radicalaire légèrement supérieure à celle des pulpes de café robusta. Cependant, le pulpe de café robusta montre une meilleure capacité d'absorption de l'oxygène radicalaire que les pulpes de café arabica. Aussi, les pulpes de café des deux espèces possèdent une activité antitumorale assez similaire. Cette activité est sans doute liée à la présence de pigments bruns (mélanoïdes et polyphénols) formés lors de la torréfaction des grains de café. De plus, il a été montré que le pulpe de café possède également des propriétés anti-allergènes et dans une moindre mesure des propriétés anti-inflammatoires. (Ramalakshmi et *al.* 2009)

Enfin, il a été montré que les pulpes de café utilisés dans des capsules individuelles garde une stabilité microbienne pendant 15 jours dans un contenant de polyéthylène téréphtalate entreposé dans une pièce à air ambiant (22 °C ± 3 °C). De plus, les capacités bioactives des pulpes de café ne sont pas diminuées pendant cette même période. (Belviso et *al*. 2014) Ainsi, la pertinence d’utiliser des contenants de récupération en polyéthylène téréphtalate dans les aires de génération des établissements est à considérer.

En conclusion, la composition chimique des pulpes de café est très variée, des glucides aux lipides, en passant par les protéines, et sans oublier les minéraux et les antioxydants. Cette variété de matériaux présents dans les pulpes de café laisse entrevoir de nombreuses possibilités de valorisation et d'utilisation.

**I.2.3. Production de compost à partir des pulpes de café**

Avec un bon ratio C/N, les pulpes de peuvent être utilisé comme fertilisant. Ainsi, trois méthodes de compostage avec des pulpes de café ont été comparées, soit le vermis compostage, le compostage en cuve et le compostage en andain. Le compostage en cuve présente des résultats plus rapides, mais montre une plus grande perte en azote. Or le compostage en andain montre une plus grande augmentation en azote à hauteur de 75 %. En ce qui concerne le vermis compostage, il est fortement suggéré d’agir en Co compostage en mélangeant les pulpes de café avec d'autres matières organiques pour augmenter la quantité de nutriments (Adi et Noor, 2009), car l'utilisation des seuls pulpes de café augmente la mortalité des vers de terre. (Liu et Price, 2011).

Une autre étude a montré que les pulpes de café à expresso utilisé seul diminue la concentration en minéraux des feuilles de laitue, notamment par la présence de certains constituants bioactifs telle que la caféine. Cependant, les concentrations des macroéléments et des éléments bioactifs augmentent lorsque les pulpes de café sont mélangées avec un autre compost, dans une proportion allant de 5 % à 30 % selon les études. (Cruz et *al,* 2014; Cruz et *al,* 2015) Aussi, l'utilisation des pulpes de café dans un mélange de compost avec une proportion supérieure de 10 % peut provoquer une augmentation des qualités nutritionnelles des cultures de laitue, mais une légère diminution des rendements (Cruz et *al.*, 2015).

Par exemple, l'activité antioxydant des laitues peut être augmentée grâce à l'utilisation des pulpes de café (Cruz et autres, 2014b). De plus, l'utilisation de pulpes de café dans une proportion de 20 % à 30 % intensifie la couleur des feuilles de laitues. Ainsi, l'utilisation des pulpes de café dans la culture de laitue est à considérer si une qualité nutritionnelle supérieure est privilégiée au rendement. Dans le cas où le rendement avec une qualité standard est recherché, les pulpes de café n'est peut-être pas la solution. (Cruz et *al.* 2015).

Enfin, soumis à une biométhanisation, le digestats recueilli mélangé avec 25 % à 50 % de tourbe donne un compost de très bonne qualité (Kostenberg et Marchaim, 2008). Cependant, cette utilisation n'est pas probable à Montréal, car les usines de biométhanisation sont prévues pour traiter une récupération globale de la matière organique, dont les pulpes de café fait partie. Ainsi, une récupération spécifique des pulpes de café en vue d'une biométhanisation n'est pas envisageable.

Importance de pulpe comme engrais

Le café peut être utilisé comme une sorte d’engrais car il contient de l’azote et du calcium où le café fournit aux plantes l’humidité nécessaire .il augmente l’acidité du sol pour les plantes qui poussent dans les sols acides .il augmente l’aération du sol, où il introduit plus d’oxygène dans les racines des plantes.

Importance de marc de café

D’autre pays comme l’Ethiopie, Yémen, Amérique centrale ou encire la Bolivie utilisent ces pulpes dans l’infusion pour avoir du thé. Dans notre pays la République démocratique du Congo en utilisent comme compost mais peu valorisé. Les pulpes de café et autres sous-produits des café une fois liquéfié donnent les marcs de café qui constituent un bon engrais qui est durable et efficace présentent plusieurs avantages par rapport aux engrais traditionnels. Les marcs de café sont riches en azotes indispensable à la croissance des plantes et d’autres macroéléments indispensables tels que le phosphore, potassium et le magnésium. Lorsqu’il est ajouté au sol, le marc de café peut contribuer à améliorer la structure du sol, augmenter la rétention d’eau et à favoriser la croissance saine des racines.

Un autre avantage de l’utilisation du marc de café comme engrais est qu’il est facilement disponible et gratuit.

**Les nutriments contenus dans le marc de café**

Lorsqu’il s’agit de fertiliser les plantes, il est important de savoir de quels éléments nutritifs elles ont besoin. Le marc de café est une excellente source d’azote, de phosphore, de potassium et d’autres micronutriments dont les plantes ont besoin pour se développer. Voici un aperçu de la teneur en éléments nutritifs du marc de café :

|  |  |
| --- | --- |
| **Teneur en éléments** | **nutritifs pour 100 g de marc de café** |
| Azote | 2.28g |
| Phosphore | 0.06g |
| Potassium | 0.6g |
| Magnésium | 0.07g |

Comme vous pouvez le constater, le marc de café contient beaucoup d’azote, qui est essentiel à la croissance des plantes. Toutefois, il est essentiel d’utiliser le marc de café avec modération, car un excès d’azote peut nuire aux plantes.

Source : consulter sur **https://cafes.trottet.ch/blog/2021/03/16/pulpe-de-cafe/**

## **I.3. LE COMPOSTAGE**

### **I.3.1. Principe général**

Plusieurs définitions du compostage sont formulées par différents auteurs (Albrecht, 2007) mais toutes s’accordent sur le principe suivant :

Le compostage est un processus contrôlé de dégradation des constituants organiques d’origine végétale et animale, par une succession des communautés microbiennes évoluant en conditions aérobies, entraînant une montée en température, et conduisant à l’élaboration d’une matière organique humifiée et stabilisée. Le produit ainsi obtenu est appelé compost riche en matière organique (Bayard et *al*. 2001; Znaîdi, 2002).

D’autre définition d’après Amir (2005) ; le compostage est un processus de décomposition et de transformation « contrôlées » de déchets organiques sous l’action de population microbiennes diversifiées évoluant en milieu aérobie. Cette voie de valorisation des déchets organiques constitue l’objet du présent travail.

### **I.3.2. Différents types de compost**

Selon l'origine des déchets compostés, on peut distinguer (Leclerc, 2001):

1. **Les composts d'origine urbaine**

Les composts urbains sont élaborés d'une gamme hétérogène de matériaux compostables pouvant être répartis en cinq catégories : déchets verts, ordures ménagères, ordures ménagères résiduelles, fraction fermentescible et boues de stations d'épuration urbaines.

1. **Les composts d'effluents d'élevage**

Le compostage des effluents d'élevage est une pratique courante et ancienne. Le compost le plus courant est celui obtenu à partir de fumier de bovins, mais des composts de fumier d'ovins et de volailles sont également réalisés (Leclerc, 2001). Cette pratique concerne les régions où l’élevage est intense ce qui n’est pas le cas des régions sahariennes.

1. **Les composts de déchets industriels et agricoles**

En régions Sahariennes, le compostage des sous-produits du palmier dattier peut constituer une source d’amendement des sols non négligeable pour plusieurs aspects (fertilisation, amélioration de la capacité de rétention en eau des sols, assainissement des palmeraies (Romani et *al*. 2007).

### **I.3.3. Principaux paramètres du compostage**

1. **La teneur en eau**

L’humidité du substrat mis en compostage est nécessaire à la vie des êtres vivants qui interviennent dans le compostage (Yulipriyanto, 2001). La décomposition de la matière organique est inhibée si la teneur en eau baisse en dessous de 20% au contraire, si elle dépasse 70% ; l’eau commence à remplir les espaces lacunaires des déchets et empêche les échanges d’O2 provoquant des conditions favorables à l’anaérobiose (Ramdani, 2015).

1. **La température**

L’évolution de la température du compost résulte de la production de chaleur par l’activité des microorganismes qui dépend de la biodégradabilité du substrat et de sa composition en nutriments (Lashermes, 2010). Le processus de compostage se déroule en quatre phases en fonction de l’évolution de la température (Francou, 2003).

1. **Le pH**

Le pH est un facteur important qui influence la plupart des réactions biochimiques catalysées par des enzymes, ce qui permet la biodisponibilité des nutriments et la solubilité des éléments minéraux pour les micro-organismes (Chennai et *al*,. 2016). En effet, les pH acides sont caractéristique des composts immatures alors que les composts mûrs sont caractérisés par des pH compris entre 7 et 9 (Forster et *al*, 1993).

1. **Conductivité électrique**

C’est la teneur de compost en sels. La conductivité du compost est fortement dépendante de son contenu en nutriments (Slimane, 2005).

