



Evaluation de la maturité et la qualité hygiénique de trois différents composts produits dans une toilette sèche

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU MASTER EN INGENIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT

OPTION : Eau et Assainissement

Présenté et soutenu publiquement le [01/07/2014] par

Léony Brice KAMDEM DJOMOU

Travaux dirigés par :

Seyram K. SOSSOU
Ingénieur de recherche
LEDES

Jury d'évaluation du stage :

Président : DR Mariam SOU

Membres et correcteurs : DR rabah LAMAR
Mme Noellie KPODA

Promotion [2013/2014]

INTRODUCTION

INTRODUCTION

L'OMS définit l'assainissement comme un groupe de méthodes pour recueillir les excréments et l'urine ainsi que les eaux usées de la communauté d'une façon hygiénique, où la santé humaine et de la communauté n'est pas altérée.

Plus de 2 millions de personnes meurent chaque année de diarrhée juste, d'où la plupart sont âgés de moins de cinq ans. Chaque jour, environ 5000 enfants meurent de maladies diarrhéiques (**Guide à l'assainissement et à l'hygiène dans les pays en développement, 2010**).

On estime à 1,1 milliard le nombre de personnes privées d'un accès convenable à l'eau potable² et à 2,6 milliards le nombre de personnes ne disposant pas d'assainissement.

Face à ces enjeux, la communauté internationale s'est donnée comme objectifs de réduire de moitié d'ici 2015 la proportion de la population qui, dans le monde, n'a pas un accès durable à l'eau (cible particulière de l'objectif du millénaire pour le développement n°7 - Assemblée générale des Nations unies, New York, septembre 2000) et à l'assainissement (Sommet mondial du développement durable, Johannesburg, septembre 2002).

Ce double défi est considérable. La croissance démographique implique de desservir, d'ici 2015, 1,6 milliard de personnes en eau potable et 2,2 milliards en assainissement (dont respectivement 400 et 410 millions de personnes en Afrique). (**Guide de la coopération Décentralisée pour l'eau potable et l'assainissement, 2007**).

Les problèmes d'assainissement du monde ne peuvent être résolus que par la construction de latrines d'eau et d'égouts.

Par conséquent, il est nécessaire de développer des alternatives bon marché, d'assainissement techniquement simples et sûres, qui peuvent être ajusté pour répondre aux besoins des différentes cultures et environnements. Les latrines sèches (toilettes sèches, DT) sont une bonne solution pour cela. (**Guide à l'assainissement et à l'hygiène dans les pays en développement, 2010**).

L'agriculture conventionnelle maintient la fertilité des surfaces agricoles par l'apport d'engrais industriels. Les inquiétudes sur la pérennité de ce modèle d'agriculture sont nombreuses avec notamment la perspective d'un épuisement à moyen terme des ressources mondiales en phosphore et le constat d'un effondrement des taux de matières organique des

sols cultivés. L'amélioration du recyclage agricole des ressources (nutriments et matières organique) présentes dans les excréments est une des pistes d'action identifiées et la gestion séparée des excréments et des eaux ménagères l'une des techniques prometteuses. En évitant de diluer la fraction la plus intéressante (les excréments) dans le reste des eaux usées (les eaux ménagères), les toilettes sèches proposent une voie efficace pour faire face à ces enjeux. Les toilettes sèches permettent également de réaliser des économies d'eau de l'ordre de 20 à 30 % de la consommation d'un ménage et limitent la charge polluante dans le reste des eaux usées, les eaux ménagères. Celles-ci seront ainsi plus faciles à traiter. **(Toilettes Du Monde, 2010)**

Le compostage est une des méthodes de traitement des sous-produits des toilettes sèches, et celle la plus fréquemment utilisée à ce jour en France. Un compostage réussi assure à la fois une hygiénisation des matières et leur transformation en un amendement de qualité pour le sol, répondant ainsi aux deux principaux objectifs de l'assainissement écologique : protéger la santé publique et assurer un retour au sol de nos déjections. **(Benjamin berne, 2010)**

L'exigence principale d'un compost pour qu'il soit utilisé en toute sécurité dans le sol est son degré de stabilité ou de maturité, ce qui implique une matière organique stable contenue et l'absence de composés phytotoxiques des plantes ou des agents pathogènes d'origine animale. La maturité est associée avec un potentiel de croissance des plantes ou à la phytotoxicité **(Iannotti et al. , 1993)**, alors que la stabilité est souvent liée à l'activité microbienne du compost .

L'objectif général de notre étude est de déterminer la qualité des composts des toilettes sèches par la caractérisation des paramètres chimiques et microbiologiques.

Cet objectif sera atteint à travers les objectifs spécifiques qui sont les suivants :

- Faire une caractérisation physico-chimique des composts
- Faire une caractérisation microbiologique des composts
- Déterminer la stabilité et la maturité des composts

Outre l'introduction et la conclusion, le présent travail est subdivisé en trois grandes parties :

- La première est consacrée à la revue de la littérature,
- La seconde expose les matériels et méthodes,
- Et la troisième présente les résultats et discussion.

I. REVUE DE LA LITTERATURE

I. REVUE DE LITTERATURE

1. Quelques définitions

1.1. Toilettes sèches

La toilette sèche, aussi appelée toilette à compost ou toilette à litière (sèche), est une latrine qui n'utilise pas d'eau et permet de récupérer les excréments pour en faire du compost (**techno-science.net**).

1. 2. Compostage

selon(**Francou 2003**),le compostage est : « un processus contrôlé de dégradation des constituants organiques d'origine végétale et animale, par une succession de 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. »

1.3. Stabilité

La stabilité désigne généralement l'état d'une matière ayant une activité biologique réduite.(**Ministère de l'Environnement de l'Ontario 2012**)

1.4. Maturité du compost

En général, « maturité » désigne l'état d'un compost qui affiche une activité biologique limitée et qui est décomposé au point de pouvoir être entreposé et utilisé sans risque de dégager des odeurs et sans conséquences préjudiciables, notamment pour les végétaux en raison d'éventuels composés phytotoxiques rémanents. (**Ministère de l'Environnement de l'Ontario 2012**)

2. Toilettes sèches

L'utilisation de toilettes sèches ne date pas d'hier. Différents systèmes développés il y a plusieurs siècles par des sociétés traditionnelles ont été répertoriés : système à séparation des urines dans les immeubles de la ville de Djenne (Mali), toilettes sèches avec ajout de terre dans les maisons du Ladakh (Inde), toilettes à compost au Népal, toilettes traditionnelles berbères, etc.

C'est essentiellement dans les pays nordiques que les premiers systèmes de toilettes sèches modernes furent inventés, notamment pour trouver des solutions à la problématique de l'assainissement des résidences d'été. Ces habitations temporaires sont très fréquentes en Norvège, Suède et Finlande et sont souvent installées à même le rocher ou sur des sols trop fins pour assurer l'épuration et l'infiltration des eaux usées. Il existait une réelle demande des particuliers pour des systèmes d'assainissement adaptés à ces situations, ce qui stimula l'innovation dans ce domaine.

Trois critères peuvent être utilisés pour caractériser un dispositif de toilette sèche :

2.1. Toilettes à compost ou à séparation des urines

Les toilettes sèches sont généralement classées en deux grandes familles :

- **Les toilettes à compost** assurent une collecte conjointe des urines et des fèces et un traitement des matières par compostage. Ce mode de fonctionnement est généralement associé à un ajout plus ou moins fréquent de litière carbonée aux excréta, celle-ci permettant d'absorber les urines et d'améliorer le processus de compostage. Ce dernier peut se dérouler au niveau de la toilette, à l'intérieur des réceptacles des matières (on parle alors de toilette à compostage continu), ou uniquement sur une aire de compostage extérieure, après que les matières aient été vidangées.



