

Comparaison de différents types de compostages de matières organiques diverses non valorisées par les paysans au Rwanda

Résumé

Une étude de l'évolution de différents types de compostage a été menée. La biomasse des diverses espèces végétales sauvages a été compostée avec ou sans ordures ménagères et/ou fumier de ferme, en tas ou en fosse, avec pour objectif de suivre le comportement des certains paramètres physico-chimiques au sein des différents composts de composition de base différente.

Une série des résultats a été obtenue. Les composts auxquels les ordures ménagères et/ou le fumier de ferme paillé ont été ajoutés ont affiché des teneurs élevées en azote Kjeldahl total tout le long du compostage (cas des composts n°3 et 4). Le compost n° 3 auquel les ordures ménagères et le fumier de ferme ont été ajoutés présente des valeurs meilleures pour tous les paramètres analysés.

Les composts installés en fosse (n°1 et 5) ont vu leur rapport C/N baisser rapidement par rapport à ceux en tas (C/N = 22 pour les deux à l'âge de 5 mois contre 29, 28 et 40 respectivement pour les n° 2, 3 et 4 en tas au même âge). D'autre part, les composts en tas ont tendance à avoir une qualité chimique (N, P, K, Ca, Na, et Mg) intéressante par rapport à ceux en fosse.

Abstract

A study on the evolution of different types of composting was undertaken. The biomass of diverse wild plant species has been composted with or without household refuse and/ or farm manure. Composting was done either in ditches or on the ground (in piles), with the main objective to trace the evolution of physical and chemical parameters within composts of different composition.

Compost with an input of household refuse and / or manure had the highest content of total Kjeldahl nitrogen all along the composting. The compost n° 3 which received some additional household refuse and manure presents best results for all analyzed parameters.

Composting in ditches (composts n° 1 and n° 5) provoke lower C/N ratio than for composts in piles (C/N = 22 at five months old for the two composts in ditches vs. C/N = 29, 28, 40 respectively for composts n° 2, 3, and 4 in piles at the same age). However, the composts in piles tend to have a better chemical quality (i.e. N, K, Ca, Na et Mg content) than the ones in ditches.

Introduction

L'agriculture rwandaise connaît de sérieux problèmes à cause de la non disponibilité des engrais chimiques sur le marché local et de leurs prix relativement élevés comparativement au revenu familial. Quant à l'engrais vert, il a été toujours difficile de l'intégrer dans notre système courant de "culture continue", de même le fumier de ferme est disponible en quantité insuffisante.

D'après les expériences courantes, le compost est un fertilisant qui entretient la fertilité chimique, physique et biologique du sol en maintenant la vie du sol. Il est facile à fabriquer sur place à partir des résidus végétaux et même des divers déchets organiques ménagers couramment abondants.

Ainsi, le projet FACAGRO-CUD/SOL « *Relance de la Fertilité des Sols Acides par la Matière Organique au Rwanda* » essaye d'apporter sa contribution à la possibilité de production des quantités suffisantes de matières organiques de bonne qualité à travers le compostage de divers résidus organiques (biomasses de diverses espèces végétales non valorisées, ordures ménagères et résidus des récoltes).

Cette recherche trouve sa justification dans le souci de trouver des alternatives à l'épineux problème d'acquisition d'intrants minéraux nécessaires à la fertilisation des sols rwandais qui sont, en grande partie, en voie de dégradation à cause du lessivage des bases échangeables et de l'acidité due à l'exportation des éléments cationiques majeurs. Pour cela, le recyclage des éléments nutritifs contenus dans les débris organiques répandus partout peut constituer une des solutions pour améliorer la fertilité des sols et augmenter la production vivrière.

Deux hypothèses sont à vérifier dans cette étude: (a) Le compost à base de biomasses végétales essentiellement donne un produit de bonne qualité pour la fertilisation des sols; (b) Le compostage en fosse entraîne des pertes d'éléments par lessivage que celui en tas de surface.

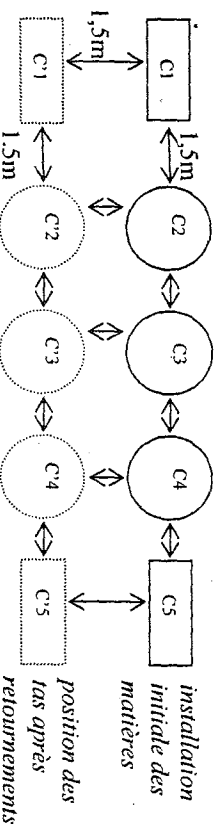
1. Matériel et méthodes

1.1. Matières organiques compostées et plan de compostage

Les matières organiques utilisées sont essentiellement les biomasses des divers végétaux (graminées et non graminées, cultivées ou non). A certaines il a été ajouté les ordures ménagères et/ou le fumier de ferme paillieux.