1. **Le rapport C/N**

Selon Larbi (2006), le rapport C/N est un paramètre important influencé d’une part par la composition des intrants, et d’autre part par son degré de maturation. Si le rapport C ̸N d’un compost est très élevé, il risque d’immobiliser l’azote du sol, ses microorganismes l’utilisent pour dégrader les substances ligneuses. Il décroit au cours du processus de compostage, une partie importante du carbone organique s’échappant sous forme de CO2 (Jedidi et *al*. 1995).

Ainsi, ce rapport est fréquemment utilisé pour évaluer l’évolution du processus de minéralisation des substances organiques (Bernal et *al*. 1998).Il peut être mesuré soit dans le compost, soit dans son extrait aqueux (Albrecht, 2007), se situe dans l’intervalle (10 à 15), est diminué pendant le compostage. En effet, est un indicateur très utilisé dans l’étude des composts. Le C/N diminue au cours du compostage.

1. **La Teneur en matière organique totale**

La minéralisation du compost correspond à une diminution de la matière organique totale au cour de la dégradation biologique du substrat (Huot et *al*. 2002).Les pertes en matière organique totale au cours du procédé peuvent atteindre 20 à 60% en poids de la matière organique totale initiale (Charny, 2005). L’évolution de la matière organique au cours du compostage passe obligatoirement par deux phases : la dégradation et l’humification (Leclerc, 2001

**7) Compostage de pulpe de café**

Dans les régions productrices du café, les grandes quantités de pulpes de café constituent un problème .le tas en pleine fermentation produisent une mauvaise odeur ; des mouches se multiplient et les eaux navigables sont polluées.

La pulpe de café constitue un bon engrais, étant riche en matière organique, azote et potassium .certains cultivateurs étalent la pulpe humide et lourde sur leurs plantations de café. Mais le transport et l’étalement de la pulpe peuvent poser des problèmes ce qui peut entrainer les mauvaises odeurs et des problèmes de croissances de plantes. Il vaut beaucoup mieux de composter d’abord le matériel pour permettre une utilisation plus efficace.

Ce matériel d’une haute densité a besoin d’une bonne aération .ainsi, il faut construire un certain nombre de tas élevé au-dessus du sol. Pour empêcher une grande quantité d’eau de pénétrer dans le tas de compost, il faut construire un toit au-dessus de ces tas élevés ou les recouvrir. Le plancher élevé peut être construite de cannes de bambou montées sur des briques et pierres.

nécessaires pour la décomposition des déchets, de se décomposer .le tas doit composter,mètreêtreêtre retourné toutes les quatre à six semaines .le compost doit retourn éêtr

# CHAPITRE II : MILIEU ET METHODOLOGIE

La présente étude s’est réalisée dans le territoire de Kalehe, un des huit territoires de la province du Sud-Kivu. Spécifiquement, les stations de lavage de café d’Ihusi et Nyamukubi ont été choisies pour cette étude. Les données sur le territoire de Kalehe ont été fournies par CAID (2015)

## II.1. PRESENTATION DU MILIEU D’ETUDE

### **II.1.1. Localisation**

Kalehe est l’un des Territoires de la Province du Sud-Kivu. Il est situé dans la partie montagneuse de la Province. Le territoire de Kalehe est l’une des trois zones écologiques situé au Nord-Est de la ville de Bukavu .le lac Kivu loge le territoire sur une distance de plus de 86km du nord au sud, s’ouvrant sur le bassin du Kivu. Il est constitué de deux chefferies dont celle de Buhavu (avec 7 groupements dont Buzi ,Kalima ,Kalonge, Mbinga nord ,Mbinga sud ,Mubugu et Ziralo ) et celle de Buloho (avec 8 groupements dont Bagana ,Bitale, Bulonge, Karali, Lubengera ,Musenyi ,Ndando et Munyanjiro .

D’une superficie de 5057km², situé tout au long du lac –Kivu qui jalonne la grande faussée tectonique, Il est limité au Nord, la ville de Goma par le détroit de Katiruzi et le territoire de Masisi par la rivière Chungiri. Au sud le territoire de Kabare par la rivière Nyabarongo. A l’Est le territoire d’Idjwi par le lac Kivu et à l’Ouest par le territoire de Shabunda.

### **II.1.2. Climat et hydrographie**

Le territoire de Kalehe jouit d’un climat de montagne avec une altitude qui va de 1300 à 2000m

Il émet une alternance de deux saisons : l’une pluvieuse (9mois soit de septembre à mai) et l’autre sèche de trois mois (juin –Aout), son relief est composé principale d’une chaine de montagne de l’Est de la Rd Congo. La température annuelle varie entre 18 et 22°C et les précipitations annuelles se situent entre 1300 et 1680mm.

### **II.1.3. Végétations et sol**

Le territoire de Kalehe présente un sol argileux très fertile et argilo-sablonneux .A vocation agropastorale .Efficace pour la production de produits vivriers et maraichers tels que le manioc ,le haricot ,haricot ,arachides ,mais , sorgho, tomates ,aubergines ,oignons, cultures pérennes. Sur certains versant de colline, le sol est lessivé ce qui compromet la fertilité du sol pour une bonne activité agricole. (Africmemoire.com)

La végétation est dominée par le foret dont les bambous et les arbustes qui sont malheureusement en voie de disparition à cause de la déforestation due à la rareté des terres arables, à l’exploitation désordonnée, etc. A vocation agropastorale, le territoire de Kalehe présente dans l’ensemble un sol argileux et très fertile. Nous trouvons aussi le boisement disséminé à travers le territoire (<https://www.caid.cd>)

Les caractéristiques de sol de Kalehe sont présentées dans le tableau 1 :

**Tableau 1. Caractéristiques du sol de Kabare**

|  |  |
| --- | --- |
| Caractéristiques | Teneurs |
| Sable | 43,4 |
| Argile | 38,5 |
| Limon | 18 |
| PH | 5,2 |
| K(ppm) | 272.5 |
| P(ppm) | 39,2 |
| N (%) | 0,32 |

Source: Word coffee Research, fac agro UCB (2021)

### **II.1.4. Agriculture à Ka****lehe**

Le groupement Mbinga –sud présente deux qualités des sols : le sol argilo-sableux se trouvant dans la localité de L’Ihusi ’agriculture et l’élevage sont les activités les plus rependues sur toute l’étendue du territoire. L’agriculture est non seulement vivrière mais aussi industrielle. Dans tout le territoire, on compte environ 101 plantations et 82 marais où sont cultivées différentes cultures. Plus ou moins 60 marais sur les 82 existants sont drainés et exploités. Environ 28 ont chacun la superficie moyenne de 5 à 15 hectares. Cependant, les maraîchers se butent aux difficultés d’approvisionnement en semence améliorées. Les autres problèmes auxquels font face les maraichers en particulier et tous les agriculteurs en général c’est le manque de débouchés pour les récoltes, le manque des produits phytosanitaires et les matériels aratoires.

## **II.2. MATERIELS**

La réalisation de cette étude a été facilitée par les matériels suivants :

* Les pulpes de café étaient considérées comme matière première à la production de compost. Elles ont été collectées dans les stations de lavage de café d’Ihusi et Nyamukubi.
* Une pelle a facilité la mise des pulpes dans des sacs,
* Des sachets pour la collecte des échantillons ;
* Une balance commerciale pour la pèse des pulpes de café collectées ;
* Le compost obtenu qui a été conduit au laboratoire pour analyse ;
* Des matériels de laboratoire pour faciliter l’analyse du compost.

## **II.3. METHODES**

La présente étude était une expérimentation visant la production du compost à partir des résidus de café lavé dans les stations de lavage d’Ihusi et Nyamukubi. Elle s’est réalisée en différentes étapes depuis la collecte des pulpes de café jusqu’à l’analyse des éléments minéraux dans le compost obtenu.

### **II.3.1. Collecte des pulpes de café**

La collecte des pulpes de café s’est réalisée dans les stations de lavage de Café de Ihusi et Nyamukubi et des stations gérées par la coopérative des producteurs de café KACCO. Les échantillons étaient collectés au petit matin étant donné que le lavage se réalisait généralement dans la soirée. La collecte était assurée par la collaboration des membres de la coopérative au mois de juillet 2021.

### **II.3.2. Compostage**

Dans les stations de lavage de café, les pulpes sont abandonnées dans un creux de manière à ce qu’elles subissent une décomposition comme dans une composter. C’est ainsi que le stockage des résidus a été considéré par avance comme méthode de compostage au regard de la décomposition qu’ils subissaient. Les pulpes collectées au mois d’aout ont été stockées dans un creux initialement préparé pour éviter l’effet des pulpes qui seraient possiblement ajoutées. Deux types de compostage ont été considérés en fonction de l’état de stockage des pulpes dans les stations : compostage à la surface du sol et compostage en profondeur du sol. Les caractéristiques des résidus à la surface du sol et en profondeur présentaient quelques variations en fonction des la vitesse de décomposition. Le compost était récolté trois mois après stockage dans le creux, soit au mois d’octobre 2021 pour les analyses de laboratoire.

### **II.3.2. Analyse du compost au laboratoire**

Les résidus décomposés des pulpes de café ont été acheminé au laboratoire pour analyses. Les échantillons de 0,5 kg ont été considérés pour la surface et la profondeur du sol en fonction des sites de collecte de manière à faciliter les comparaisons. Etaient recherchés par ces analyses les teneurs en éléments nutritifs importants du sol : l’azote, le phosphore et le potassium.