Figure 1 : Toilettes à compost1.(<http://ecotaupi.org>)

- A l'inverse, **les toilettes à séparation des urines** permettent une gestion séparée des urines et des matières fécales. La séparation est généralement faite au niveau de la toilette grâce à des cuvettes particulières ayant deux sorties : une à l'avant pour collecter les urines et

une à l'arrière pour les matières fécales (cf. photo ci-contre). On parle alors de toilettes à séparation «à la source ». Mais il est également possible de séparer les urines des matières fécales par gravité. Dans ce cas, la séparation n'est pas faite au niveau de la cuvette mais dans un second temps, au niveau du réceptacle des matières.



Figure 2 : Toilettes à séparation des urines (Toilettes Du Monde 2009)

2.2. Systèmes compacts ou reliés

Un deuxième critère peut être utilisé pour caractériser un dispositif de toilette sèche : la taille du réceptacle des matières. Certains modèles sont de petite taille et seront installés à même le sol de la pièce des toilettes (**modèles dits compacts**) alors que d'autres ont un réceptacle plus volumineux qui devra être installés sous la pièce des toilettes (étage inférieur, cave, vide sanitaire, etc.). On parle dans ce deuxième cas de **modèle relié**, à gros volume ou à colonne de chute.

2.3. Systèmes à traitement continu ou discontinu

Un dernier critère important consiste à distinguer les systèmes assurant un traitement des matières à l'intérieur de la toilette de ceux ne permettant qu'un stockage temporaire avant un traitement des matières sur une aire extérieure. Pour les systèmes à compostage par exemple, on parlera de modèles à **compostage continu** (le compostage a lieu dans le ou les réceptacles des matières) ou de modèles à **compostage discontinu** (le réceptacle ne sert qu'à la collecte des matières, lesquelles seront traitées dans un second temps, sur une aire extérieure).

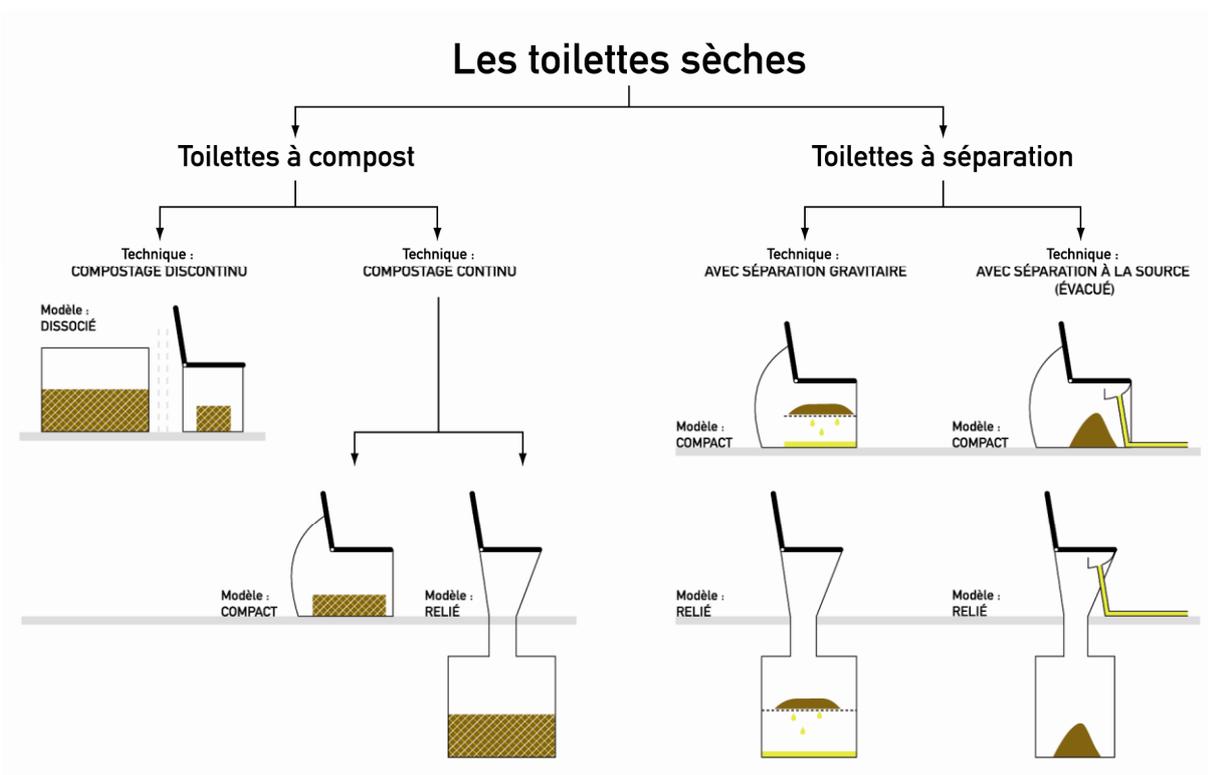


Figure 3 : classification des toilettes sèches (Toilettes Du Monde 2010)

2.4. Toilettes de type ECOSAN :

L'approche ECOSAN est fondée sur la réutilisation et la conservation des ressources naturelles. Elle a pour objectif de préserver la santé humaine, d'augmenter la fertilité des sols et de réduire les nuisances causées à l'environnement. La toilette Ecosan est une toilette sèche et écologique qui ne nécessite pas l'usage de l'eau pour son fonctionnement. Son principe est de collecter séparément les urines et les fèces à la source grâce à un dispositif conçu à cet effet (siège à l'anglaise ou plate-forme à la turque).

La collecte séparée de ces deux sous-produits permet de les traiter convenablement grâce à une technique adaptée à chacun d'eux. La séparation des fèces et des urines permet aussi de réduire les nuisances liées aux odeurs nauséabondes et aux mouches. Les fèces sont traitées par déshydratation qui est favorisée par la chaleur du soleil, la ventilation et l'ajout de matériau sec absorbant (cendre, sciure de bois, sable). Les urines sont canalisées vers un récipient. Elles sont traitées par stockage pendant 45 à 50 jours. Les deux types d'excrétas,

ainsi hygiénisés, ne présentent aucun risque de contamination et peuvent donc être utilisés comme fertilisants en agriculture..(Toilettes Du Monde 2011)



Figure 4 : Toilettes Ecosan

3. Compostage

3.1. Caractéristiques du compostage

Le compostage est caractérisé par :

- Une **production de chaleur** au début du processus (températures couramment observées comprises entre 40 et 70 °C) consécutive à la forte activité des micro-organismes aérobies décomposeurs (oxydations exothermiques).
- Une **perte de masse et de volume**, due à la perte de matière (CO₂ et H₂O produits à partir des molécules de matières organiques), à l'évaporation de l'eau sous l'effet de la chaleur et au tassement (perte de structure).
- Une **transformation des matières premières organiques** par voies chimique, biochimique (microbienne) et physique (changement de couleur, d'aspect, de granulométrie), notamment avec la production de composés humiques stabilisés.

3.2. Processus de compostage

Plusieurs paramètres (température, pH, taux d'oxygène...) présentent des variations au cours du compostage. L'évolution de la température, qui exprime l'activité de la succession de populations microbiennes liées aux modifications du milieu, est la manifestation la plus perceptible de la dynamique du compostage. Elle permet de distinguer 4 phases :

- **la phase mésophile (A)** est la phase initiale du compostage. Les matières premières sont envahies par les micro-organismes mésophiles (bactéries et champignons essentiellement), absorbant les molécules simples (sucres simples, acides aminés, alcools...) et transformant une partie des polymères (protéines, acides nucléiques, amidon, pectines, hémicellulose, cellulose...). Leur activité engendre une montée en température (de 10-15 °C à 30-40 °C), un dégagement important de CO₂ (d'où la diminution du rapport C/N) ainsi qu'une acidification. La dégradation de la cellulose durant cette phase est responsable de plus de 75 % de la perte de poids sec.