Tableau 1 : Quantités de matières utilisées dans chaque traitement

N° compost	C1 (en fosse)	C2 (en tas)	C3 (en tas)	C4 (tas traditionnel)	C5 (en fosse)
MO(en kg)					
Biomasses végétales	500	50	409	409	409
Ordures ménagères	-	-	60	60	60
Fumier de ferme	-	-	31	31	31
Total	500	500	500	500	500



Légende

- C1 : compost constitué des biomasses des espèces végétales sauvages en mélange homogène dans la fosse
 C2 : compost de même composition que le premier mais installé en tas
 C3 : compost constitué des biomasses végétales en mélange avec les ordures ménagères et le fumier de bovin paillieux, en tas
 C4 : compost de même constitution que le précédent (n°3) mais qui est traité traditionnellement; c'est-à-dire sans arrosage ni retournement et en tas
 C5 : compost de même constitution que les deux précédents (n°3 et 4) mais installé en fosse.

Fig. 1. Schéma du plan de compostage

1.2. Préparation de la matière organique

Les débris végétaux ont été coupés en petits morceaux de 3 à 4 cm afin d'accélérer le processus de compostage car dans cet état, ils sont plus accessibles à l'action microbienne suite à l'augmentation de la surface de contact /1/.

Les matériaux déchiquetés et broyés en petits morceaux sont un meilleur habitat pour les organismes décomposeurs, qui interviennent ensuite car ils procurent à ceux-ci une plus grande superficie de travail et ils constituent une pile mieux isolée contenant plus de poches d'air (= aération) et retenant plus d'humidité /2/.

1.3. Prélèvement des échantillons

Les échantillons composites sont faits d'un mélange des prélèvements en cinq différents endroits de chaque compost.

1.4. Relevé de la température et maintien de l'humidité

Dès le début du compostage, la température régnant à l'intérieur du compost a été mesurée deux fois par semaine à l'aide d'un thermomètre digital.

L'humidité à l'intérieur des composts a été mesurée une fois par semaine par la méthode de séchage à l'étuve dès le début du compostage. L'humidité du tas doit être élevée au départ, 60-70 % environ /3/. Ainsi pour maintenir l'humidité dans cette marge les arrosages ont été faits chaque fois qu'une mesure de laboratoire révélait une baisse de la teneur en eau alors que des retournements ont permis de réduire l'humidité excessive suite à des pluies par exemple. Rappelons que le compost n° 4 n'a été ni arrosé ni retourné.

Le retournement est obligatoire pour faciliter la décomposition, l'aération et l'homogénéisation du compost.

1.5. Les analyses chimiques

Les analyses chimiques ont été effectuées périodiquement pour suivre l'évolution de la décomposition de la matière organique et estimer la qualité chimique des différents composts. Il s'agit des analyses du pH_{1:20} (par la méthode potentiométrique) à l'intervalle de 15 jours dès le début du compostage et des analyses du carbone total (oxydation humide), d'azote total (méthode Kjeldahl), du phosphore assimilable (méthode de l'acide ascorbique), des bases totales: Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ et Na⁺ (méthode de calcination-dry ashing - les bases sont dosées sur un échantillon sec, calciné au four à 650°C, puis les cendres sont digérées au HCl et à HNO₃), de NH₄⁺ (méthode titrimétrique), de NO₃⁻ (méthode de l'acide disulfonique) et de NO₂⁻ (méthode colorimétrique) à l'intervalle d'un mois à partir du 2^{ème} mois.

2. Résultats et interprétation

2.1. L'azote Kjeldahl total

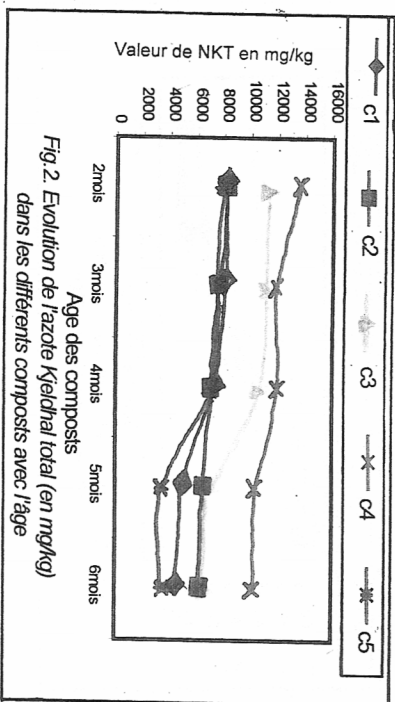


Fig 2. Evolution de l'azote Kjeldahl total (en mg/kg) dans les différents composts avec l'âge

Jusqu'à 4 mois de compostage, les composts n°1 et n°5 en fosse et le compost n°2 en tas, avaient des teneurs en azote Kjeldahl total non significativement différentes et inférieures à celles du compost n°3 en tas et du compost n°4 aussi en tas traité traditionnellement. Au cours du compostage, le compost n°4 présente une teneur en azote Kjeldahl total élevée par rapport aux autres. Entre le 4^{ème} et le 5^{ème} mois, il y a eu une forte chute de l'azote Kjeldahl total dans tous les composts mais avec plus d'acuité pour les composts n°2 et 5 en fosses; ceci est probablement dû à une forte minéralisation et à du lessivage dès la petite saison pluvieuse. Ce qui affirme la deuxième hypothèse émise dans la partie introductive.