### **II.3.3. Analyse des données**

Les données collectées au cours de l’expérimentation ont été encodées dans le tableur MS Office Excel 2013 qui a servi à la mise en place des figures montrant l’effet des sites et profondeur sur les propriétés du compost recherchés. Le logiciel R 4.2.1 a servi à l’analyse de la variance de la variance (ANOVA) des propriétés en fonction des facteurs sites et profondeurs ainsi que la séparation des moyennes en cas des différences significatives induites par les facteurs à partir du test de la plus petite différence significative (PPDS) de Tukey. Le seuil de signification de 5% était considéré pour les analyses.

### **II.3.4. Limites méthodologiques**

La difficulté que nous pensons rencontrer lors de la réalisation de notre étude se situe au niveau de :

- La mesurage de la quantité des déchets de pulpes de café, les coopératives fournissent au paysan le compost gratuitement

- la non disponibilité des bases de donné sur le prix de déchet de pulpe de café

- la non disponibilité de ce compost dans le champ de paysans bénéficiaire de ce compost, ce qui peut occasionner certain doute sur le possible vente de ce compost par le paysan en utilisant de système d’échange contre certain produit agricole (trocs).

# CHAPITRE III. RESULTATS ET DISCUSSIONS

### **III.1.** **1.Evaluation des effets des sites sur les propriétés du compost**

La figure 1 présentant le comportement des éléments du compost en fonction des sites montre une variation de la teneur en N du compost en fonction des sites, la tendance se penchant dans le site de Bugorhe. Par ailleurs, pour le P et le K, les teneurs ne présentent pas des fortes variations comme observé.

**Figure 1. Tendance de la teneur en éléments du sol en fonction des sites**

Au regard de cette figure, le site de Ihusi présente une moyenne élevée liée à la teneur en azote du des pulpes de café par rapport à celui de Nyamukubi. Des faibles différences se font observer sur les teneurs en phosphore et potassium des pulpes de café dans les deux sites. Pour ce qui est du phosphore, la moyenne d’Ihusi est inférieure à 1.5ppm alors que celle de Nyamukubi est inférieure à 2.5ppm. Pour le cas du potassium, les moyennes inférieures à 10ppm et supérieur à 15ppm ont respectivement été trouvées dans les sites d’Ihusi et Nyamukubi.

Ces éléments majeurs doivent être disponibles de manière continue et dans des proportions bien mesurées pour appuyer la photosynthèse et d’autres processus métaboliques des plantes. Si l’un de ces éléments essentiels manquait, la productivité de plante sera limitée ou la plante pourrait cesser de croître entièrement (Lambert et *al,* 1994).

Comparant ces moyennes à la teneur des éléments majeurs (macroéléments) dans le sol de Kalehe, il se remarque une différence. Le travail de Word Coffee Research (2018) a montré que le sol de Kalehe est en prédominance argileux (43,4% d’argile) et légèrement acide avec un pH de 5,2 dont les teneurs en éléments majeurs sont respectivement 0,32% d’azote ; 39,2ppm de phosphore et 272,5 ppm de potassium. Les pulpes de café présentant ainsi une teneur élevée en N peuvent être valorisées pour compenser les besoins des plantes en cet élément plus impliqué dans leur croissance.

Les faibles teneurs et P et K interviendraient ainsi pour compléter les performances du sol au regard de l’importance de ces deux éléments pour la croissance et le développement des végétaux.

Pour mettre en évidence les variations, il est évident de mener une analyse de la variance afin d‘élucider le niveau de différence induit par le facteur site. Le tableau 2 présente les résultats de l’analyse de la variance de la teneur en N du compost en fonction des sites :

**Tableau 2. Analyse de la variance de la teneur en N en fonction des sites**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Source de variation | Degré de liberté | Somme des carrés des écarts | Carrés moyens | Coefficient de Fischer | p-value | Signification |
| Sites | 3 | 4,17 | 1,39 | 0,69 | 0,6043 | **NS** |
| Erreurs | 4 | 8,06 | 2,015 |  |  |  |
| Total | 7 | 12,23 |  |  |  |  |

Il ressort de ces résultats qu’il n’y a pas une différence significative de la teneur en azote des pulpes de café en fonction des sites (p=0,6043). Cette différence serait induite par le niveau de fertilité de sol dans les deux sites et la qualité liée à la décomposition du compost obtenu.

Selon Falisse et Lambert (1994), l'azote est le facteur principal de la croissance des plantes et du rendement des cultures. Il favorise l'augmentation de la densité foliaire des couverts végétaux. Il tend à prolonger la durée du fonctionnement des organes verts; à retarder la sénescence et la maturation. Cependant un apport précoce peut dans certains cas favoriser la précocité. Il est responsable de l'affaiblissement de résistance mécanique de la plante et de la sensibilité à certaines maladies cryptogamiques (Bambara, 2012).

Le tableau 4 présente les résultats de l’analyse de la variance de la teneur en P du compost à base des pulpes de café :

**Tableau 4. Analyse de la variance de la teneur en P du compost**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Source de variation | Degré de liberté | Somme des carrés des écarts | Carrés moyens | Coefficient de Fischer | p-value | Signification |
| Sites | 3 | 0,61 | 0,203 | 0.067 | 0,97 | **NS** |
| Erreurs | 4 | 12,17 | 3,043 |  |  |  |
| Total | 7 | 12,78 |  |  |  |  |

**Moyenne générale: 2,65 ppm CV : 50,96% NS: Non significative**

Départ ces résultats, il se remarque que la teneur en phosphore du compost à base des pulpes de café trouvé n’a pas varié significativement en fonction des sites. Une moyenne générale de la teneur en phosphore de 2,65ppm a été trouvée. Il se remarque cependant une différence élevée par rapport à la moyenne de la teneur en phosphore du territoire de Kalehe (39,2 ppm), trouvée dans la recherche de Word coffee Research.

La teneur en phosphore trouvée serait certes impliquée comme complément à la réserve en phosphore du sol ou des apports d’engrais calculés pour la fertilisation. Une des sources importantes du phosphore dans le sol est l’humus, les plantes mortes, les résidus d’animaux et les microorganismes. Ces éléments proviennent essentiellement de la fertilisation organique et de la restitution au sol des éléments exportés par les récoltes. Les faibles teneurs en phosphore trouvées dans les sites seraient liées au manque de fertilisation des plantations de café. Les agriculteurs seraient plus impliqués dans les entretiens de surface (sarclage, regarnissage, éclaircies, …) que de la fertilisation des pieds de café au champ. D’autres sources de phosphore sont l’apatite, la roche phosphatée ainsi que le calcium phosphate (Mambani, 2014 ; Mushagalusa, 2016). Ces sources seraient déficitaires dans les sites exploités pour la production du café dans les localités .Considérant les données de la recherche Research selon lesquelles les sols de Kalehe sont légèrement acides (pH=5,2), la réaction des hydroxydes de fer et d’aluminium favoriserait les pertes en P du sol cultivé pour la culture du café, ce qui rend les pulpes aussi déficitaires en P.

Le phosphore est très important dans le stade de la jeune croissance pour le transfert de l’énergie tout au long du cycle cultural. Les contenus de base en phosphore se situent entre 0,1 à 0,46% de P par poids sec, approximativement dix fois moins que l’azote et le potassium (Olejado et *al*. 2011).

**Tableau 5. Analyse de la variance de la teneur en K du compost en fonction des sites**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Source de variation | Degré de liberté | Somme des carrés des écarts | Carrés moyens | Coefficient de Fischer | p-value | Signification |
| Stations | 3 | 5,33 | 1,78 | 0,13 | 0,94 | **NS** |
| Erreurs | 4 | 55,25 | 13,81 |  |  |  |
| Total | 7 | 60,58 |  |  |  |  |

**Moyenne générale : 14,56 ppm CV : 20,2% NS: Non significative**

Au regard de ces résultats, il se remarque que la composition en potassium du compost à base des pulpes de café n’a pas été influencé par les effets des sites. Une moyenne générale de 14,56 ppm de potassium a été trouvée avec un coefficient de variation de 20,2%

En comparaison à la moyenne de la teneur en phosphore du territoire de Kalehe trouvée dans la recherche de Word Coffee Research (2018), soit 272,5 ppm de phosphore, il se remarque une différence élevée. Les dépôts des minéraux contenant différents types de sols sont à la base de la production du potassium, un élément majeur à la croissance des végétaux (Verde et *al*. 2013). On retrouve dans la nature des dépôts de chlorure de potassium (potasse), de sulfate de potassium (sulfate de potasse) et de très rares dépôts d’un double sel soit le sulfate de potassium et magnésium (Singh, 2008). Les moindres apports des fertilisants potassés seraient donc à la base de la faible performance des pulpes de café en potassium.

# **III.1.2 Evaluation des effets de la profondeur de compostage sur les propriétés du compost**

La profondeur de compostage est un facteur pouvant affecter la vitesse de décomposition des résidus. Elle peut ainsi affecter la qualité du compost par rapport au temps de compostage impliqué. Ainsi, des variations des propriétés du compost peuvent être effet de la profondeur de compostage. La figure 2 présentant le comportement des éléments compost en fonction la profondeur de compostage montre des faibles variations induites par la profondeur.

**Figure 2.** **Tendance de la teneur en éléments du sol en fonction de la profondeur de compostage**

Il se remarque départ les résultats de cette figure des faibles variations en N, P et K du compost produit à base des pulpes de café induites par la variation de la profondeur de compostage. Les effets de la profondeur du sol s’avèrent moins importante pour affecter de manière significative les propriétés du compost trouvé.