- **la phase thermophile (B)** est atteinte, au centre du tas, à des températures élevées (de l'ordre de 60 à 70 °C pour les composts agricoles), auxquelles ne résistent que des micro-organismes thermotolérants ou thermophiles (arrêt de l'activité des champignons, développement des actinomycètes et des bactéries thermophiles). Les pertes en azote, minéralisé sous forme ammoniacale (NH₄⁺), qui peut être volatilisé sous forme d'ammoniac (NH₃) dans certaines conditions, ainsi que l'évaporation d'eau, sont plus importantes au cours de cette phase. La libération de CO₂ peut entraîner, à la fin des phases thermophiles, jusqu'à 50 % de perte en poids sec. Les hautes températures caractérisant la phase thermophile ne concernent que le centre du tas.

- **la phase de refroidissement (C)** est la phase intermédiaire entre la phase thermophile et la phase de maturation. Elle prend fin avec le retour à la température ambiante. Le milieu est colonisé de nouveau par des micro-organismes mésophiles. Ils dégradent les polymères restés intacts en phase thermophile et incorporent l'azote dans des molécules complexes.

- **la phase de maturation (D)** présente peu d'activité microbiologique (recolonisation par des champignons) mais est adaptée à la colonisation par la macro-faune, en particulier les lombrics lorsque ceux-ci sont présents dans l'environnement du tas. Les matières organiques

sont stabilisées et humifiées par rapport aux matières premières mises à composter. Le pH s'équilibre vers la neutralité. (**Blaise Leclerc 2012**)

4. stabilité et maturité du compost

4.1. Qualité du compost

L'évaluation de la maturité du compost a été largement identifiée en tant qu'un des problèmes les plus importants de l'utilisation du compost comme amendement. Pour, (**Mondini and Insam 2003**) l'emploi de biodéchets provenant d'horizons divers rend indispensable la détermination de la qualité des composts avant leur utilisation en agriculture. En effet, les plus importants facteurs affectant le succès de l'utilisation de compost comme amendement agricole sont les degrés de stabilité et de maturité (**Said-Pullicino et al. 2007**). Ainsi, (**Larré-Larrouy and Thuriès 2006**) affirment que la gestion du processus de compostage doit tenir compte de la valeur agronomique potentielle du produit final en évaluant son degré de maturité.

4.1.1. Définition de la qualité d'un compost

La qualité d'un compost est difficile à définir et demeure une notion évasive (**Lasaridi et al. 2006**). La stabilité et la maturité du compost sont essentielles pour une utilisation optimale comme amendement et source de nutriments pour les plantes (**Amir 2005**).

(**Francou 2003**) juge que le terme de maturité reste souvent ambigu, bien que fréquemment cité dans la littérature. Dans la majorité des articles, la stabilité et la maturité ne sont, soit définies que de manière implicite, soit pas définies du tout. Deux approches distinctes coexistent pour décrire la qualité des composts.

La première s'appuie sur la notion de transformation d'une matière organique initiale très fortement biodégradable, en une matière organique stable en fin de compostage. Le degré de stabilité du compost est alors estimé par la biodégradabilité des matières organiques et par leur humification (**Garcia et al. 1993**).

La seconde approche considère les effets du compost sur les végétaux. Le degré de maturité est, dans ce cas, relié à l'absence de préjudice pour les plantes suite à l'utilisation de compost. En effet, (**Tiquia, Tam, and Hodgkiss 1997**) expliquent que l'apport de compost immature dans un sol engendre des effets négatifs sur la germination et sur la croissance et le

développement des plantes. Dans cette optique, le meilleur indicateur de maturité d'un compost reste l'estimation de sa phytotoxicité. De nombreuses études de cet aspect (**Alburquerque et al. 2006**) suggèrent qu'un compost stable ne signifie pas nécessairement qu'il soit mature puisqu'il peut encore avoir un effet inhibiteur ou phytotoxique sur la croissance des plantes.

4.1.2. Recherche de la maturité

L'utilisation agronomique du compost immature, dont la matière organique n'est pas suffisamment stabilisée, est une des causes, les plus fréquemment rencontrées, d'effets néfastes sur le rendement des récoltes (**Iglesias Jiménez and Perez Garcia 1989**). L'effet le plus dangereux de l'application d'un compost insuffisamment mûr reste la séquestration biologique de l'azote disponible du sol par les populations microbiennes.

Ceci peut provoquer une déficience en N pour la plante. L'immobilisation de l'azote minéral de sol est due au haut rapport C/N qui caractérise habituellement un compost immature. Ceci engendre une importante augmentation des micro-organismes du sol qui décomposent le considérable excès de composés carbonés présents et assimilent ainsi l'azote pour leur métabolisme et leur croissance (**Bernai et al. 1998**).

En dehors de cet excès de carbone, la rapide décomposition d'un compost immature peut causer de sérieux dégâts sur le sol et les plantes. Ainsi, la diminution de la concentration en O₂ dans le sol peut mener à la création de zones anaérobies et fortement réductrices (**Chikae et al. 2007**). (**Déportes, Benoit-Guyod, and Zmirou 1995**) rapportent que l'accessibilité des métaux lourds diminue avec l'avancement de la maturité du compost. Pour (**Iglesias Jiménez and Perez Garcia 1989**), la création de ces zones réductrices augmente la solubilité de plusieurs métaux lourds car les formes réduites sont plus solubles que leurs formes oxydées. L'augmentation de leur solubilité dans le sol peut alors causer une absorption accrue et ainsi augmenter leur concentration dans la plante, jusqu'à atteindre des niveaux phytotoxiques.

Par ailleurs, (**Déportes, Benoit-Guyod, and Zmirou 1995**) rapportent que la forte augmentation de l'activité microbienne du sol engendre une élévation de la température à des niveaux incompatibles avec les fonctions physiologiques normales des racines. De même, la production de substances phytotoxiques, lors de la décomposition du compost, peut provoquer une inhibition de la germination des graines. La plante réagit à cet environnement inhibiteur en abaissant son niveau métabolique, c'est-à-dire en réduisant sa respiration, l'absorption des

nutriments. La présence de composés phytotoxiques est une autre cause de dégâts engendrés par l'application de compost immature. L'effet phytotoxique du compost immature est dû, entre

autres causes, à l'émission d'ammoniaque (Tang et al. 2006). En effet, la présence de l'ammoniaque dans le sol, même en petite quantité, a été décrite comme toxique pour les racines, pour le développement normal des plantes ainsi que pour la germination des graines (Iglesias Jiménez and Perez Garcia 1989). (Wong 1985) rapporte qu'un oxyde d'éthylène, synthétisé pendant la décomposition du compost dans le sol, participe aussi à cet effet phytotoxique. La présence d'acides organiques dans le compost immature a également été décrite comme cause de sa phytotoxicité (Alburquerque et al. 2006).

Par ailleurs, un compost immature incorporé au sol présente un potentiel de nuisance olfactive (Déportes, Benoit-Guyod, and Zmirou 1995). Par conséquent, il est essentiel de déterminer le degré de maturité au moyen de méthodes rapides pour éviter tous ces effets nuisibles possibles.

4.1.4. Les critères d'évaluation de la maturité d'un compost

Différents paramètres peuvent être utilisés pour déterminer la stabilité et maturité du compost. Une étude effectuée par ADAS Consulting Limited (2005) recense les diverses définitions proposées dans la littérature. Le terme de stabilité y est défini par 12 paramètres parmi 49 références bibliographiques et la maturité selon 7 paramètres parmi 44 références.