Dans tous les composts, l'azote Kjeldahl total a été perdu dans l'atmosphère sous forme ammoniacale. Cependant, les teneurs observées à 6 mois de compostage montrent qu'il y a eu des fortes pertes dans les composts n°3 et n°5 et des faibles pertes dans les composts n°1, n°2 et n°4. Ces fortes pertes dans le premier cas sont favorisées par leur composition initiale riche en azote car en plus de la biomasse végétale, ces composts contiennent des ordures ménagères et du fumier de ferme. En ce qui concerne le n°4, les faibles pertes sont justifiées par sa lente minéralisation.

2.2. L'azote ammoniacal

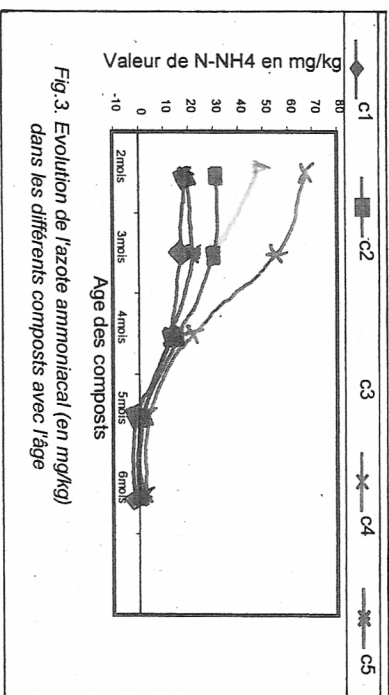


Fig 3. Evolution de l'azote ammoniacal (en mg/kg) dans les différents composts avec l'âge

A 2 mois de compostage, à part les composts n°1 et n°5 en fosses qui présentent des teneurs en azote ammoniacal très proches, les autres composts montrent des teneurs significativement différentes. Cependant, dès le 4^{ème} mois, tous les composts présentent des teneurs en azote ammoniacal voisines et faibles. Les fortes pertes généralisées d'azote ammoniacal dans tous les composts sont dues à leur petite taille favorisant la volatilisation.

Les composts n°1 et 5 affichent des fortes pertes dès le début à cause des grandes dimensions des fosses et de leur envahissement incontrôlé par des quantités importantes de terre dû aux retournements et à l'effondrement des talus.

2.3. L'azote nitreux

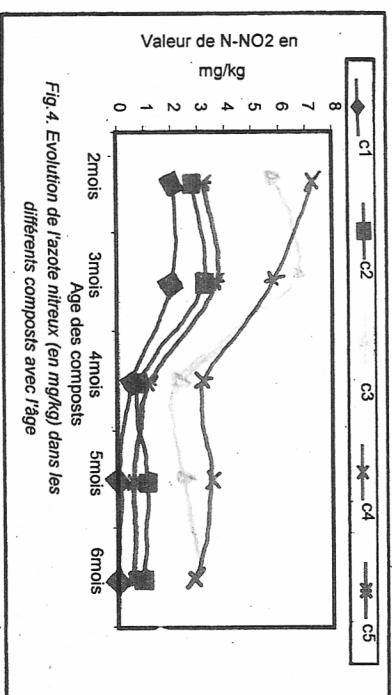


Fig 4. Evolution de l'azote nitreux (en mg/kg) dans les différents composts avec l'âge

Après deux mois, tous les composts présentent des teneurs en azote nitreux visiblement différentes. Entre le 2^{ème} et le 3^{ème} mois, on constate une montée légère de cette forme d'azote dans tous les composts excepté le 4^{ème}; cela étant probablement dû à la minéralisation provoquée par les arrosages réguliers. Entre le 3^{ème} et le 4^{ème} mois il y a eu une chute de l'azote nitreux alors que entre le 4^{ème} et le 5^{ème} mois, une remontée de la teneur en azote nitreux dans les composts n°2, n°3 et n°4 est due à la minéralisation induite par les fortes précipitations qui ont caractérisées la petite saison pluvieuse (octobre-novembre). Etant donné que les composts n°1 et n°5 en fossé étaient déjà en état de dégradation avancé à 3 mois, on assiste à une chute continue d'azote nitreux due au lessivage jusqu'à la fin du compostage.

Une quantité non négligeable de terre s'étant mélangée, d'une façon incontrôlée, avec de la matière organique lors des retournements surtout dans les composts en fossé, cela a provoqué une décomposition très rapide libérant des nitrates, qui, par après, sont perdus par lessivage.