Le compostage est un processus contrôlé de dégradation des constituants organiques d’origine végétale et animale, par une succession des communautés microbiennes évoluant en conditions aérobies, entraînant une montée en température, et conduisant à l’élaboration d’une matière organique humifiée et stabilisée. Le produit ainsi obtenu est appelé compost riche en matière organique (Bayard et *al*. 2001; Znaîdi, 2002). La profondeur de compostage peut affecter les paramètres de compostage qui sont : la teneur en eau, la température, le pH, la conductivité électrique, le rapport carbone-azote et la teneur en matière organique totale (Radmani, 2015).

En effet, qui l’humidité du substrat en compostage, nécessaire à la vie des êtres vivants qui interviennent dans le compostage peut varier en fonction de la profondeur (Yulipriyanto, 2001). La température qui augmente avec la profondeur de compostage peut affecter la vie microbienne et ainsi affecter la biodégradation des substrats (Lashermes, 2010). Le pH qui affecte les réactions biochimique est affecté par les propriétés du sol qui de même varient avec la profondeur de compostage avec effet sur les microorganismes impliqués dans la décomposition du substrat (Chennai et *al*,. 2016). C’est ainsi que les pH acides sont caractérisent généralement des composts immatures alors que les composts mûrs sont trouvés à des pH basiques dans l’intervalle de 7 à 9 (Forster et *al*, 1993).

Le lessivage des éléments du sol varie en fonction de la profondeur. Des pertes en N par exemple ont des effets sur le rapport C/N qui affecte la composition des intrants et leur degré de maturation (Labri, 2006). Les surfaces du sol et les faibles profondeurs moins lessivés connaissent des rapports C/N élevés, ce qui affecte l’immobilisation de l’N du sol et une partie du Carbone du sol s’échappe sous forme de CO2 lors du processus de compostage (Jedidi et *al*. 1995). La quantité de l’humus du sol décroit avec la profondeur (Houot et *al*. 2002). Les pertes en matière organique totale au cours du procédé peuvent atteindre 20 à 60% en poids de la matière organique totale initiale (Charnay, 2005). L’évolution de la matière organique au cours du compostage passe obligatoirement par deux phases : la dégradation et l’humification (Leclerc, 2001). Et dans ces deux processus, les composts en profondeur de sols sont moins matures que ceux à des surfaces supérieures.

Pour élucider le niveau des variations observées, les tableaux 6, 7 et 8 présentent les résultats des analyses des variances des teneurs en N, P et K du sol en fonction de la profondeur de compostage.

**Tableau 6. Analyse de la variance de la teneur en N du compost en fonction des niveaux**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Source de variation | Degré de liberté | Somme des carrés des écarts | Carrés moyens | Coefficient de Fischer | p-value | Signification |
| Surface | 1 | 6,11 | 6,11 | 7,2 | 0.115 | **NS** |
| Erreurs | 2 | 1,7 | 0,85 |  |  |  |
| Total | 3 | 7,81 |  |  |  |  |

**Moyenne générale: 4,83% CV : 33.4% NS: Non significative**

Il ressort de ces résultats que la profondeur de compostage n’a pas affecté la variation de la teneur en azote du compost à base des pulpes de café trouvé (p=0,115). La profondeur de compostage n’a pas significativement varié pour affecter de manière conséquente la variation en azote du sol. Une moyenne générale de 4,83% d’azote se fait remarquer, avec une variation moins élevée liée à la randomisation de l’expérimentation (CV=33,4). La recherche menée par Radmani (2015) a montré que la profondeur de compostage affété significativement les propriétés du compost. Pour cette étude, la variation du pH en profondeur du sol affecte la vie microbienne et par conséquent baisse de manière conséquente la teneur en azote.

**Tableau 7. Analyse de la variance de la teneur en P du compost en fonction de la profondeur**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Source de variation | Degré de liberté | Somme des carrés des écarts | Carrés moyens | Coefficient de Fischer | p-value | signification |
| Surface | 1 | 0,52 | 0.52 | 0,3452 | 0,62 | **NS** |
| Erreurs | 2 | 3,037 | 1,5185 |  |  |  |
| Total | 3 | 3,557 |  |  |  |  |

**Moyenne générale : 2,192 ppm CV : 49,7% NS: Non significative**

Il ressort de ces résultats que la profondeur de compostage n’a pas affecté la variation de la teneur en phosphore du compost à base des pulpes de café trouvé (p=0,62). Une moyenne générale de 2,192 ppm de phosphore a été trouvée avec un coefficient de variation de 49,7%.

Comme pour le facteur site, la teneur en phosphore ne présente pas des variations significatives. Le manque de différence résulterait de la faible profondeur de compostage considérée pour cette expérimentation. Il résulte ainsi une corrélation négative entre ces résultats et ceux trouvés par la recherche de Chennai et *al*. (2016) qui montre que l’augmentation de la température en profondeur du sol est un facteur qui affecte la qualité du compost et ses propriétés.

**Tableau 8. Analyse de la variance de la teneur en K du compost en des niveaux de compostage**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Source de variation | Degré de liberté | Somme des carrés des écarts | Carrés moyens | Coefficient de Fischer | p-value | Signification |
| Stations | 1 | 42,49 | 42,49 | 31,283 | 0,03 | **S** |
| Erreurs | 2 | 2,72 | 1,36 |  |  |  |
| Total | 3 | 45,21 |  |  |  |  |

**Moyenne générale: 15,199 ppm CV : 25.5%**  **S: significative**

On observe une différence significative de la variation de la teneur en potassium du compost à base des pulpes de café trouvé (p=0,03). Les variations se montrent significatives en fonction de la profondeur de compostage au regard de la forte profondeur de compostage utilisée. Une moyenne générale de 15,199ppm de potassium est ressortie de l’analyse de la variance avec un coefficient de variation de 14,64%

La présence des différences induites par les sites renvoie à la séparation des moyennes à travers le test de Tukey afin de démontrer la tendance pour chaque site. C’est ainsi que le tableau 8 présente les résultats de la séparation des moyennes de la teneur en K en fonction des sites :

**Tableau 3. Séparation des moyennes de la teneur en K du sol en fonction des sites**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Sites | K (ppm) | Groupes homogènes |
| Ihusi | 11,94 | A |
| Nyamukubi | 18,46 | B |

Au vu des résultats trouvés, il se remarque deux groupes homogènes séparant les deux sites où les pulpes de café étaient collectées. Le compost produit des pulpes de café récoltées dans le site de Nyamukubi a fourni une teneur élevée en potassium que celui produit dans le site d’Ihusi . Respectivement, les moyennes de 18,46ppm et 11,94 de K ont été trouvées, soit une différence de 6,52ppm

En effet, plus les plantes bénéficient des éléments nutritifs du sol au cours de leur croissance, plus les organes en bénéficient d’avantage. Cela, considérant les sources de potassium du sol qui sont les réserves naturelles du sol et les apports potassiques en termes de fertilisation minérale ou organique. La disponibilité en potassium peut toutes fois être contrainte par les facteurs du site (topographie, couvert végétal, pluviosité, …). Au regard de la différence trouvée, il est possible de s’atteler à l’idée selon laquelle le sol de Nyamukubi soit riche en potassium que celui d’Ihusi. Certes, dans les deux sites, les moyennes de la teneur en potassium trouvées sont élevées que celle du territoire de Kalehe (272,5ppm) trouvée par la recherche de Kalehe.

### **III.1.3 Evaluation des effets combinés des sites et de niveaux de compostage sur les propriétés du compost**

**Figure 3.** **Tendance de la teneur en éléments du sol en fonction des sites et de la profondeur de compostage**

Partant es résultats de cette figure, il se remarque des faibles variations des teneurs en N, P et K du compost à base des pulpes de café en fonction des effets combinés des sites de collecte des pulpes et de la profondeur de compostage. Les résultats des analyses des variances permettent d’élucider le niveau des différences. Ils sont respectivement présentés dans les tableaux 9, 10 et 11 :

**Tableau 9. Analyse de la variance de la teneur en N en fonction des sites et niveaux de compostage**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Source de variation | Degré de liberté | Somme des carrés des écarts | Carrés moyens | Coefficient de Fischer | p-value | Signification |
| Sites | 1 | 3,948 | 3,948 | 2,61 | 0,167 | **NS** |
| Niveaux | 1 | 0,732 | 0,732 | 0,48 | 0,517 | NS |
| Erreurs | 5 | 7,555 | 1,511 |  |  |  |
| Total | 7 | 12,23 |  |  |  |  |

Il ressort de ces résultats que la teneur en azote du compost n’a pas présenté des variations significatives en fonction des effets combinés des sites et de la profondeur de compostage (p=0,167), les effets séparés ayant présenté des variations significatives en fonction des sites (p=0,517). Les effets combinés mettent en évidence une moyenne de 4,53% N, ce qui est élevé par rapport à la moyenne considéré du territoire de Kalehe, selon la recherche de Word coffee Research (0,32%).

Il ressort ainsi que la teneur en azote du compost à base des pulpes de café soit acceptable dans les deux sites d’études à des faibles profondeurs de compostage ou à la surface du sol ; considérant que les profondeurs élevées ont induit des variations des propriétés pour le cas des études de Radmani (2015) et Chennoui et *al*. (2016).