La répartition des termes recueillis dans la littérature est récapitulée dans le Tableau 1.

L'activité biologique, le degré de décomposition et les effets sur les plantes sont les principaux paramètres cités. Aucun test officiel ou standard n'existe actuellement pour évaluer chacune de ces deux caractéristiques de l'état du compost.

Tableau 1 : Paramètres de stabilité et de maturité (en % d'apparition dans la littérature) extrait de A.D.A.S Consulting Limited (2005).

<i>Stabilité</i>	<i>%</i>	<i>Maturité</i>	<i>%</i>
Activité Biologique ou respiration	35	Effets sur les plantes	45
Degrés ou stades de décomposition	20	Degré de décomposition(C/N)	23
Mauvaises odeurs	14	Activité biologique ou respiration	11
Consommation d'azote	8	Bénéfices agraires (textures, rétention en eau...)	9
Disponibilité des nutriments	6	Odeurs	9
Phytotoxicité	4	Pathogènes	4
Carbone disponible ou autres sources	2	Couleurs	2
Couleur	2		
Dissolution des métaux lourds	2		
Humidité	2		
Risques environnementaux pour la santé	2		
Texture	2		
	100		100

4.1.4.1. Méthodes empiriques

La pratique du compostage est connue depuis extrêmement longtemps et différentes méthodes empiriques ont permis aux utilisateurs de déterminer la maturité des composts bien avant l'essor des sciences modernes. L'approche sensorielle permet, par exemple, de juger de son stade de maturité (**Iglesias Jiménez and Perez Garcia 1989**).

Un compost à maturité comprend les caractéristiques suivantes :

- ne dégage pas d'odeur d'ammoniacque
- sa température est basse même si le compost est humidifié

- granuleux, foncé et odeur boisé agréable
- plus de distinction à l'œil nu du compost et des composés d'origine

Cependant, ces méthodes simples et rapides doivent être complétées par des analyses plus précises en laboratoire (**Charnay 2005**).

4.1.4.2. Caractéristiques physico-chimiques classiques

La majorité des études, relatives au degré de maturité des composts, se base sur l'évolution des paramètres physico-chimiques tels que le pH, le rapport C/N, le taux de matière organique, le rapport d'humification, la capacité d'échange cationique (CEC)...

➤ Mesure de pH

Le pH a été l'un des premiers indicateurs chimiques de la maturité des composts et a été utilisé dans de nombreuses études. (**Iglesias Jiménez and Pérez García 1991**) ont en effet observé une élévation du pH pendant le compostage. Selon (**Avnimelech et al. 1996**), les pH acides sont caractéristiques des composts immatures alors que les composts mûrs ont des pH compris entre 7 et 9.

➤ Capacité d'échange cationique (CEC)

Le processus d'humification produit des groupes fonctionnels et augmente l'oxydation de la matière organique, provoquant ainsi un accroissement de la CEC. Selon (**Iglesias Jiménez and Perez Garcia 1989**), une CEC supérieure à 60 meq/100g de matière organique est nécessaire pour considérer un compost comme mûr.

➤ Le rapport C/N

Le rapport C/N (carbone organique / azote organique) diminue pendant le compostage. Ce paramètre est le plus couramment mesuré pour évaluer la maturité d'un compost. (**Iglesias Jiménez and Perez Garcia 1989**) estiment qu'un rapport inférieur à 20 et même 15 caractérise un compost mûr. (**Namkoong et al. 1999**) explique qu'un compost caractérisé par un rapport de 10 – 15 peut être considéré comme stable bien que le ratio final dépendant des matières initiales utilisées. Le C/N dans les composts est comparé au rapport C/N, proche de 10, des sols humiques (**Charnay 2005**).

➤ **Le rapport $\text{NO}_3^- / \text{NH}_4^+$**

L'apparition des nitrates dans le compost peut, en effet, être un indicateur de maturité.

Les micro-organismes nitrifiants induisent une diminution de la concentration en ammonium NH_4^+ et une apparition d'ions nitrate NO_3^- . Le rapport $\text{NO}_3^- / \text{NH}_4^+$ est ainsi utilisé par certains auteurs comme indicateur de maturité. Cependant, selon (**Francou 2003**), ce rapport est peu utilisé et les résultats obtenus sont très différents.

➤ **Humification : rapport (AH/AF)**

Les processus d'humification ont incité de nombreux auteurs à étudier les matières organiques humifiées ou substances humiques. Le fractionnement chimique de la matière organique en humine, acides humiques et fulviques a conduit certains auteurs à élaborer des indicateurs de maturité. Des études montrent notamment une augmentation significative du rapport acide humique sur acide fulvique (AH/AF) au cours du compostage (**Veeken et al. 2000**). Les résultats trouvés dans la littérature sont assez concordants avec des valeurs inférieures à 1 pour des composts immatures, et supérieures à 1 ou 3 pour les composts mûrs.

4.1.4.3. Activités biologiques

➤ **Mesures de la respiration**

Les mesures de respirations reposent sur l'activité respiratoire des micro-organismes présents dans le compost. Un compost immature est caractérisé par une demande en O_2 et un taux de production de CO_2 importants, dus à une intense activité microbienne provoquée par la forte biodégradabilité des substrats (**Bernai et al. 1998**) contrairement à un compost mature, plus stable et moins actif. De nombreux auteurs ont ainsi étudié les relations entre l'activité des micro-organismes et le temps de compostage par différentes méthodes respirométriques (**Adani, Lozzi, and Genevini 2001**).

➤ **Activités enzymologiques**

Les enzymes importantes impliquées dans le processus de compostage incluent des cellulases, des hémicellulases, des phénoloxydases, des protéases, des lipases, des phosphatases et leurs activités évoluent en fonction de degré de décomposition de la matière organique. Ainsi, des niveaux élevés d'activités protéase, lipase et cellulase ont été mesurés pendant la phase active du compostage (**Goyal, Dhull, and Kapoor 2005**). Cependant, le compostage étant effectué à partir de substrats organiques très différents et par de nombreux procédés, (**Mondini, Fornasier, and Sinicco 2004**) estiment que l'établissement de valeurs seuils générales d'activités enzymatiques comme indice de maturité est extrêmement difficile. En effet, les activités enzymatiques mesurées à maturité sont spécifiques des composts testés. Ainsi, ces auteurs affirment qu'il est nécessaire d'utiliser plusieurs enzymes et préférable d'effectuer une étude dynamique des activités enzymatiques tout au long du compostage.

➤ **Etude des communautés microbiennes**

Les successions de communautés microbiennes au cours du compostage sont bien connues (**Mondini and Insam 2003**) et de nombreuses méthodes ont déjà été employées dans le cadre de leur étude telles que l'analyse de l'ARN 16S ou 18S, l'étude des acides gras des phospholipides (PLFA) ou l'analyse des profils quinones (**Blanc et al. 1999**). Un outil semble très prometteur : l'étude des profils métaboliques par microplaque Biolog. Cette technique consiste à étudier la croissance microbienne sur différentes sources de carbone, permettant ainsi de mettre en évidence différents profils physiologiques ou community level physiological profiles (CLPP). (**Mondini and Insam 2003**) affirment que cette technique apparaît comme un indicateur prometteur du degré de maturité mais ajoutent, néanmoins, que des améliorations méthodologiques sur la standardisation de l'inoculum utilisé sont nécessaires.

➤ **Test d'auto-échauffement**

L'intense activité des micro-organismes dans les composts immatures a pour conséquence la production de chaleur lors de la dégradation des composés les plus simples et les plus accessibles. Ainsi, il est possible de mesurer le degré de décomposition de la matière organique d'un compost par une mesure de l'élévation de température après réhumidification.