2.4. L'azote nitrique

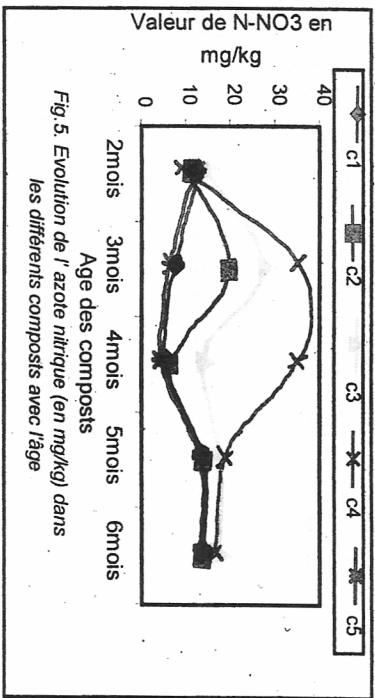


Fig. 5. Evolution de l'azote nitrique (en mg/kg) dans les différents composts avec l'âge

A 2 mois de décomposition, tous les composts présentent des teneurs en azote nitrique très voisines. Entre le 2^{ème} et le 3^{ème} mois, les composts en tas révèlent une augmentation de l'azote nitrique alors que ce dernier diminue dans les composts en fosses. Les arrosages entraînaient donc le lessivage d'une partie de l'azote minéralisé dans le second cas. Les grandes valeurs affichées par le compost n°4, qui n'est ni arrosé ni retourné le prouve, d'où l'affirmation de la deuxième hypothèse de départ.

Entre le 4^{ème} et le 5^{ème} mois, les fortes pluies de la petite saison pluvieuse ont favorisé la libération de l'azote nitrique dans tous les composts sauf le n°4 dans lequel il y a eu une forte minéralisation de l'azote organique d'où un fort lessivage des nitrates par les eaux de pluie. Entre le 5^{ème} et le 6^{ème} mois, tous les composts présentent des teneurs en azote nitrique presque stables et voisines.

Il convient de mentionner également que dans les composts en fosses (n°1 et n°5), la faible aération a probablement inhibé la nitrification.

2.5. Le carbone total

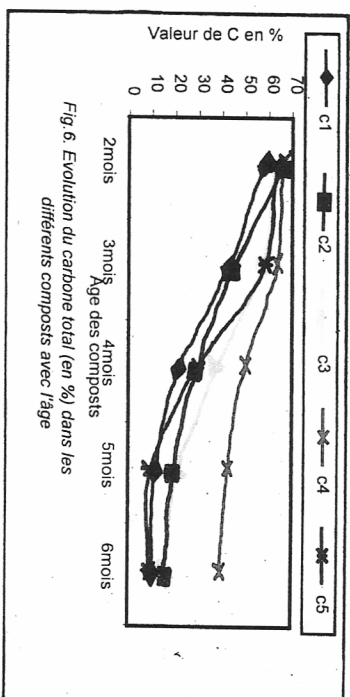


Fig. 6. Evolution du carbone total (en %) dans les différents composts avec l'âge

La composition initiale de tous les composts est essentiellement faite de la biomasse végétale (tableau 1) à part les trois derniers auxquels des petites quantités de fumier de ferme et d'ordures ménagères ont été ajoutées. Cela est à l'origine du rapport C/N élevé dans tous les composts jusqu'à l'âge de 3 mois. Des faibles rapports dans les composts en fosses (1 et 5) par rapport aux autres à la maturation résultent probablement d'un apport incontrôlé de terre, pour des raisons déjà invoquées, riche en microorganismes qui accélèrent la décomposition.

Globalement, il convient d'affirmer que le carbone ou la matière organique va en diminuant avec le temps. En effet, il subit une dégradation par les microorganismes qui libère le CO₂, le NH₃ et une certaine énergie sous forme de chaleur /4/.

2.6. Le rapport C/N

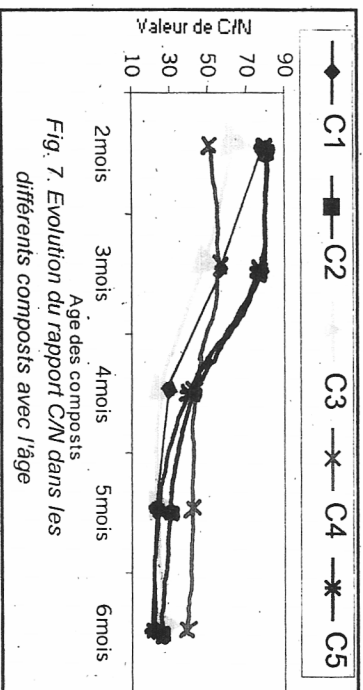


Fig. 7. Evolution du rapport C/N dans les différents composts avec l'âge

Jusqu'à 3 mois de compostage, le rapport C/N était encore élevé pour tous les composts, parce qu'ils sont en grande quantité faits de la biomasse végétale riche en carbone et pauvre surtout en azote; cependant la diminution de ce rapport est proportionnelle à celle du carbone au fil du temps.