**Tableau 10. Analyse de la variance de la teneur en P en fonction des sites et profondeur de compostage**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Source de variation | Degré de liberté | Somme des carrés des écarts | Carrés moyens | Coefficient de Fischer | p-value | Signification |
| Sites | 1 | 1,693 | 1,693 | 1,51 | 0,274 | **NS** |
| Niveaux | 1 | 0,520 | 0.52 | 0,46 | 0,526 | NS |
| Erreurs | 5 | 5,618 | 1,124 |  |  |  |
| Total | 7 | 7,831 |  |  |  |  |

Il ressort de ces résultats de l’analyse de la variance que la teneur en phosphore du compost à base des pulpes de café n’a pas présenté des variations significatives en fonction des effets combinés des sites et de la profondeur de compostage (p=0,274 et p=0,526). Une moyenne générale de 1,48ppm de phosphore a été trouvé .Le manque des différences significatives résulte du fait que les effets séparés des sites et profondeur de compostage n’ont pas affecté de manière significative la teneur en phosphore du compost.

**Tableau 11. Analyse de la variance de la teneur en K en fonction des sites et profondeur de compostage**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Source de variation | Degré de liberté | Somme des carrés des écarts | Carrés moyens | Coefficient de Fischer | p-value | Signification |
| Sites | 1 | 46,9 | 46,9 | 22,79 | 0,005 | **S** |
| Niveaux | 1 | 3,29 | 3,29 | 1,60 | 0,262 | NS |
|  |  |  |  |  |  |  |
| Erreurs | 5 | 10,29 | 2,058 |  |  |  |
| Total | 7 | 60,479 |  |  |  |  |

Il ressort de ces résultats que la teneur du compost en potassium n’a pas présenté des variations significatives en fonction des profondeurs mais une variation significative en fonction de sites (p=0,262) combinés des sites et de la profondeur de compostage (p=0,005). Une moyenne de 14,56 ppm de potassium a été trouvée.

# **III.2. DISCUTION DES RESULTATS**

**D’** après Louange FDA via Moustapha dans le projet runres IITTA **,Les** pulpes des cafés sont des déchets qui ont un grand taux d’azote, qui est l’élément constitutif de déchet pour compostage , un élément qui aide à avoir un bon taux d’azote dans le compost , composition de compost , au niveau de station de Kabamba , il mélange les déchets organiques provenant de la ville ,marché avec les déchets de pulpes dans l’optique d’avoir une bonne qualité de compost, les pulpes qui ont des taux élevée de compost par rapport aux autres types de déchet .de fois il n’ont pas ce déchet de pulpes provenant de station de lavages , ils utilisent les autres types déchet disponible localement , en terme de qualités, les pulpes sont riches en azotes, la quantité varie en fonction de la quantité de déchet produit en moyenne entre 60kg et 100Kg de compost , la décomposition dépend de types de déchet produit ,pour les pulpes, la décomposition prend 3 à 4 mois dans des trous de compostages sans l’utilisation de produit accélérateur de compostages utilisé pour réduire les temps de compostages pour passer de 3 à plus ou moins 20 jours . Au niveau de la station, ils utilisent les cendres comme enzymes utilisé appelé AM

Dans l’effet de rendement, au niveau de l’IITTA, ils appliquaient d’une manière pilote dans la culture de café qui est une pérenne, mais l’effet n’était pas immédiat par contre ces effets se faisaient marquer au niveau de culture de maraichère .quant au prix le déchet de pulpe coutait 60$ par tonne. D’après les paysans membres de coopératifs de café un camion benne transporte 3.5m3de compost de pulpe de café au prix de 700 000FC soit 200 000 FC par tonne de compost soit environ 85 $ par tonne vue les différents couts engagé, le prix n’est pas rentable.

D’autre organisation qui œuvre dans le domaine de compostage notamment ASOP, utilisent différent déchets organiques comme le Tithonia, les pulpes où ils ajoutent les cendres pour accélérer la décomposition qui dure 20 jours à 30 jours au lieu de 3 mois à 4 mois dans la station de lavage des sites étudiés.

Le résultat trouvé après notre analyse sur les éléments nutritifs contenu dans le compost de pulpe de café comparé à celui de sol au laboratoire sont résumé dans le tableau ci-après :

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Analyse | N (ppm) | P (ppm) | K (ppm) |
| Pulpes de café | 52.3 | 1,48 | 14,56 |
| SOL | 3,2 | 39,2 | 272,5 |

Les résultats obtenus ci-haut relèvent que les teneurs aussi bien en azote qu’en phosphore ne présente pas des différences significatives sur les deux facteurs pris en compte pour cette étude à l’occurrence des stations d’Ihusi et Nyamukubi et les niveaux de prélèvement (surface et profondeur. tandis que la teneur en potassium a présenté une différence significative au niveau des stations .ces résultats seraient dus aux conditions identiques qu’on trouveraient dans les milieux du territoire de Kalehe .les azotes, phosphore et potassium sont des éléments majeurs qui doivent être disponibles de manière continue et dans les proportions bien mesurées pour appuyer la croissance et d’autres processus métaboliques et la productivités de la plante si l’un de ces éléments manquaient ,la productivité de plante sera limitée ou la plante pourrait cesser de croitre entièrement (Lambert et al.1994 ;Garba et al.2022) .Après analyse du sol de Kalehe des éléments majeurs , Azote, phosphore et potassium .les moyennes suivantes ont été obtenu :0,32% N ;3,92%P et 27,25%K tels que démontrer par le projet café fac Agro, UCB-WCR(Word Coffee Research) dans le programme ,GCMP(Global Coffee Monitoring Program, 2021). En comparant ces résultats, on voit donc que le sol de Kalehe est pauvre en azote par rapport au seuil de disponibilité en élément nutritifs. Selon l’étude déjà mener par Christine L.et al. (2020), le haricot a besoin de 50kg/ha d’azote ,40Kg/ha de phosphore et 120kg/ha de potassium. Dans notre sol nous avons 0,32%N-3,92%P-27,25%K soit 0,32%N-9%de P2O5-32,7%de K2O. convertit en t/ha donne respectivement Dans notre compost nous avons trouvé 4,53% N-1,94%P -1,52% K. le champ de culture de haricot, la dose de notre engrais de l’unité de fumure N-P2O5- K2O est de 4 ,53-4,4-1,82.la composition des éléments nutritifs NPK en t/ha sont respectivement de 135,9 ;0,00582 et 0,0547.nous remarquons que ce compost est très riche en azote prenons la culture d’haricot fertilisé à partir de compost de pulpe .si l’agriculteur applique 1,12t/ha de compost de pulpe de café à la culture d’ haricot par conséquent pour un rendement cible de 20t/ha /an .la recommandation est 40 à 50kg/ha N , 50 à 60 kg/ha de P2O5 et 120 à 150 kg/ha de K2O par an .avec les engrais chimiques pris comme référence ,l’urée(46%N),le TSP (46%P2O5) et KCl (60% K2O) et le compost organiques analysé dans notre étude , les pulpes de café en tenant compte de teneurs en sol .la production de cerise de café par est de 1,5t/ha soit 0,75t/ha de pulpes de café . Selon la littérature trouvée (Wairegi et al. (2011)

Si l’objectif est d’apporter l’Urée 46% alors on aura 50kg/ha\*100/46 soit 108,7Kg/ha N de l’urée.

Quantité de TSP 46% vaut 60Kg/ha \*100/46 soit 130,4Kg/ha de TSP quant au chlorure de potassium (KCl) au ra 120kg/ha \*100/60 soit 200Kg/ha.

Si nous utilisons notre compost étant l’engrais composé NPK 4,53-4,4-18,2 soit 10-1-4 soit 50kg/ha \*100/10 soit 500Kg/ha de compost soit 500\*1/100 Kg/ha soit 5Kg/ha P2O5; 500\*4/100 soit 20kg/ha de K2O.le compost fourni à la culture 50kg/ha N ;5Kg/ha de P2O5  et 20Kg/ha de K2O nous remarquons qu’il y a déficit de 45 à 55Kg/ha en phosphore et 100 à 110Kg/ha potassium pour éviter cet excès on pourra combler ce déficit par l’apport des engrais de chlorure de potassium et Triphosphate simple (TSP) et Chlorure de potassium (KCl) par exemple soit 45\*100/46 à 55\*100/46 soit 98 à 119 Kg/ha TSP et 100\*100/60 à 130\*100/60 soit 167 à 217 Kg/ha de KCl dans la plus part de fumier ou de compost sont riche en azotes. Sol est riche en élément en azote et potassium dans le sol nous avons aussi la teneur en % de NPK 0,32-0 ,00392 -0,02725 dans notre nous constatons que le sol est riche en azote, cela donne en utilisant le facteur de conversion de 10000m² ou 1ha \*25cm ou 0,25m de profondeur de sol de culture de haricot \* densité du sol qui est de 1,2t/m3  et 0,32% vaut 3,2kg//t ce qui donne 3,2kg/t\*10000m²\*1,2t/ m3 \*0,25m ou 3,2kg/t \*1ha de sol\*. 1,2t/ m3 \*0,25m soit 9600kg/ha N ; 0,27kg/ha de P2O5  et 0, 98 kg/ha de K2O mais selon la géologie du sol et son histoire, la réserve en phosphore peut être plus abondante et plus ou moins disponible cette réserve est très majoritairement insoluble et peut provenir soit de la fraction minérale, soit de la fraction organique dans le sol. La fraction insoluble ne peut être comblé les pertes d’exportation que si les besoins relativement faible. Le non disponibilité de potassium serait dû aux lessivages (Jean P.et al, octobre 2005).