Plusieurs travaux ont montré la pertinence de ce test pour évaluer la maturité des composts (**Brinton et al. 1995**).

➤ **Test Solvita®**

Le test Solvita® est basé sur la minéralisation du carbone et la volatilisation de l'ammoniac commercialisé sous le nom de test Solvita® (Woods Research® Management, USA). Ce test est réalisé sur des composts dont l'humidité est ajustée à un niveau correspondant à l'activité microbienne optimale. Ce test combine une estimation de la minéralisation du carbone et une estimation de la volatilisation de l'ammoniac (**Francou 2003**). Un indice global, à partir de deux indicateurs colorés, de 6 ou plus, sur une échelle de 1 à 8, correspond à un compost mûr. (**Changa et al. 2003**) montrent que ce test apporte d'utiles informations sur les concentrations excessives et toxiques d'ammoniac dans les composts et concluent que la méthode Solvita® est un test simple et peu onéreux de la stabilité des composts et de l'émission de NH₃.

4.1.4.4. Valeurs agronomiques, tests sur plantes

➤ **Phytotoxicité**

La stabilité du compost ne prend pas en compte automatiquement son action sur les plantes. Les tests de phytotoxicité sont les seuls moyens d'évaluer la toxicité liée à leur incorporation au sol. En effet, les composts mûrs ne doivent pas présenter de substance empêchant la germination des graines et la croissance des plantes. L'acide acétique est probablement l'acide organique, libéré par les composts immatures, le plus préjudiciable bien qu'il existe également d'autres composés (acétaldéhyde, éthanol, acétone, éthylène...) contribuant aux effets phytotoxiques (**Iglesias Jiménez and Perez Garcia 1989**). Des concentrations élevées en sels et la libération d'acides organiques dans les composts sont également corrélées à l'inhibition de la germination et de la croissance. Par conséquent, la phytotoxicité est souvent évaluée par l'étude de la germination ou par des tests de croissance (**Said-Pullicino et al. 2007**), mais (**Emino and Warman 2004**) conseillent de choisir les plantes avec soin. Un indice de germination (IG) de 50% est reconnu comme étant celui d'un compost sans effet phytotoxique (**Chikae et al. 2007**).

➤ Conductivité

La conductivité du compost est fortement dépendante de son contenu en nutriments. Cependant, pour une conductivité supérieure à 5 mS.cm⁻¹, l'apport de compost dans le sol doit être limité pour les espèces sensibles aux sels (S\|a ebø and Ferrini 2006). En effet, les différentes espèces de plantes ont des préférences et des niveaux de tolérance spécifiques et le mélange est l'unique moyen pour réduire la conductivité à un niveau acceptable *i.e.* à un maximum de 2-3 mS.cm⁻¹ pour (S\|a ebø and Ferrini 2006). Cependant, (Said-Pullicino et al. 2007) ont observé une diminution de la conductivité de 8.9 à 5.0 mS.cm⁻¹ après 250 jours pour un compost (déchets municipaux solides, taille de haies et résidus de l'agro-industrie de tabac). Ces valeurs, encore élevées après 250 jours, sont pourtant caractérisées par un taux de germination de graines d'Ail de 74 % *i.e.* un taux très correct. La conductivité est en réalité très variable selon le type de compost, même si elle a une tendance naturelle à diminuer avec la progression de la maturité.

➤ Valeurs agronomiques

La qualité d'un compost se juge également sur ses qualités comme amendement organique dans les sols. Le compost assure une faible mobilité des nutriments, notamment de l'azote (Charnay 2005). La valeur amendante est l'aptitude des composts à entretenir ou augmenter le stock de matière organique du sol (Francou 2003). Le compost agit tout d'abord en apportant des éléments nutritifs aux sols et aussi en entretenant ou en augmentant le stock de matière organique du sol amendé. Des tests en champ permettent d'estimer les bénéfices de l'apport de composts pour les sols et pour les cultures (Rivero et al. 2004).

Cependant, pour évaluer plus rapidement cette valeur amendante, deux méthodes sont utilisées : l'indice de stabilité biologique (ISB) et la caractérisation biochimique de la matière organique (CBM).

Le calcul de l'ISB est une évaluation de la proportion de matière organique susceptible de contribuer à l'entretien de la matière organique du sol.

(Robin 1997) a proposé un autre modèle aboutissant à la détermination du taux de carbone restant dans le sol à long terme : la CBM. Le calcul de la CBM est directement inspiré de

celui de l'ISB avec pour différences essentielles : le temps d'incubation qui passe à 40 jours, l'utilisation de la méthode de **Van Soest** pour toutes les fractions et le fait que l'on tienne compte de la proportion de matières minérales dans le produit de départ (**Francou 2003**).

Une synthèse bibliographique (non exhaustive) récapitule la multitude d'indicateurs de maturité existant avec les valeurs seuils pour des composts immatures et des composts matures (Tableau 3). Vu les différences dues aux origines des matières initiales à composter et des techniques de compostage utilisées, les différents critères ne sont pas souvent cohérents et plusieurs auteurs suggèrent ainsi qu'aucun critère n'est utilisable isolément. Ils recommandent donc une combinaison de différentes techniques (**Goyal, Dhull, and Kapoor 2005**).

Tableau 2 : Exemple de valeurs des principaux indicateurs de maturité

Paramètre	Analyse	Valeurs compost immature	Valeurs compost mature	Références
Chimique	pH	6 - 9	7 - 9	(Francou, 2003)
		5,6 à 7,6	7,1 à 7,5	(Bernal <i>et al.</i> , 1998)
	C/N	> 15	< 15	(Francou, 2003)
		11 à 31	8,6 à 11,8	(Iglesias-Jimenez et Perez-Garcia, 1993)
	NO ₃ /NH ₄	21,5	17,9	(Hirai <i>et al.</i> , 1986)
		< 1	1,4 et 6,8	(Forster <i>et al.</i> , 1993)
			> 1	(Senesi, 1989), cité par Serra-Wittling, (1996)
			> 1	(Francou, 2003)
	CEC		> 6,3	(Sanchez-Monedero <i>et al.</i> , 2001)
			> 60 meq / 100 g MS	(Iglesias-Jimenez et Perez-Garcia, 1993)
AH - AF			(Castaldi <i>et al.</i> , 2005; Huang <i>et al.</i> , 2006)	

	Rapport AH/AF	0 - 1	1,3 - 1,7	(Francou, 2003)
			1,9	(Iglesias-Jimenez et Perez-Garcia, 1993)
		0,6 - 0,7	3,33	(Hsu et Lo, 1999)
Spectral	RMN ¹³ C			(Almendros <i>et al.</i> , 2000; Chen, 2003; Castaldi <i>et al.</i> 2005)
	Infrarouge			(Chen, 2003; Castaldi <i>et al.</i> , 2005; Huang <i>et al.</i> , 2006)
	UV			(Domeizel <i>et al.</i> , 2003; Huang <i>et al.</i> , 2006)
Activité microbienne	Respirometrie	> 15 g O ₂ .kg ⁻¹ MS en 7 j	< 7 g O ₂ /kg MS en 7j	(Nicolardot <i>et al.</i> , 1986)
		27.5 mg O ₂ .g ⁻¹ VS h ⁻¹	1.9 mg O ₂ g ⁻¹ VS h ⁻¹	(Said-Pullicino <i>et al.</i> , 2007)
	Successions des communautés			(Mondini <i>et al.</i> 2003; Boulter-Bitzer <i>et al.</i> , 2006)
	Enzymologie			(Mondini <i>et al.</i> , 2003; Boulter-Bitzer <i>et al.</i> , 2006)
				(Chikae <i>et al.</i> , 2007)
	Auto-échauffement			(Francou, 2003)
	Solvita®	< 3	5 - 6	(Francou, 2003)
Effet sur plantes	Germination			(Wu <i>et al.</i> , 2001; Chikae <i>et al.</i> , 2006)
				(Said-Pullicino <i>et al.</i> , 2007)