La tendance stable de C/N dans le compost n°4 est due à une lente dégradation du carbone alors que l'azote libéré est fortement perdu vers l'atmosphère sous forme d'ammoniacque.

Etant donné que le rapport C/N est un indicateur du degré de décomposition des composés organiques, le BNQ (Bureau de Normalisation du Québec) dans ses normes sur le compost recommande le rapport C/N inférieur à 25/1; ce qui revient à conclure que déjà à 5 mois de compostage, tous nos composts se trouvent dans les conditions de maturation excepté le n°4. D'autres auteurs proposent des valeurs optimales de C/N à la fin du processus de compostage: 25 à 35 unités de carbone pour 1 unité d'azote /5/.

2.6. Le phosphore total

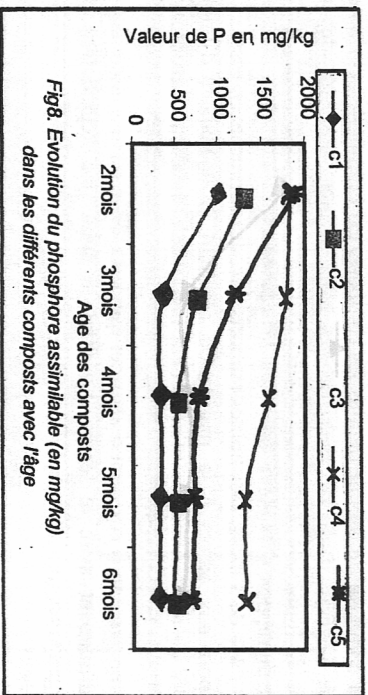


Fig.8. Evolution du phosphore assimilable (en mg/kg) dans les différents composts avec l'âge

La chute importante de la teneur en phosphore assimilable jusqu'au 4^{ème} mois s'explique par l'hypothèse selon laquelle le phosphore organique dans les bonnes conditions (léger acidité, pH 6,2 - 7) peut rapidement être minéralisé /6/.

D'après plusieurs auteurs /6,7/, la dissolution du phosphore est ralentie lorsque la concentration en potassium et en calcium est élevée. Ceci permet de justifier des faibles pertes de phosphore dans les composts dès le 3^{ème} mois. Il faut ajouter également que les milieux (composts) ont commencé à devenir plus en plus alcalins à ce stade. En effet, à pH > 7 il se forme des complexes insolubles de phosphate de calcium et ainsi la solubilité diminue alors qu'à pH < 6 le phosphore est fixé par l'aluminium, le fer ainsi que leurs oxydes, d'où son insolubilité.

2.7. Le potassium total

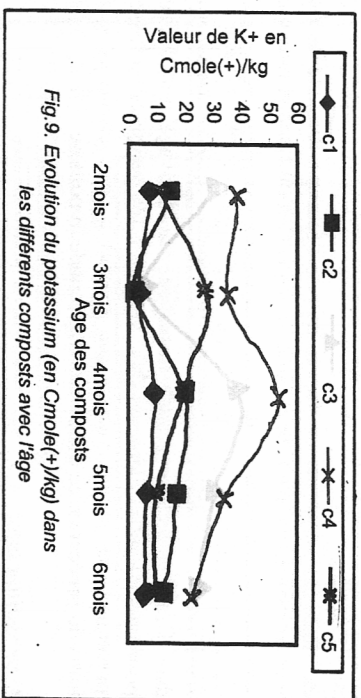


Fig.9. Evolution du potassium (en Cmoles(+)/kg) dans les différents composts avec l'âge

Entre le 2^{ème} et le 3^{ème} mois la teneur en potassium diminue dans tous les composts excepté le n°5 à cause du lessivage provoqué par les arrosages. La calcination de la matière organique en état de dégradation avancée a favorisé la libération de beaucoup de bases; d'où les montées brusques des teneurs en potassium dans entre le 3^{ème} et le 4^{ème} mois sauf pour le n°5.

Les légères pertes observées à partir du 4^{ème} mois ramènent à confirmer l'hypothèse selon laquelle lors du compostage le potassium serait aussi plus facilement emporté par lessivage que l'azote et le phosphore.

2.8. Le calcium total

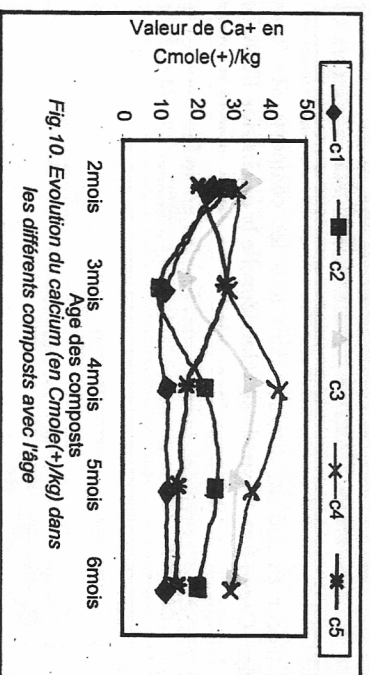


Fig.10. Evolution du calcium (en Cmoles(+)/kg) dans les différents composts avec l'âge

L'évolution du calcium est très semblable à celle du potassium. Ainsi dans tous les composts, excepté le compost n°5 en fosse, il se produit des pertes de calcium dues au lessivage entre le 2^{ème} et le 3^{ème} mois et ensuite une montée de sa teneur entre le 3^{ème} et le 4^{ème} mois à cause de la minéralisation qui s'intensifie avec l'âge des tas.

Une faible décomposition de la matière organique dans le compost n°4 traité traditionnellement explique sa teneur élevée en calcium total par rapport aux autres.

C'est dans les composts en fosses que la décomposition de la matière organique est relativement avancée et donc où il s'est produit une grande quantité de CO₂. Ces composts affichent des faibles teneurs en calcium par rapport aux autres. Ceci confirme le principe selon lequel en présence de CO₂ produit lors de la décomposition de la matière organique, il se forme du Ca (HCO₃)₂ qui est soluble dans l'eau ; d'où une grande possibilité de lessivage du calcium /8/. Comme pour tous les autres éléments (Na, Mg et K), les composts en fosses (N° 1 et 5) présentent des faibles valeurs par rapport à ceux en tas pendant les derniers mois du processus, ce qui épouse la seconde hypothèse.

2.9. Le sodium total

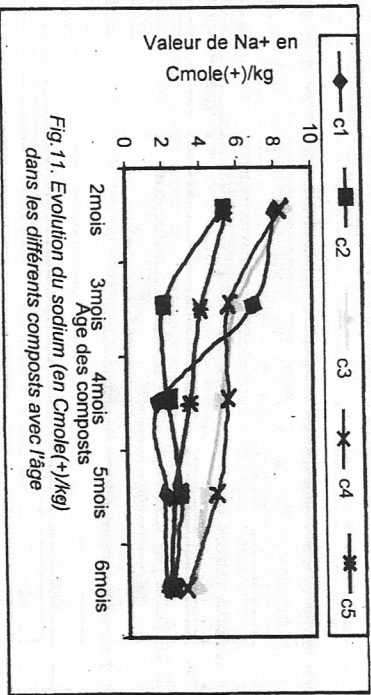


Fig. 11. Evolution du sodium (en Cmole(+)/kg) dans les différents composts avec l'âge

La teneur en sodium diminue dans tous les composts dès le début du compostage. Cependant, l'hypothèse selon laquelle la calcination libère beaucoup de bases lorsque la matière organique présente un degré avancé de dégradation permet d'expliquer les légères montées des teneurs en sodium pour le compost n°2 entre le 3^{ème} et le 5^{ème} mois ainsi que pour le compost n°1 entre le 4^{ème} et le 5^{ème} mois.

2.10. Le magnésium total

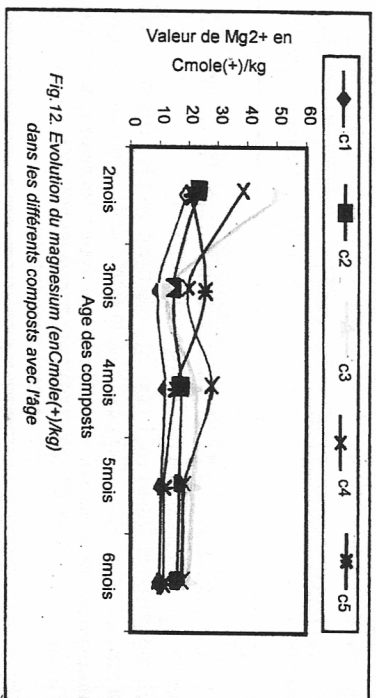


Fig. 12. Evolution du magnésium (enCmole(+)/kg) dans les différents composts avec l'âge

Le magnésium connaît une évolution presque semblable à celle du calcium; ce qui confirme l'hypothèse selon laquelle, dans la nature, les mouvements de calcium sont presque semblables à ceux du magnésium /9/.

Entre le 2^{ème} et le 3^{ème} mois, la figure montre que tous les composts, excepté le 5^{ème} en fosse, ont subi des pertes de magnésium; cela est probablement due au fait que jusqu'à ce moment, la calcination n'a pas pu libérer la totalité de cet élément. Etant donné que les arrosages et les retournements étaient encore moins fréquents jusqu'à ce moment; la matière organique n'était pas encore bien dégradée. En plus, les faibles quantités qui étaient déjà minéralisées ont été perdues par lessivage et/ou absorbées par les microorganismes.

Dès le 4^{ème} mois, tous les composts présentent une faible réduction de la teneur en magnésium malgré les fortes pluies qui devraient favoriser des grandes pertes par lessivage. Ce serait dû à une minéralisation intense dès la petite saison pluvieuse.

2.11. Le pH

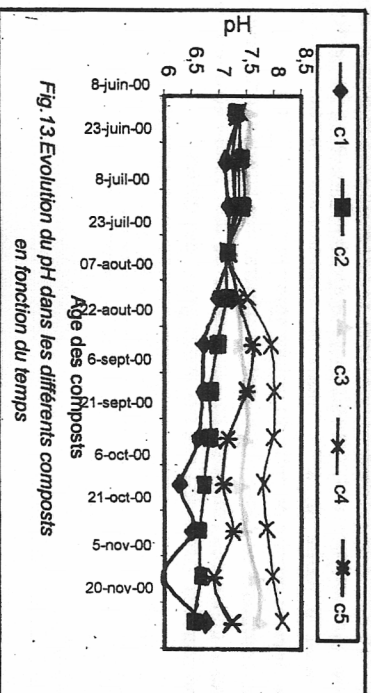


Fig. 13. Evolution du pH dans les différents composts en fonction du temps

L'évolution du pH est presque la même dans tous les composts. L'hypothèse selon laquelle le pH s'abaisse au début du compostage et s'élève ensuite graduellement est vérifiée /10/. Au début l'acidité est due à la production des acides organiques à partir des glucides, des lipides, etc. et à la production de l'acide carbonique à partir du CO₂ produit lors de la dégradation aérobie et qui se dissout dans l'eau. Par après, la tendance alcaline est provoquée par la production de l'ammoniaque à partir de la dégradation des amines en présence de l'eau et à la libération des bases auparavant intégrées à la matière organique notamment le calcium ainsi que par la disparition du CO₂.

Les composts en fosses (n°1 et n°5) présentent un pH inférieur à celui des autres de même composition. Ceci est dû à la faible teneur en ammoniacque perdu dans l'atmosphère et à la faible quantité des bases (notamment le calcium); celles-ci ayant été perdues par le lessivage plus intense dans les fosses.

2.12. La température

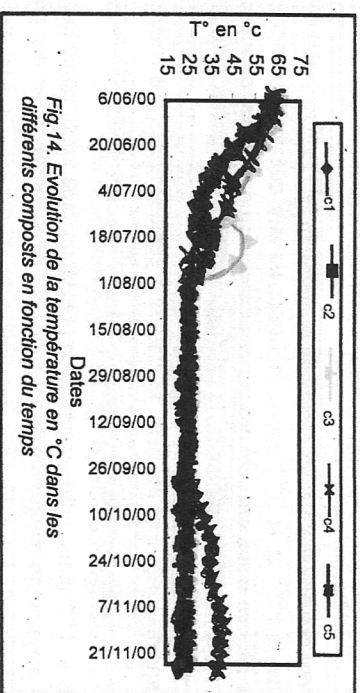


Fig.14. Evolution de la température en °C dans les différents composts en fonction du temps

De la même manière, l'évolution de la température est similaire dans tous les composts excepté le compost n°4. La température à l'intérieur d'un compost s'élève au début du processus de compostage et s'abaisse vers la fin /11/. Ainsi, à l'exception du compost n°4, les résultats indiquent que tous les autres sont presque mûrs à partir du 4^{ème} mois de compostage car leur température intérieure devient proche de celle du milieu ambiant (20°C - 23°C).

Les composts en fosse présentent en général des températures légèrement inférieures à celles des composts en tas à cause de leur faible aération due à la stagnation dans les fosses de l'eau des arrosages et des pluies.

2.13. L'humidité

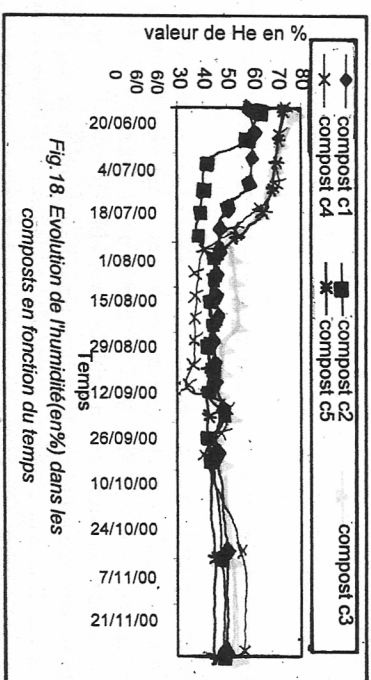


Fig.18. Evolution de l'humidité(en%) dans les composts en fonction du temps

De la figure 18 on remarque que l'humidité a été variable lors du compostage. Elle est caractérisée par des légères descentes et des légères remontées irrégulières. Cependant le 4^{ème} compost (traditionnel) est caractérisé par une descente régulière de l'humidité dès le début car il n'est ni retourné ni arrosé. Sa teneur en eau ne commence à augmenter qu'au mois de septembre et reste plus élevée jusqu'en novembre; période correspondant à la petite saison pluvieuse au Rwanda.

Les teneurs en eau optimales dans un processus de compostage varient selon les substrats compostés: 40 à 80%, 50 à 60%, 50 à 65%. /1, 5 et 10 respectivement/.

Il est important de remarquer que les composts constitués uniquement de la biomasse végétale perdent facilement leur humidité.

En général, tous les composts conviennent mieux pour les sols légers car leurs rapports C/N varient entre 15 et 20 à la maturation. /11/. Les teneurs en bases totales observées à la fin du compostage sont supérieures à celles habituelles des sols. Le phosphore assimilable est aussi appréciable. Tous ces constats reviennent à confirmer la première hypothèse relative à la qualité du produit final de différents mélanges compostés.

Conclusion

Le but principal de ce travail était de suivre l'évolution de différents types de compostage et de faire en suite une comparaison qualitative des différents composts.

En se basant sur le critère « évolution du rapport C/N », les composts n°1 et n°5 en fossé ont atteint la maturité avant les autres, ce qui signifie que la durée de compostage est fortement liée à la technique de compostage car ces deux composts n'ont pas la composition initiale semblable. Il revient à dire que le degré de décomposition est plus avancé dans les composts en fosse que dans ceux en tas. En terme de qualité chimique des composts, la teneur en éléments majeurs primaires et secondaires (N, P, K, Ca et Mg) est variable pour les différents composts; les résultats issus des analyses chimiques montrent que le compost n°3 en tas occupe le premier rang et il est toujours suivi du compost n°2 également en tas. Les composts n°1 et n°5 en fosse se sont alternés au 3^{ème} et 4^{ème} rangs.

Étant donné que les composts n°1 et n°5 en fossé présentent de teneurs non significativement différentes, le même phénomène étant observable sur les deux composts en tas (n°2 et n°3), la tendance revient à affirmer que la qualité chimique des composts serait liée plus à la technique de compostage qu'à la composition initiale.

Dans tous les cas, il y a eu des fortes pertes d'éléments fertilisants par lessivage à cause des arrosages et des fortes précipitations ainsi que par volatilisation.

À 4 mois de compostage, tous les composts (excepté le 4^{ème} traité traditionnellement) présentent des caractéristiques physico-chimiques acceptables: couleur foncée, odeur agréable, souple au toucher, à part quelques fragments la composition initiale n'est plus facile à reconnaître, la température ne varie plus, faible respirométrie, rapport C/N bon. À cet âge, les composts peuvent être utilisés comme amendements organiques des sols. Dans une prochaine publication paraîtront les résultats d'un essai de fertilisation avec usage de la matière organique produite par ces compostages.

J. J. Mbonigaba &
J. D. Maniragaha

Université Nationale du Rwanda,
M. Cicali

Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux (Belgique)

REFERENCES

- GAUR A. (1982). *A manual of rural composting*. Rome: FAO/UNDP.
- HARTLIEB N. et Klein W. (2001). Fate and behavior of organic contaminants during composting of municipal bio-waste. In eds. Rees R.M., Ball B.C., Campbell C.D. et Watson C.A.. *Sustainable management of soil organic matter*. New York: CABI International. 150-156 p. ISBN 0-85199-465-2.
- GUAY. (1999). *Le compostage*. [En ligne]. 2000/art 11.htm. <http://www.agr.gouv.ca/dgpar/sites/r16c/gta/avril> Consulté le 01 Octobre 2000.
- GROS A. (1979). *Engrais. Guide pratique de la fertilisation*. 7^{ème} éd. Paris: Maisson Rustique. 382 p. ISBN 2-7196-0013-X.
- DALZELL H.W.; Biddlestone A.J; Gray K.R. et Thurairajan K. (1987). *Soil management: compost production and use in tropical and subtropical environments*. Rome: FAO. 177p. ISBN 92-5-102553-3
- GAGNON Y. (1990). *La culture écologique*. Québec: éd. Colloïdales.
- HENNY G. et Mokwunye O. (1995). *Utilisation des phosphates naturels pour une agriculture durable en Afrique de l'ouest*. Inédit.
- RUTUNGA V. (1997). *Sols acides de la crête Zaïre-Nil (Rwanda). Potentialités agricole et forestière*. Nairobi: Lengo Publisher. 68 p. ISBN 9966-9951.
- MUTWEWINGABO B. et Rutunga V. (1987). *Études des sols des stations d'essai du projet d'intensification de l'agriculture de Gikongoro*. 3(1). MINAGRI-PIA. 114p.
- MUSTIN M. (1987). *Le compost. Gestion de la matière organique*. Paris: François Dubsc. 954 p. ISBN 2-864-72008-6.
- BELZILE M. (1981). *Le compostage*. Québec: Ministère de l'Agriculture, des pêcheries et de l'Alimentation.