# **CONCLUSION ET SUGGESTION**

Cette étude était axée sur la valorisation des pulpes de café comme fertilisant à partir du compostage. La question principale à cette recherche était savoir l’effet des sites et de la profondeur de compostage sur les propriétés chimique du compost à base de pulpes de café. De manière globale, cette étude a poursuivi l’objectif de contribuer à la disponibilité des fertilisants organiques pour les exploitations agricoles par la valorisation des résidus des stations de lavage de café dans le territoire de Kalehe au Sud-Kivu. Et spécifiquement, il était question d’évaluer les effets des facteurs sites et profondeur de compostage sur la composition en Azote, Potassium et Phosphore du compost à base des pulpes de café.

La méthode expérimentale a facilité la réalisation de cette étude. Elle est partie de la collecte des résidus dans les stations de lavage de café d’Ihusi et Nyamukubi et leur stockage dans les creux de compostage. Il s’en est suivi la récolte du compost trois mois après pour faciliter les analyses au laboratoire. Les analyses de laboratoire effectuées visaient de trouver les teneurs en N, P et K dans le compost. Les facteurs des sites et de la profondeur de compostage étaient évalués pour ce faire.

Les résultats trouvés ont montré que le facteur site a affecté significativement la variation de la teneur en K du compost. Le compost d’Ihusi a produit une moyenne de 11,94ppm de K, soit faible par rapport à celui de Nyamukubi (18,46 ppm de K). Les teneurs en N et P du compost n’ont pas varié en fonction des sites. Elles ont fourni des moyennes respectives 4,53% N et 15, 2 ppm de P. En fonction de la profondeur, aucune différence significative n’a été trouvée sur les propriétés du compost étudié. Les moyennes de N, P et K trouvées étaient de 3,83% ; 1,48ppm et 14,56ppm. En fonction des facteurs combinés des sites et de la profondeur de compostage, des moyennes respectives de 4,53% d’N ; 1,94 ou 1.94ppm de P et 15.2ppm de K ou 4,53%N ; 0 ,44% P2O5 et 1,82 ont été trouvés. Ce qui donne l’unité de fumure en divisant chaque unité par 0,44 soit 10-1-4 de compost. D’après le calcul de fertilisation par Wairegi et al.2014), pour la culture d’haricot ayant des besoins en éléments nutritifs respectivement 40 à 50Kg/ha ,50 à 60Kg/ha et 120 à150kg/ha de  N , P2O5 et K2O , notre compost de pulpes sont valables qui doit fournir 50Kg/ha de N ;5Kg/ha de P2O5 et 20 Kg/ha de et K2O .donc le pulpe de café est un bon compost riche en azote qui par rapport au besoin de la culture d’haricot , mais il y a déficit en phosphore et potassium pour la culture d’haricot qui peut être combler par l’engrais simple de phosphore comme TSP (triphosphate )contenant 46% de phosphore soit 98 à 119 kg/ha et 167 à 217 Kg/ha de KCl .

Au regard des résultats trouvés, il est recommandé aux chercheurs postérieurs de reprendre le même essai en impliquant différentes méthodes de compostages et en analysant en même temps plusieurs éléments du sol afin de proposer l’adoption du compost à base des pulpes de café comme efficace à la fertilisation des champs.

Au regard des résultats trouvés, il est recommandé aux scientifiques et chercheurs postérieurs d’ utiliser les autres types déchets et faire les analyses enfin de contribuer à l’environnement et de les valoriser et ainsi impliquer différentes autres méthodes de compostage tout en analysant en même temps la composition des autres produits de café et résidus agricoles en d’autres éléments nécessaires du sol quand bien même moins importants que le N, P, K afin de renchérir l’importance et l’adoption du compost à base des pulpes de café comme efficace à la fertilisation des champs.

Les paysans puissent bénéficier de produit de café surtout dans le compostage et que les scientiques élargies cet études pour l’impact socioéconomique de l’utilisation des engrais et mener des vulgarisations sur la valorisation d’autres produits de café dans les compostages.

# **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE**

**Abdeddaim, M**. (2018). *Etude de la composition biochimique des fruits de cinq espèces végétales présentes dans la région des aurès en vue de leur utilisation alimentaire ou*

**Abga P.T., 2013.** Détermination des options de fertilisation organo-minérale et de densité de semis pour une intensification de la production du maïs dans la région de l'Est du Burkina Faso, N° : OO1/2013IMASTER GIFS.

**Adi, A.J. et Noor, Z.M., 2009.** Waste recycling: Utilization of coffee grounds and kitchen waste in vermicomposting. Bioresource Technology, vol. 100, p. 1027-1030.

**AFEQ, 2002.** Les engrais minéraux et organiques, une gestion responsable, Commission sur le développement durable de la production porcine au Québec, Québec, 4-15pp.

**Afilal, M. E., Moncif, M., & Benyamna, A**. (2007). *Valorisation des déchets organiques par fermentation méthanique. Revue des Energies Renouvelables: CER, 7, 9-12.*

**Ahuja L.R., 2003.** Quantifying agricultural management effets on sol propretés and processus, Geoderma, 116, 1-2.

**Akanza. K. P, S. sanogo , C. K. kouakou , H. A. n’da et A. yao-kouame, 2014.** Effets de la fertilisation sur la fertilité des sols et les rendements: incidence sur le diagnostic des carences du sol 299- 315p

**Albrecht R., 2007.** Co-compostage de boues de station d'épuration et de déchets verts: nouvelle méthodologie du suivi des transformations de la matière organique. Thèse de doctorat. Université Paul Cézanne AIX-Marseille III, 189p.

**Amir. S., 2005.** Contribution à la valorisation de boues de stations d'épuration par compostage: devenir des micropolluants métalliques et organiques et bilan humique du compost. Thèse de doctorat. Institut national polytechnique de Toulouse, 312p.

**Annie D**., 2007. Mémento sols et Matière organiques pour des utiles et les contres les idées reçus. Agro-Transfert Ressource et Territoire (R&T) et chambre d’agriculture de Picardie.

**Bahati, R., Masamba, W., &Bulangashane, G**. (2017*). Le choix des paquets technologiques des fertilisants organiques et minéraux pour rentabiliser la culture du maïs au Sud-Kivu: Un état de lieu de la recherche dans les territoires de Kalehe et plaine de la Ruzizi en RDC/Le choix d'un ensemble technologique d'engrais chimiques et organiques pour améliorer les rendements et les rendements économiques du maïs dans la région du Sud-Kivu : une recherche menée dans la plaine de la Ruzizi et les territoires de Kalehe au Sud-Kivu, RDC. Revue internationale d'innovation et d'études appliquées*, 20(2), 461

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

**Bambara F.A.A., 2012.** Optimisation de la fertilisation azotée du mais en culture pluviale dans l'ouest du Burkina-Faso: utilisation du modèle agronomique DSSAT, Mémoire, Inédit, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Institut de Développement Rural, Département d’Agronomie, 60pp

**COMIFER, 2013**. Calcul de la fertilisation azotée, Guide méthodologique pour l’établissement des prescriptions locales : Cultures annuelles et prairies, Le Diamant, Paris-La Défense Cedex, ISBN : 878-2-910393-09-0. 159pp.

**Constanty, M.** (2015). *Stratégie des acteurs dans la gestion des déchets de l'usinage du café au Costa Rica: un exemple d'intégration de contraintes environnementales par les acteurs d'une filière agricole* (Doctoral dissertation, Montpellier SupAgro).

**Cruz, M.V., Paiva, P., Lisboa, P., Freitas, F., Alves, V.D., Simoes, P., Barreiro, S. et Reis, M.A.M., 2014.** Production of poly hydroxyl alkanoates from spent coffee grounds oil obtained by supercritical fluid extraction technology. Food Research International, vol. 157, p. 360-363.

**Cruz, R., Cardoso, M.M., Fernandes, L. et Oliveira, M., 2009.** Espresso Coffee Residues: A Valuable Source of Unextracted Compounds. Journal of agricultural and food chemistry, vol. 60, p. 7777-7784. . http://pubs.acs.org/journal/jafcau (Page consultée le 7 juillet 2021).

**Cruz, R., Mendes, E., Torrinha, A., Morais, S., Pereira, J.A., Baptista, P. et Casal, S., 2015.** Revalorization of spent coffee residues by a direct agronomic approach. Food Research International, vol. 73, p. 190-196. www.elsevier.com/locate/foodres (Page consultée le 12 juin 2015)

**De Guardia, A., Trémier, A., & Mallard,** P. (2006). *Traitement par compostage des déchets organiques. Gestion des problèmes environnementaux dans les industries agroalimentaires, 359-408*.

**Falisse A. et Lambert J., 1994.** Fertilisation minérale et organique. In : TAYEB AMEZIANI: E.H.: PERSOONS E. Agronomie moderne : Bases physiologiques et agronomiques de la production végétale. Hatier-AUPELF-UREP, pp 377-398.

**FAO, 2003.** Les engrais et leurs applications : précis à l’usage des agents de vulgarisation agricole, rabat, Maroc.

**FAO, 2003.** Les engrais et leurs applications : précis à l’usage des agents de vulgarisation agricole, rabat, Maroc.

**FAO, 2010.** Production agricole durable: conséquence pour la recherche agricole internationale; tome 4, Rome, 137p.

**FAO, 2010.** Production agricole durable: conséquence pour la recherche agricole internationale; tome 4, Rome, 137p.

**FAO. 2012. The** state of the world’s land and water resources for food and agriculture (SOLAW), Managing systems at risk. Rome et London.

**Farinet, J. L.** (2008). Techniques de méthanisation en régions chaudes. Déchets, technologies et applications: Résumé de cours.