Valeur
agronomique

(Rivero *et al.*, 2004)

VS: Total volatile solids

MATERIEL ET METHODES

II. MATERIEL ET METHODES

1. Composts utilisés

Les composts utilisés au cours de cette étude sont produits à partir de matrices différentes:

- copeaux du beurre de karité : sont produits dans les bioréacteurs ;
- sciures de bois produit dans les pilotes de toilette sèches installées dans un ménage du village Kollondjessé
- et tiges du mil produits dans les pilotes de toilette sèches installées dans un ménage du village Barkumba

2. Test de stabilité

2.1. pH

Dans un tube de 50 ml on prélève 4g de compost brut dans lequel on ajoute 10 ml d'eau distillée. On agite pendant 10 minutes et la mesure du pH se fait grâce à un **pH mètre à électrode....**

2.2. Conductivité

Dans un tube de 50 ml on prélève 4g de compost brut dans lequel on ajoute 20 ml d'eau distillée. On agite pendant 10 minutes et la mesure de la conductivité se fait grâce à un **conductimètre...**

2.3. Teneur en eau

On pèse 50 g d'échantillon dans un creuset en porcelaine avant et après passage à **l'étuve** à 105°C pendant 24h.

La teneur en eau est déterminée par la formule suivante :

$$W_{H_2O} = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_0} \times 100$$

W_{H_2O} = Teneur en eau

m_0 = masse du creuset vide

m_1 = (masse du creuset + échantillon) avant passage à l'étuve

m_2 = (masse du creuset + échantillon) après passage à l'étuve

2.4. Matière sèche

On pèse 50 g d'échantillon dans un creuset en porcelaine avant et après passage à l'étuve à 105°C pendant 24h.

La teneur en eau est déterminée par la formule suivante :

$$W_{dm} = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} \times 100$$

W_{dm} = Teneur en matière sèche

m_0 = masse du creuset vide

m_1 = (masse du creuset + échantillon) avant passage à l'étuve

m_2 = (masse du creuset + échantillon) après passage à l'étude à 105°C

2.5. Matière inorganique (MMS)

On fait passer le même échantillon au four à 550°C pendant 24h.

La teneur en matière inorganique est déterminée par la formule suivante :

$$MMS = m_3 - m_0$$

MMS = Matières minérales en suspensions

m_0 = masse du creuset vide

M_3 = (masse du creuset + masse de la fraction minérale des matières totales dans la prise d'essai) après passage au four à 550°C

2.6. Matière organique (MVS)

On fait passer le même échantillon au four à 550°C pendant 24h.

La teneur en matière inorganique est déterminée par la formule suivante :

$$MVS = m_2 - m_3$$

MVS = Matières volatiles en suspensions

m_2 = (masse du creuset + échantillon) après passage à l'étude à 105°C

M_3 = (masse du creuset + masse de la fraction minérale des matières totales dans la prise d'essai) après passage au four à 550°C

Ions ammonium (NH_4^+) et nitrate (NO_3^-)

Dans un tube à centrifuger en plastique de 50 ml on prélève 4g de compost brut dans lequel on ajoute 40 ml d'eau distillée et on centrifuge (vitesse... ?) et on filtre. Le filtrat recueilli est dilué à 1/200 avec de l'eau distillée et rempli dans les cuves de 25ml. On ajoute le contenu d'un sachet de réactif *NitraVert* pour le dosage des ions nitrates et le réactif de *nessler* pour le dosage des ions ammonium. On agite pendant 1 minute et on laisse réagir pendant 5 minutes. On introduit les cuves au Spectrophotomètre DR 5. La lecture se fait à ...nm.

Phosphore total (organique et minéral)

Dans un tube à centrifuger en plastique de 50 ml on prélève 4g de compost brut dans lequel on ajoute 40 ml d'eau distillée et on centrifuge (vitesse... ?) et on filtre.

On recueille 25 ml auquel on ajoute 2 ml d'acide sulfurique $\text{H}_2\text{SO}_4^{2-}$ 5,25N et une pincée de persulfate de potassium. On introduit 5 billes de ponce et on minéralise pendant 30 min à 150°C.

On ajoute 2ml de NaOH (1N) puis on transvase dans des cuves de 25ml.

On ajoute 1ml de molybdovanadate de Sodium.

La lecture se fait au spectrophotomètre DR 2000 et à la longueur d'onde...

2.9. Demande chimique en oxygène (DCO)

Dans un tube à centrifuger en plastique de 50 ml on prélève 4g de compost brut dans lequel on ajoute 40 ml d'eau distillée et on centrifuge (vitesse... ?) et on filtre. Le filtrat recueilli est dilué à 1/100 avec de l'eau distillée. Dans un tube à minéraliser on introduit respectivement 2.5ml d'échantillon, 1.5ml de Dichromate de Potassium, 3.5ml d'acide sulfurique concentré et on minéralise pendant 2h à 150°C. On introduit les tubes au Spectrophotomètre 435 PR/2000. La lecture se fait à ...nm.

2.10. Carbone Total

Matières volatiles en suspensions (MVS) ont été déterminées comme poids de l'échantillon perte (préalablement séché au four à 105 ° C) sur l'incinération à 550 ° C dans un four. Le carbone organique total a été calculé en multipliant les valeurs de 1,76 MVS (*Nelson et Sommers, 1982*).

2.11. Azote Total

Introduire une prise d'essai de 100ml d'échantillon dans un tube Kjeldhal. Ajouter quelques grains de ponce et mélanger. Ajouter 10ml d'acide sulfurique concentré.

Commencer la minéralisation dans un digesteur pendant 2h à 180°C, continuer pendant 2h à 250°C, puis à 340°C pendant 2h et laisser refroidir pendant 24h.

Monter le tube Kjeldhal dans un distillateur et injecter 50ml de soude et environ 50ml d'eau à la prise d'essai minéralisée.

Introduire 20ml d'acide Borique et 10 gouttes **d'indicateur** dans une fiole de 250ml et recueillir environ 150 ml de distillat.

Le distillat est ensuite doser avec la solution d'acide chlorhydrique 0.04mol/l .Le virage est atteint lorsque la couleur passe du bleue au rouge.

La teneur en azote Kjeldhal exprimée en milligramme de N par litre est donnée par l'expression :

$$Kj - N = \frac{V1 - V0 * C * 1000 * 14.01}{V}$$

V1= volume en milli litre d'acide chlorhydrique utilisé pour le dosage

V0= volume en milli litre d'acide chlorhydrique utilisé pour l'essai blanc

C= concentration en mol/litre de la solution titrée d'acide chlorhydrique utilisé pour le dosage

V1= volume en milli litre de la prise d'essai

2.12. Production CO₂

Respiration microbienne des échantillons de compost, en fonction de l'évolution du CO₂, a été mesurée en utilisant une procédure modifiée de *Iannotti et al. (1994)*. Environ 10 g de

l'échantillon préalablement filtré à 60% (p / p) de la teneur en humidité a été enfermé dans un récipient de 0,5 L avec un bêcher contenant un volume connu de solution 0,5 M de NaOH. Les échantillons ont été incubés à température ambiante (24 +/- 2 ° C). Au cours de l'incubation, le CO₂ libéré a été capturé par la solution de NaOH, ce qui a été ensuite analysé par titrimétrie à intervalles réguliers.

14. Poids Volumique

16. Consommation O₂

17. Classes Rottegrad

3. Test de phyto toxicité

3.1. Test de germination

Des essais de germination ont été réalisés avec des Extrait compost / eau et 20 graines de tomates (*Lycopersicon esculentum L.*) ont été placés sur le papier Whatman. L'eau déminéralisée a été utilisé comme témoin et toutes les expériences ont été effectuées en triple. Les boîtes de Pétri ont été scellées avec du Parafilm pour minimiser les pertes d'eau tout en permettant la pénétration de l'air, puis ont été maintenues dans l'obscurité pendant 72h à 25 °C.

L'indice de germination (IG) a été calculé par la formule (Zuconi et al. 1981)

$$IG = \frac{nVSS * RLS}{nVSC * RLC} * 100\%$$

où, nVSS et nVSC expriment respectivement le nombre de graines viables dans l'échantillon et dans le témoin (l'extrait de compost a été remplacé par de l'eau distillée);

RLS et RLC exprimé respectivement la longueur des racines dans l'échantillon et dans le contrôle. Le compost a été considéré comme immature si IG était moins de 50% par rapport

au témoin. La maturité haute du compost a été prise en charge par les valeurs d'IG qui sont supérieures à 80% (Iglesias-Jim'enez et P'erez-Garc'ia, 1992).

3.2. Test de croissance

L'indice de croissance décrivant phytotoxicité du compost a été déterminé par la culture de la laitue (*Lactuca sativa*) et de la carotte (*Daucus carota*) pendant 4 semaines dans le substrat de compost (50% en volume compost/50% en volume substrat de contrôle) et comparer le semis poids frais avec des semis cultivé dans le substrat de commande (10 parties en volume d'chaulés tourbe et 6 parties de sable fin) à texture fine.

4. Qualité hygiénique

La préparation de la solution mère s'est faite en pesant 25g de chaque échantillon et en ajoutant 225 ml de milieu de Buffer.

4.1. Coliformes fécaux et E. Coli

On pèse 7,1g de milieu Cromocult et on ajoute 250ml d'eau distillée que l'on soumet à une agitation constante. On fait des dilutions successives 10^0 , 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-6} à l'aide du réactif de Ringer et on ensemence dans des boîtes de pétri. On incube à 44°C.

4.2. Streptocoques fécaux

On pèse 10,35g de milieu Slanetz Bartler et on ajoute 250ml d'eau distillée que l'on agite à une vitesse comprise entre 3 et 4 m/s et on chauffe à 370°C. On fait des dilutions successives 10^0 , 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-6} à l'aide du réactif de Ringer et on ensemence dans des boîtes de pétri. On incube à 44°C.

4.3. Clostridium et Sulfito réducteur

On pèse 24g de milieu Viande-foie et on ajoute 500ml d'eau distillée que l'on agite. On fait des dilutions successives 10^0 , 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-6} à l'aide du réactif de Ringer et on ensemence dans des tubes contenu dans un bain-marie bouillant. On incube à 44°C.

4.4 (Salmonelles)

On pèse 13,5g de milieu Rappaport et on ajoute 500ml d'eau distillée que l'on agite à une vitesse comprise entre 3 et 4 m/s et on chauffe à 370°C. On verse 10ml de rappaport dans chaque tube. On fait des dilutions successives 10^0 , 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} , à l'aide du réactif de Ringer et on ensemence dans des tubes. On incube à 37°C.

8. Déshydrogénase

III. RESULTATS ET DISCUSSIONS

III RESULTATS-DISCUSSION

1. Résultats

1.1. Stabilité du compost

Les résultats de caractérisation des paramètres de stabilité du compost sont présentés dans le tableau xx.

Les valeurs moyennes des pH mesurées tournent autour de la neutralité pour le copeau de beurre de karité (7.10) et la tige de mil (7.61) tandis qu'elle est alcaline (8.2) pour le compost à base sciure de bois. Le pH des composts étudiés sont dans une zone neutre et alcaline. En effet, au cours du compostage le pH passe par des valeurs neutres et alcalines puis se stabilisent. Le pH neutre et surtout alcaline du compost serait donc dû à l'ammonification au cours de la minéralisation des composés organiques dans le compost.

Les résultats de la mesure de la conductivité montrent des valeurs variables pour les composts étudiés. La conductivité la plus faible a été obtenue pour le compost à base de beurre de karité avec une valeur de 22.75 ms/cm. La valeur la plus élevée a été mesurée sur du compost à base de tige de mil qui est de 53.4 ms/cm. Le compost à base de sciure de bois a donné une conductivité de 48.33 ms/cm. La conductivité dans chaque compost est élevée, et serait due au dégagement des sels solubles comme l'ammonium et le phosphate résultant de la décomposition des substrats organiques facilement biodégradables au cours du compostage.

Les ratios ($\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$) donnent des valeurs différentes pour chacun des trois composts étudiés. La valeur la plus élevée (1.51) a été obtenue sur du compost à base de copeaux de beurre de karité. Alors que les ratios pour le compost à base de sciure de bois (0.28) et de celui à base de tige de mil (0.22) sont faibles. **Un ratio ($\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$) faible montre une maturation du compost. Par conséquent les ratios ($\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$) faibles pour les composts à base de sciure de bois et de tige de mil montrent qu'ils sont matures.**

(Bernal et autres, 1998), donne une valeur limite du ratio ($\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$) de 0.16 pour les composts stables.

Le ratio ($\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$) inférieure à 1 sont généralement considérés comme des indicateurs de de compost mûr (Bernal *et al.* 1998 ; Larney 2000)

Les résultats de la mesure de la teneur en carbone organique dissous (COD) ont été de (1.9g/kg) pour le compost à base de sciure de bois,(2.16g/kg) pour le compost à base de copeau de beurre de karité,(2.5g/kg) pour le compost à base de tige de mil.

Une concentrations de COD pendant la phase de maturation inférieure 4000 mg/kg a été suggéré par Zmora- Nahum et autres (2005) pour une apparence stable du compost. Les trois composts seraient donc stables.

Le taux de diminution de concentration de COD dépend du matériel et de la technique de compostage utilisé. La quantité de COD pendant le processus de compostage est liée à l'équilibre entre diverses réactions qui augmentent ou diminuent sa concentration. La dégradation du matériel polymère plein dans le substrat de compostage peut mener à la formation de matière organique soluble, qui augmenterait la concentration de COD. La réduction du COD dépend d'une minéralisation continue des composés organiques solubles, et les voies de repolymérisation et de condensation qui mènent à la formation des substrats organiques complexes avec une basse solubilité dans l'eau .(Said-Pullicino and Gigliotti 2007)

Les valeurs de ratios C/N obtenue pour chacun des trois composts montrent des valeurs faibles , (12.3) et (18.5) respectivement pour le compost à base de sciure de bois et pour le compost à base de tige de mil. Par contre cette valeur est élevée (27.6) pour le compost à base de copeaux de beurre de karité. (Iglesias Jiménez and Perez Garcia 1989) estiment qu'un rapport inférieur à 20 et même 15 caractérise un compost mûr. Par conséquent, les composts à bases de sciure de bois et tige de mil sont mûrs. Le compost à base de copeaux de beurre de karité n'est pas mûr.

Au cours du compostage, le ratio C/ N diminue généralement dans le processus en raison des pertes de Carbone comme le CO₂ et se stabilise dans la gamme de 10 à 15 (Chefetz et al. , 1996). Toutefois, le rapport de C à de N peut ne pas être un bon indicateur de stabilité du compost parce qu'il peut se stabiliser avant que le compost stabilise (Namkoong et autres, 1999)

Le rapport C/N inférieure 12 est la limite admise pour le compost mûr selon (Bernal et autres 1998 ;Iglesias-Jim_ nez et P_ rez-Garc_a 1992).

La teneur en phosphore total est élevée pour le compost à base de sciure de bois (186.6mg/kg) et celui à base de copeau de beurre de karité (138.6mg/kg).Elles est faible pour compost à base de tige de mil (25mg/kg).

La teneur en eau pour le compost à base de sciure de bois a été plus élevée (35.4%), elle a été faible pour les composts à base de tige de mil et à base de copeau de beurre de karité, respectivement à des pourcentages de (10.2%) et (7.4%).

La teneur en matière organique la plus faible a été obtenue pour le compost à base de sciure de bois avec une valeur de 252 g/kg. La valeur la plus élevée a été mesurée sur du compost a base de sciure copeau de beurre de karité qui est de 704 g/kg. Le compost à base de tige de mil nous a donné une teneur en matière organique de 502 g/kg.

Pendant la maturation la perte de matière organique inférieur (4%) indique la stabilité du compost après l'étape bio-oxydante.(Benito et al. 2003).

La teneur en matière inorganique a été de élevée pour le compost à base de sciure de bois (694g/kg).Elle a été faible pour les composts à base de copeaux de beurre de karité et à base de tige de mil à des valeurs respectives de 222g/kg et 396g/kg.

La mesure consommation O_2 et l'évolution de CO_2 serait un bon indicateur de l'activité microbienne pendant le stockage du compost. Une augmentation cumulative de consommation de O_2 et la production du CO_2 dans le compost indique une activité microbienne élevée.

Tableau xx : Caractérisation des paramètres de stabilité du compost

Paramètres	Sciure de bois	Copeau de beurre de karité	Tige de mil
pH	8.2	7.10	7.61
Conductivité (ms/cm)	48.33	22.75	53.4
Température (°C)	25.8	26.1	25.9
Teneur en eau (%)	35.4	7.4	10.2
Matière sèche (%)	64.6	92.6	89.8
Matière inorganique (g/kg)	694	222	396
Matière organique (g/kg)	252	704	502
Ion ammonium (mg/kg)	36.76	68.37	52.24
Ion nitrate (mg/kg)	130	45	235
Ion nitrite (mg/kg)	300	100	300
Phosphore total (mg /kg)	186.66	138.66	25
DCO (mg/kg)	1900	2166.66	2500
Carbone total (g/kg)	443.52	1239.04	883.52
Azote Total Kjeldhal (mg/kg)	38.66	136.34	57.72
Azote Total (g/kg)	36.05	44.89	47.75
C/N	12.3	27.6	18.5
(NH ₄ ⁺ /NO ₃ ⁻)	0.28	1.51	0.22
Production CO ₂			

1.2. Phytotoxicité

Paramètres	Sciure de bois	Copeau de beurre de karité	Tige de mil
Indice de germination (IG)	66.16%	73.30%	9.77%
Indice de croissance			

Les valeurs de l'indice de germination (IG) obtenues pour chacun des trois composts montrent des valeurs élevées, 73.30% et 66.16% respectivement pour le compost à base de copeaux de beurre de karité et pour le compost à base de sciure de bois. Par contre cette valeur est faible (9.97%) pour le compost à base de tige de mil. Un compost est considéré comme mature si IG est supérieur à 50% par rapport au témoin. Cependant une maturité élevée est considérée pour un compost dont l'IG est à 80% (Iglesias - Jimenez et Perez - Garcia , 1992). Les composts à base sciure de bois et de copeaux de beurre de karité sont donc matures alors que celui de tige de mil est immature. L'Indice de Germination faible pour un compost serait due à la présence de substance empêchant la germination des graines et la croissance des plantes au cours du test de germination.

1.3. Qualité hygiénique

Les résultats d'analyses de la qualité hygiénique des composts sont présentés dans le tableau xxx. Ces résultats montrent que les composts analysés sont contaminés à des degrés divers par les coliformes fécaux ($176 \cdot 10^{11}$ - 20310^{11} UFC/g), par les Streptocoques fécaux (490-3500 UFC/g), par les Clostridium Sulfito réducteurs (300-5000 UFC/g), et par les Salmonelles (75-150 MPN/g). Les résultats montrent une valeur élevée de *E. coli* dans les composts.

Tableau xxx :

Paramètres (UFC/g)	Sciure de bois	Copeau de beurre de karité	Tige de mil
Coliformes fécaux (UFC/g)	199*10 ¹¹	176*10 ¹¹	203*10 ¹¹
Streptocoques fécaux (UFC/g)	73*10 ¹	35*10 ²	49*10 ¹
Clostridium Sulfito réducteurs (UFC/g)	3*10 ²	8*10 ²	5*10 ³
Salmonelles (MPN/g)	150	95	75

2. Discussion

Le pH des composts étudiés sont dans une zone neutre et alcaline. Selon Avnimelech et al. (1996), les pH acides sont caractéristiques des composts immatures alors que les composts mûrs ont des pH allant du neutre à alcaline (compris entre 7 et 9). Les valeurs du pH pour les composts matures sont souvent alcalines et peuvent avoir des implications importantes sur la fertilité et la productivité des sols sous réserve de l'amendement de compost, aussi bien comme sur le développement des pH-sensibles (Boulter- Bitzer et autres, 2000). Cependant, les pH acceptables devraient être dans les niveaux tolérables aux micro-organismes, c.-à-d. une gamme de pH de 6-7.5 pour les bactéries; une gamme de pH de 5.5-8.0 pour les mycètes et une gamme de pH de 5.0-9.0 pour les actinomycètes.

La conductivité affecte normalement la maturité d'un compost en général parce qu'elle reflète leur salinité et convenance à la croissance des plantes. Comme dans le cas du pH, des valeurs élevées de la conductivité montrerait une maturation du compost. L'utilisation des différents matrices locales (sciure de bois, tiges de mil et copeaux de beurre de karité) aux fèces pour le compostage seraient addition responsable de la différence de la conductivité des différents composts. La valeur limite pour un amendement sans danger pour le sol étant de 3mS/cm

(Soumare et al., 2002), tous les trois différents composts analysés dans ce travail sont non matures et inappropriés à l'amendement.

Un ratio ($\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$) élevé indique une minéralisation intense au cours du compostage (Gómez-Brandón et al., 2008). En effet au cours du compostage les micro-organismes nitrifiants induisent une diminution de la concentration en ammonium NH_4^+ et une apparition d'ions nitrate NO_3^- . L'apparition des nitrates dans le compost peut être un indicateur de maturité. Les ratios ($\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$) faibles pour les composts à base de sciure de bois et de tige de mil ont été obtenus en raison d'une forte teneur en NO_3^- . Le ratio ($\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$) plus élevé pour le compost à base de copeaux de beurre de karité a été obtenu en raison d'une forte teneur en NH_4^+ . Une faible concentration de NH_4^+ serait due sa volatilisation sous forme de NH_3 à la suite du pH élevé observé.

L'Indice de Germination (GI) permet d'évaluer la phytotoxicité et la maturité d'un compost. Un indice de germination (IG) de 50% est reconnu comme étant celui d'un compost sans effet phytotoxique (Chikae et al. 2007).). Les résultats d'IG au cours de ce travail montrent que les composts à base sciure de bois et de copeaux de beurre de karité sont matures alors celui de tige de mil est immature. Une faible valeur de IG serait due à l'acide acétique qui est probablement l'acide organique, libéré par les composts immatures, le plus préjudiciable bien qu'il existe également d'autres composés (acétaldéhyde, éthanol, acétone, éthylène...) contribuant aux effets phytotoxiques (Iglesias Jiménez and Perez Garcia 1989). Des concentrations élevées en sels et la libération d'acides organiques dans les composts sont également corrélées à l'inhibition de la germination et de la croissance.