**Farinet, J. L**. (2010). *Fabrication du compost: de l'industrie à l'artisanal*. CIRAD.

**FH-Suisse, 2018.** Appuis aux caféiculteurs du Sud-Kivu/ RDC, 14.

**Forster.J.C., Zech, W. and Wurdinger E., 1993.** Comparison of chemical and microbial methods for the characterization of the maturity of composts from contrasting sources. Bio. Fertil Soil. 16: 93-99. France. 289p.

**Francou C., 2003.** Stabilisation de la matière organique au cours du compostage de déchets urbains: Influence de la nature des déchets et du procédé de compostage - Recherche d'indicateurs pertinents. Thèse de doctorat, Institut nationale agronomique. Paris- Grigon,

**Francou, C**. (2003). *Stabilisation de la matière organique au cours du compostage de déchets urbains: Influence de la nature des déchets et du procédé de compostage-Recherche d'indicateurs pertinents* (Doctoral dissertation, INAPG (AgroParisTech)).

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

**Hopkins, W. G. (**2003). *Physiologie végétale. De Boeck Supérieur*.

**https://www.caid.cd/index.php/donnees-par-province-administrative/province-de-sud-kivu/territoire-de-kalehe/?secteur=fiche**

**HUBER Gérard, SCHAUB Christiane**. (décembre 2011)Service Environnement –innovation.

**Huber, G., & Schaub, C**. (2011). La fertilité des sols*: L’importance de la matière organique*. *Agriculture ET terroir, chambre agriculture Bas Rhin*.

**IFDC, 2009.** Rapport des activités effectuées à l’Est de la République Démocratique du Congo, Kigali, 16p.

**IFDC. 2012.** «Catalyze Accelerated Agricultural Intensification for Social and Environmental Stability» Project Summary. Accessible sur: <www.ifdc.org>.

**Inckel, M., Smet, P. D., Tersmette, T., & Veldkamp, T**. (2005). *Fabrication et utilisation du compost*. Agromissa/CTA.

International, vol. 148, p. 294-299. www.elsevier.com/locate/foodres (Page consultée le 12 juin 2015).

**Isabelle Hallouin**, 2012. Tout savoir sur la culture du haricot, sous abris et en plein champ. Chambre d’agriculture Bouche –Du-Rhône

**Jama B., Palm C.A., Buresh R.J., Niang A.I., Gachengo C., Nziguheba G., 2000**. Tithonia as a green manure for soil fertility improvement in Western Kenya: a review. Agroforestry Systems, 49: 201-221.

**Jedidi N., VAN Cleen put O. & M'hiri A. 1995.** Quantification des processus de minéralisation et d'organisation de l'azote dans un sol en présence d'amendements organiques. "Can. J. of Soil Sci., 75:85-91.

**John, P.S.; George, M., and Jacob, D., 2006.** Sulphur fertilization in rice based cropping system in laterite soils of Kerala: 163–184. Proc. TSI-FAI-IFA Symposium-Workshop on Sulphur in Balanced Fertilization, October 4-5, 2006, New Delhi: 210p.

**Joncoux, S.** (2013). *L'intensification écologique de l'agriculture par la valorisation des déchets organiques: de l'écologisation aux inégalités. Nature sciences sociétés, 21(2), 223-229.*

**Kaho F, Yemefack M, Feujio-Tegwefouet P, Tchanthaouang JC, 2011**. Effet combiné de feuilles de Tithonia diversifolia et des engrais inorganiques sur le rendement du maïs et les propriétés d’un sol ferralitique au centre du Cameroun. Tropicultura, 29 (1): 39-45

**Kenkou, K. 2000.** Le planteur du cacao aux contraintes agro foncières et à l'intervention de la SRC6 au Togo in actes des journées scientifique de l'UB, vol II pp185-1-208.

**Kenkou, K., 2000.** Agriculture et développement économique ESA, 4e année.220p

***Kessoum Amira et Lougliti Randa Amina (****Année universitaire 2020-2021).Valorisation des déchets dans différents domaines, Chapitre II : Aperçu sur le caféier et le café, pp 32 projet de fin d’étude en vue de l’obtention de diplôme de Master spécialité Agroalimentaire et contrôle de qualité*

**Kondamudi, N., Mohapatra, S.K. et Misra, M., 2008.** Espresso Coffee Residues: A Valuable Source of Unextracted Compounds. Journal of agricultural and food chemistry, vol. 56, p. 11757-11760. http://pubs.acs.org/journal/jafcau (Page consultée le 6 juin 2015).

**KOSSOUMWA L**., 2007)

**Kostenberg, D. et Marchaim, U., 2008.** Anaerobic digestion and horticultural value of solid waste from manufacture of instant coffee. Environnemental Technology, vol. 4, p. 973-980.

**Leclercy, D**. (2002). *Le compost. Une filière de valorisation des déchets organiques à développer. Le Courrier de l'environnement de l'INRA, (47), 125-134.*

**Liu, K. et Price, G.W., 2011.** Evaluation of three composting systems for the management of spent coffee grounds. Bioresource Technology, vol. 102, p. 7966-7074.

**Maltas, A., Oberholzer, H., Charles, R., Bovet, V., & Sinaj, S.** (2012). Effet à long terme des engrais organiques sur les propriétés du sol. *Recherche Agronomiques Suisse*, *3*(3), 148-155

**Mulaji K.C., 2011.** Utilisation des composts de biodéchets ménagers pour l’amélioration de la fertilité des sols acides de la province de Kinshasa (République Démocratique du Congo). Thèse de doctorat, Gembloux Agro bio tech, 220p.

**Oladejo, A.S., Akinwala, R.O et Obisesan, I .O., 2011.** Interrelationships between grain yield and other physiological traits of cowpea cultivars. *African Crop Science journal, 19(3) 189-200p*

*Pharmacologique (celtis australis L, crataegus azarolus L, crataegus monogyna J, elaeagnus angustifolia L, et zizyphus lotus L)* (Doctoral dissertation).

**Ramalakshmi, K., Rao, L.J.M., Takano-Ishikawa, Y. et Goto, M., 2009.** Bioactivities of low-grade green coffee and spent coffee in different in vitro model systems. Food Chemistry, vol. 115, p. 79-85. www.elsevier.com/ locate/foodchem (Page consultée le 12 juin 2015).

**Ramdani.N. 2015.** Transformation de la matière organique au cours du Co-compostage de boues de station d’épuration et de déchets verts : Approche expérimentale pour une production durable de compost. Thèse de doctorat : Chimie. Oran: Université d’Ahmed Ben Bella.

**RANIA, A., AMINA, B., & YASSAMINE, L**. (2020). *La valorisation des déchets organiques.*

**Remadna et toumi**, 2020).

**Remadna N. et Toumi L. A., 2020.** Contribution à l’évaluation qualitative d’un compost d’origine mixte. Cas de la région de Biskra, Mémoire de Master, Inédit, Université Mohamed Khider de Biskra, Faculté des sciences exactes et des sciences de la nature et de la vie, Département des sciences de la nature et de la vie, Filière : Sciences biologiques, 78pp

**Shen, K. et Gondal, M.A., 2013.** Removal of hazardous Rhodamine dye from water by adsorption onto exhausted coffee ground. Journal of Saudi Chemical Society. www.sciencedirect.com (Page consultée le 12 juin 2015).

**Singh, V.K.; Tiwari, R.; Gill, M.S.; Sharma, S.K.; Tiwari, K.N.; Dwivedi, B.S.; Shukla, A.K., and Mishra, P.P., 2008.** Economic viability of site-specific nutrient management in rice-wheat cropping. Better Crops-India: 17p.

**Slimani D., 2005.** La gestion des déchets ménagers dans la ville d'Ouargla avec un essai de compostage. Thèse d'Ing.ECO. Veg-Env. ITAS, Ouargla, 111p.

**Sonaiya, E. B**. (2004). *Production en aviculture familiale: un manuel technique* (Vol. 1). Food & Agriculture .org

Sybren ruurd De Groot et *al*, (2013), Thermodynamique hors équilibre

**Teglia, C.** (2011). Valorisation par compostage de résidus solides de digestion anaérobie des déchets organiques (Doctoral dissertation, Doctorat mention Chimie, Ecole doctorale Sciences de la Matière, Université Rennes I).

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

**Verde B.S., Danga B, O. et Mugwe J.N., 2013.** Effects of manure, lime and mineral P fertilizer on soybean yields and soil fein a humic nitisol in the Central Highlands of Kenya, International Journal of Agricultural Science Research. Vol 2(9283-291), 54pp.

**Wairegi, L.W.I., Van Asten, P.J.A., Giller, K.E. &Fairhust, T**. (2014).*Guide du système de culture banane-café. Le consortium africain pour la santé des sols,* Nairobi

**WCR (World Coffee Research), 2018.** Programme mondial de surveillance du café, 11p

**Yulipriyanto H. 2001.** Emission d'effluents gazeux lors du compostage de substrats organiques en relation avec l'activité microbiologique (nitrification/dénitrification) (Doctoral dissertation, Université Rennes 1). 34p

**Zeng, Y**. (2012*). Etude des processus de transformation et de transferts de l'azote lors du traitement pour compostage des déchets organiques* (Doctoral dissertation, Doctorat Chimie, Université de Rennes I

**Znaidi I., 2002.** Etude et évaluation du compostage de différents types de matières organiques et des effets des jus de composts biologiques sur les maladies des plantes. Thèse de magistères. Tunisie, 85p

# **ANNEXES**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| OFTT code | Date of soil analysis - Year only | Percentage Sand | Percentage Clay | Percentage Silt | Textural Class | Percentage m/m - M, O, | pH | K (ppm) | Ca (ppm) | Mg (ppm) | Acidity (cmol(+)/L) | P (ppm) | Fe (ppm) | Cu (ppm) | Zn (ppm) | Mn (ppm) | N (%) | Comment |
| DRC-1-004 | 2018 | 67,2 | 17,7 | 15,1 |  |  | 5,27 | 278 | 955 | 370 |  | 90,2 | 236 | 1,64 | 3,98 | 13 | 0,19 |  |
| DRC-1-004 | 2018 | 67,2 | 17,7 | 15,1 |  |  | 5,27 | 278 | 955 | 370 |  | 90,2 | 236 | 1,64 | 3,98 | 13 | 0,19 |  |
| DRC-1-004 | 2018 | 67,2 | 17,7 | 15,1 |  |  | 5,27 | 278 | 955 | 370 |  | 90,2 | 236 | 1,64 | 3,98 | 13 | 0,19 |  |
| DRC-1-005 | 2018 | 47,2 | 43,7 | 9,14 |  |  | 5,13 | 112 | 696 | 129 |  | 123 | 159 | 1,71 | 3,63 | 17,2 | 0,41 |  |
| DRC-1-005 | 2018 | 47,2 | 43,7 | 9,14 |  |  | 5,13 | 112 | 696 | 129 |  | 123 | 159 | 1,71 | 3,63 | 17,2 | 0,41 |  |
| DRC-1-005 | 2018 | 47,2 | 43,7 | 9,14 |  |  | 5,13 | 112 | 696 | 129 |  | 123 | 159 | 1,71 | 3,63 | 17,2 | 0,41 |  |
| DRC-1-006 | 2018 | 15,3 | 75,7 | 8,99 |  |  | 4,41 | 86,8 | 56,9 | 20 |  | 2,36 | 80,7 | 3,22 | 1,77 | 21,5 | 0,22 |  |
| DRC-1-006 | 2018 | 15,3 | 75,7 | 8,99 |  |  | 4,41 | 86,8 | 56,9 | 20 |  | 2,36 | 80,7 | 3,22 | 1,77 | 21,5 | 0,22 |  |
| DRC-1-006 | 2018 | 15,3 | 75,7 | 8,99 |  |  | 4,41 | 86,8 | 56,9 | 20 |  | 2,36 | 80,7 | 3,22 | 1,77 | 21,5 | 0,22 |  |
| DRC-1-008 | 2018 | 11,3 | 77,6 | 11,1 |  |  | 5,08 | 173 | 698 | 178 |  | 25,9 | 115 | 2,85 | 3,19 | 36,5 | 0,23 |  |
| DRC-1-008 | 2018 | 11,3 | 77,6 | 11,1 |  |  | 5,08 | 173 | 698 | 178 |  | 25,9 | 115 | 2,85 | 3,19 | 36,5 | 0,23 |  |
| DRC-1-008 | 2018 | 11,3 | 77,6 | 11,1 |  |  | 5,08 | 173 | 698 | 178 |  | 25,9 | 115 | 2,85 | 3,19 | 36,5 | 0,23 |  |
| DRC-1-009 | 2018 | 57,2 | 29,4 | 13,4 |  |  | 4,18 | 107 | 73,8 | 29,6 |  | 6,33 | 117 | 4,11 | 0,94 | 27,5 | 0,14 |  |
| DRC-1-009 | 2018 | 57,2 | 29,4 | 13,4 |  |  | 4,18 | 107 | 73,8 | 29,6 |  | 6,33 | 117 | 4,11 | 0,94 | 27,5 | 0,14 |  |
| DRC-1-009 | 2018 | 57,2 | 29,4 | 13,4 |  |  | 4,18 | 107 | 73,8 | 29,6 |  | 6,33 | 117 | 4,11 | 0,94 | 27,5 | 0,14 |  |
| DRC-1-012 | 2018 | 63,2 | 21,7 | 15,1 |  |  | 5,41 | 188 | 1690 | 613 |  | 67,8 | 244 | 2 | 5,73 | 21,8 | 0,3 |  |
| DRC-1-012 | 2018 | 63,2 | 21,7 | 15,1 |  |  | 5,41 | 188 | 1690 | 613 |  | 67,8 | 244 | 2 | 5,73 | 21,8 | 0,3 |  |
| DRC-1-012 | 2018 | 63,2 | 21,7 | 15,1 |  |  | 5,41 | 188 | 1690 | 613 |  | 67,8 | 244 | 2 | 5,73 | 21,8 | 0,3 |  |
| DRC-1-013 | 2018 | 23,2 | 65,9 | 11 |  |  | 4,26 | 173 | 280 | 57,1 |  | 12,7 | 95,8 | 3,74 | 2,62 | 28,3 | 0,25 |  |
| DRC-1-013 | 2018 | 23,2 | 65,9 | 11 |  |  | 4,26 | 173 | 280 | 57,1 |  | 12,7 | 95,8 | 3,74 | 2,62 | 28,3 | 0,25 |  |
| DRC-1-013 | 2018 | 23,2 | 65,9 | 11 |  |  | 4,26 | 173 | 280 | 57,1 |  | 12,7 | 95,8 | 3,74 | 2,62 | 28,3 | 0,25 |  |
| DRC-1-015 | 2019 | 39,9 | 50,1 | 10 |  |  | 5,08 | 199 | 407 | 63,8 |  | 20,1 | 114 | 3,56 | 3,6 | 44,7 | 0,4 |  |
| DRC-1-015 | 2019 | 39,9 | 50,1 | 10 |  |  | 5,08 | 199 | 407 | 63,8 |  | 20,1 | 114 | 3,56 | 3,6 | 44,7 | 0,4 |  |
| DRC-1-015 | 2019 | 39,9 | 50,1 | 10 |  |  | 5,08 | 199 | 407 | 63,8 |  | 20,1 | 114 | 3,56 | 3,6 | 44,7 | 0,4 |  |
| DRC-1-026 | 2020 | 43,6 | 26,3 | 30,1 |  |  | 6,42 | 267 | 3970 | 1280 |  | 2,33 | 209 | 5,08 | 1,38 | 23 | 0,33 |  |
| DRC-1-026 | 2020 | 43,6 | 26,3 | 30,1 |  |  | 6,42 | 267 | 3970 | 1280 |  | 2,33 | 209 | 5,08 | 1,38 | 23 | 0,33 |  |
| DRC-1-026 | 2020 | 43,6 | 26,3 | 30,1 |  |  | 6,42 | 267 | 3970 | 1280 |  | 2,33 | 209 | 5,08 | 1,38 | 23 | 0,33 |  |
| DRC-1-027 | 2020 | 53,7 | 12,4 | 33,9 |  |  | 4,45 | 212 | 788 | 298 |  | 23,1 | 221 | 3,96 | 1,17 | 15,3 | 0,48 |  |
| DRC-1-027 | 2020 | 53,7 | 12,4 | 33,9 |  |  | 4,45 | 212 | 788 | 298 |  | 23,1 | 221 | 3,96 | 1,17 | 15,3 | 0,48 |  |
| DRC-1-027 | 2020 | 53,7 | 12,4 | 33,9 |  |  | 4,45 | 212 | 788 | 298 |  | 23,1 | 221 | 3,96 | 1,17 | 15,3 | 0,48 |  |
| DRC-1-028 | 2020 | 51,6 | 32,6 | 15,9 |  |  | 6,27 | 1150 | 4080 | 1410 |  | 103 | 212 | 6,45 | 1,31 | 18,5 | 0,26 |  |
| DRC-1-028 | 2020 | 51,6 | 32,6 | 15,9 |  |  | 6,27 | 1150 | 4080 | 1410 |  | 103 | 212 | 6,45 | 1,31 | 18,5 | 0,26 |  |
| DRC-1-028 | 2020 | 51,6 | 32,6 | 15,9 |  |  | 6,27 | 1150 | 4080 | 1410 |  | 103 | 212 | 6,45 | 1,31 | 18,5 | 0,26 |  |
| DRC-1-029 | 2020 | 41,4 | 24,6 | 34 |  |  | 5,53 | 435 | 2460 | 1260 |  | 14,7 | 194 | 11.2 | 2,36 | 10,5 | 0,43 |  |
| DRC-1-029 | 2020 | 41,4 | 24,6 | 34 |  |  | 5,53 | 435 | 2460 | 1260 |  | 14,7 | 194 | 11.2 | 2,36 | 10,5 | 0,43 |  |
| DRC-1-029 | 2020 | 41,4 | 24,6 | 34 |  |  | 5,53 | 435 | 2460 | 1260 |  | 14,7 | 194 | 11.2 | 2,36 | 10,5 | 0,43 |  |
| DRC-1-030 | 2020 | 49,6 | 22,4 | 28 |  |  | 5,97 | 162 | 3780 | 1160 |  | 17,8 | 197 | 5,86 | 2,59 | 9,16 | 0,54 |  |
| DRC-1-030 | 2020 | 49,6 | 22,4 | 28 |  |  | 5,97 | 162 | 3780 | 1160 |  | 17,8 | 197 | 5,86 | 2,59 | 9,16 | 0,54 |  |
| DRC-1-030 | 2020 | 49,6 | 22,4 | 28 |  |  | 5,97 | 162 | 3780 | 1160 |  | 17,8 | 197 | 5,86 | 2,59 | 9,16 | 0,54 |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |