

Research Article

VALORISATION ORGANIQUE DES DECHETS D'ALAMBICS DE BROUSSE: CAS DE DÉCHETS DE FEUILLES FRAIS ISSUS DES RÉSIDUS DE DISTILLATION D'ESSENCE DE FEUILLES DE GIROFLIERS

*Christian Pierre RATSIMBAZAFY¹, Ignace RAKOTOARIVONIZAKA², Rijalalaina RAKOTOSAONA²

¹ Centre de Valorisation Organique d'Ambohimahasoa de l'Entreprise IAZAFO COMPOST

² Laboratoire de Génie Chimique de l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo (ESPA)

Received 24th November 2020; Accepted 20th December 2020; Published online 30th January 2021

ABSTRACT

Cette étude a pour objectif de valoriser organiquement compost à travers le processus biologique dit « compostage » les déchets de feuilles issus des opérations de distillations artisanales d'essences de feuilles de girofliers. En effet, chaque jour dans la Région Analanjirô (Madagascar), des quantités astronomiques des déchets de feuilles issus des résidus de distillations d'essence de girofliers sont déversés volontairement dans la nature sans traitement préalable. Pourtant, une opération de distillation complétée d'essence de feuille de giroflier dans un alambic traditionnel ou alambic de brousse génère environ trois cent kilogrammes de déchets de feuilles débarrassés des traces d'huiles essentielles par alambic par jour (300kg/j/alambic). Alors que ladite Région abrite bon nombre d'alambics de brousse. Une telle source de Matière Fertilisante d'Origine Résiduaire à partir d'activité de distillation d'essence de giroflier mérite d'être valorisée. L'expérimentation sur plateforme de compostage prouve que ces déchets de feuilles sont facilement compostés et présentent un degré de maturité et stabilité convenable à partir du 120^{ème} jour de compostage. Les suivis de l'évolution des paramètres physicochimiques ainsi que le test de phytotoxicité effectué sur l'échantillon de compost attestent de sa maturité et stabilité de compost à base de déchets de feuilles de distillation au bout du 4^{ème} mois du processus de compostage.

Keywords: compost, compostage, alambics de brousse, déchets de feuilles, test de maturité, distillation.

INTRODUCTION

La présente étude a pour but de transformer en compost les déchets de feuilles issus des résidus de distillations d'essence de giroflier par la technique biologique dite « **compostage** » afin d'obtenir au final un amendement organique, utilisable en agriculture biologique. D'ailleurs, le compostage reste le bon moyen de recyclage et de valorisation des déchets organiques (Bernal M.P., Albuquerque J.A, 2009 ; Briton, W., 2000). Toutefois, l'application des composts instables et immatures dans les sols agricoles peut produire plusieurs effets négatifs, comme la phytotoxicité, le risque de faim d'azote ou *preming effect* à cause d'une intense minéralisation des carbonés organiques non stables (labiles) de compost, etc., (Briton, W., 2000, Mathur, S.P et al., 1993). Pour éviter ces risques, il est essentiel de déterminer le degré de maturité et de stabilité de compost tout en examinant l'évolution des paramètres physicochimiques majeurs (MO, C/N, pH, Température, humidité, $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$) au cours du processus de compostage. La présente étude vise en effet à suivre le bon déroulement du processus de compostage à partir des déchets de feuilles issus des résidus de distillations d'essence de giroflier à travers les suivis de l'évolution de ces paramètres physicochimiques et biologiques afin d'estimer au final le degré de maturité et de stabilité de compost obtenu.

MATERIELS ET METHODES

Conduite de l'essai de compostage: andains retournés avec aération naturelle: Pour sa facilité de mise en œuvre, la technique du compostage adoptée au cours de cette étude est le compostage en « **andain retourné avec aération naturelle** ». La technique consiste à découper préalablement en petits morceaux les déchets

de feuilles à composter, puis les bien mélanger et par la suite à les déposer dans des tas que l'on appelle aussi andains. La dimension de l'andain dépendra des quantités de substrats à traiter. Pour notre cas, les dimensions d'un tas unitaire sont fixées de 2 m de long, 1,5 m de large et 0,5 m de hauteur. Le tas est disposé de telle manière à éviter le tassement de la masse de déchets et pour garantir un espace lacunaire aéré. Après la mise en place du tas et/ou andain, des retournements réguliers pour aérer le mélange ont été effectués toutes les semaines pendant les premiers mois de compostage. Et par la suite, ces retournements ont été effectués au bout de chaque mois jusqu'à l'obtention du compost mûr. Ces retournements réguliers, ou brassés, permettent d'exposer de nouvelles surfaces à la biodégradation et de réduire ainsi les hétérogénéités de la matrice du compost. L'étude compare alors l'évolution des cinq (5) tas unitaires similaires compostés sous mêmes conditions opératoires, c'est-à-dire, (soumis aux mêmes processus de compostage, aux mêmes conditions climatiques et aux mêmes fréquences de retournement et d'humidification, etc.)

Démarches expérimentales

Analyses physicochimiques: Les prélèvements effectués à différents niveaux du tas après ouverture d'une saignée verticale de manière à obtenir un échantillon aussi représentatif que possible ont été mélangés et homogénéisés. Ainsi, le prélèvement de 500g de matière dans des sacs stériles, est réalisé trois (03) fois à différents niveaux du tas et/ou andain afin de réaliser les différentes analyses biophysicochimiques nécessaires dans le cadre de cette étude. La caractérisation physicochimique est antérieurement réalisée à partir d'analyses classiques (MO, C, N, pH, température, conductivité électrique (EC), C/N, etc.).

*Corresponding Author: Christian Pierre RATSIMBAZAFY,

¹ Centre de Valorisation Organique d'Ambohimahasoa de l'Entreprise IAZAFO-COMPOST

- La température a été mesurée quotidiennement à différents côtés des tas à l'aide d'une sonde de 50 cm de profondeur.

Sur les échantillons prélevés, le pH et la conductivité électrique (EC) sont mesurés sur une suspension aqueuse échantillon-eau (1/5 : poids/volume) à l'aide d'un pH mètre à électrode combinée (Norme ISO 10390, 2005) et d'un conductimètre équipé d'une cellule de mesure de la conductivité, d'un système de réglage de la plage de mesure et d'un dispositif de correction de la température avec une précision de 1 mS/m (Norme ISO 11265, 1994).

- La matière organique totale (MOT) est déterminée par la perte en masse lors de la calcination de l'échantillon à 550°C, durant 02 heures dans un four (NF U 44160)
- Le carbone organique total (COT) est déterminé par voie humide ou par oxydation sulfochromique appelé également par oxydation chimique (CWEAS III 8.2v3 ISSeP, 2014 ; ISO 14235, 1998).
- L'azote total est déterminé selon la méthode Kjeldahl (EN 13342, octobre 2000). L'ammonium (NH₄⁺) et les nitrates sont extraits par KCl (1M) puis dosés par colorimétrie (ISO 142561, 2003 ; ISO 142562, 2005). L'absorbance est mesurée à 543 nm pour les nitrates par la réaction de Griess-Ilosvay modifiée (Bremner, 1965 ; Guiot, 1975) tandis que l'absorbance de l'ammonium est mesurée à 630 nm selon la réaction de Berthelot en milieu alcalin (NF T90015 Août 1975).

Test de maturité et phytotoxicité

La maturité de compost sera évaluée à partir des indicateurs chimiques basés sur les résultats des mesures des paramètres physico-chimiques classiques comme (C/N, pH, NNO₃/NNH₄⁺), et cette évaluation sera ensuite complétée par des tests biologiques habituellement utilisés sur plateforme de compostage en l'occurrence le test d'auto-échauffement ou Test Rottegrad Température (NF EN 160872, décembre 2011) et test respirométrique basé sur la mesure de la respiration des microorganismes de compost (placé en incubation-mesure de dégagement de CO₂ lié par l'action de microorganismes) (d'après INRA Dijon cité par Xavier S., 2012). Le dosage de CO₂ dégagé se fait par la technique de Chromatographie Phase Gazeuse (CPG).

Trois (03) niveaux de maturité peuvent être définis :

- (i) inférieure à 10 g CCO₂ / kg MS : produit mature, donc pas d'interaction négative avec la culture aux doses agronomiques habituelles (10 à 30 T PB/ha),
- (ii) 10 < CCO₂ < 15 g / kg MS : produit en cours de maturation : la maturation n'est pas totalement finie, des risques de phytotoxicité,
- (iii) supérieure à 15 g CCO₂ / kg MS : produit immature.

Ainsi, le tableau ci-après nous récapitule les normes et les caractéristiques physico-chimiques d'un compost mûr et bien au point, c'est-à-dire caractéristiques d'un compost mûr et stable. Ce tableau servira alors comme référence pour comparaison avec les résultats expérimentaux obtenus.

Tableau n°01 : Caractéristiques physico-chimiques et biologiques d'un compost mûr et bien au point

Paramètres	Tests/analyses	Valeurs compost immature	Valeurs compost mature	Références
Chimiques	pH	≤ 6,2	6,7 à 8	Avnimelech et al., 1996
	NO ₃ /NH ₄	< 1	1.4 et 6.8	Forster et al., 1993
	CEC		> 60 meq/100g MS	Iglesias Jimenez & Alvarez, 1993
Activité microbienne	[C/N final/C/N initial]		≤ 0,75	Jiménez et Garcia, 1989
	Test d'Autoéchauffement	>40°C	20 à 40°C	Xavier S., 2012
	Test respirométrique	>15 g CCO ₂ / kg MS	10 < g CCO ₂ / kg MS	Xavier S., 2012

La pertinence de tests de maturité précités sera enfin confirmée par test de phytotoxicité (retard de germination). La phytotoxicité ou un retard de germination de compost est appréciée par un essai de germination. Le pouvoir germinatif du cresson (*Lepidium sativum* L.) est testé dans des conditions standardisées à l'aide d'un substrat, mélange du matériel frais à analyser et du sol (Zucconi, ; et al, 1981). Pour cause de la non disponibilité de l'espèce cresson, nous réalisons des essais de germination avec deux (02) types de plantes: la tomate et la salade. Ils agissent pour évaluer l'effet de notre compost sur la germination et la croissance de ces deux espèces de plantes. Le pouvoir germinatif est comparé à celui obtenu sur substrat de référence soit du sol pur après 10 jours de croissance à environ 20°C. Les résultats avec le sol sans compost sont considérés comme 100% (traitement sans compost = témoin) (WHO, 1978). Le pourcentage de germination est donné par la formule suivante:

$$\% \text{Germination} = 100 \times \left(\frac{N_T}{N} \right) \times \left(\frac{N_C}{N} \right)$$

Où

N_T = nombre des graines germées dans le traitement,

N_C = nombre des graines germées dans le témoin,

N = nombre total des graines optées par pot.

A signaler qu'il existe d'autres variétés de tests biologiques pour apprécier l'effet phytotoxicité d'un compost, en l'occurrence: Test de la verticilliose (Spohn, 1979), Plantetest (Spohn, 1978), etc.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Il s'agit entre autres les résultats des suivis de l'évolution des principales caractéristiques des composts au cours de l'essai de compostage. La maturité du compost sera appréciée en se basant sur l'étude de l'évolution de ces paramètres physico-chimiques, d'une part, mais aussi sur test de maturité utilisable sur plateforme (Test Rottegrad Température, respirométrie) et du test de la phytotoxicité basé sur essai de germination des deux espèces de plante (tomate et salade) donc de tests biologiques, d'autre part. Ici, il y a lieu de préciser que les résultats affichés dans le cadre de cette étude sont les résultats moyens obtenus des cinq (05) tassimilaires soumis aux mêmes conditions de compostages.

Evolution de la température

Le profil de température au cours du processus de compostage a montré une différence de comportement. En effet, les résultats enregistrés sur la figure n° 01 révèlent que les températures augmentent progressivement pendant les 15 à 20 premiers jours pour atteindre un maximum de l'ordre de 70°C, puis diminuent graduellement pour atteindre une température constante de 40°C jusqu'à la fin du processus. On aperçoit clairement ici que le processus de compostage se déroule en deux phases : une phase active dominée par une intense activité microbienne qui s'accompagne d'une élévation de température (phase thermophile)

durant la 1^{ère} et la 2^{ème} semaine de compostage, par la suite la température baisse progressivement pour se stabiliser à des températures inférieures à 40°C, indiquant l'épuisement du milieu en molécules simples et dominée par les processus d'humification (phase de maturation) et pouvant durer des mois en accord avec les observations de Finstein et Morris (1975) et De Bertoldi et al. (1983).

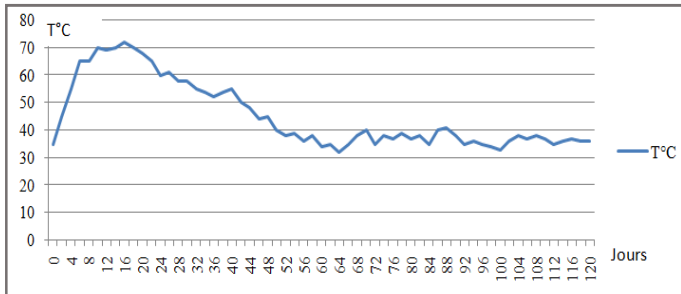


Figure n°01 : Evolution de la température en fonction du temps

Evolution du pH

Le suivi de pH (cf. Figure n°02) a montré qu'à l'état initial, les déchets sont légèrement acides avec pH= 5,8 ; puis cette valeur de pH chute de 0,8 unité, c'est-à-dire, passe de 5,8 à 5 après le 1^{er} mois du compostage. Cette acidité au début du processus de compostage est due, d'une part, à la présence d'acides organiques à chaînes courtes principalement les acides acétique et lactique (Beck Friis et al., 2003). D'autre part, cette acidité correspond généralement à une phase de dégradation intensive de la matière organique conduisant à une production de CO₂ en début de compostage (Forster et al., 1993 ; Michel et Reddy, 1998). Ces observations corroborent également à l'étude menée par Iglesias Jiménez et Perez Garcia (1993) sur les compostages des déchets verts, c'est-à-dire que la chute de pH au début du compostage est due à la production des acides organiques suite à la dégradation des glucides, lipides et d'autres substances organiques labiles (facilement dégradées) présents dans le déchet à composter. Le pH augmente par la suite pour atteindre une valeur de 8,5 à la fin du processus de compostage. Cette phase est le résultat d'une part, d'une production ammoniacale à partir de la dégradation des amines protéiques lors du processus d'ammonification et d'autre part, d'une libération des bases auparavant intégrées à la matière organique (Kochitzky O. et al., 1969 ; Peters S., Schwieger S. K. F., et al., 2000, Said Pullicino D., al., 2007).

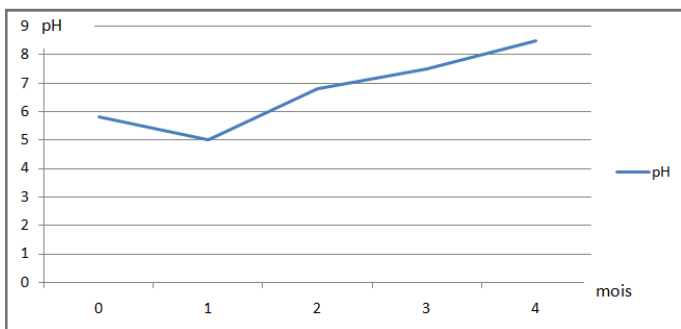


Figure n°02 : Courbe d'évolution de pH au cours du compostage

Cette stabilité ou augmentation de pH est aussi la conséquence de la présence d'ions Ca²⁺ qui augmentent au cours du compostage suite à l'humification et qui jouent un rôle de tampon dans le milieu (Juste C., 1980 ; Morel J. L., Guckert A., et al., 1986). De façon globale, cette valeur de pH légèrement basique à la fin de compostage

correspond aux très nombreuses références bibliographiques (Roletto et al., 1985b; Avnimelech et al., 1996; Hartz et Giannini, 1998; ADEME, 2001). Plusieurs études ont en effet montré que les composts soumis à de bonnes conditions d'oxygénation ont des pH qui atteignent rapidement des valeurs voisines de 8 (Michel et Reddy, 1998; Eklind et Kirchmann, 2000b; Sanchez Monedero et al., 2001). En outre, le pH final légèrement alcalin fait un compost un produit sans risque pour le sol et pour les plantes.

Evolution de la conductivité électrique

La conductivité électrique est liée à la salinité d'un compost donc potentiel de phytotoxicité. Au cours du compostage, on tend à constater une diminution de la conductivité à être perçue. La conductivité passe ici de 2,5 mS/cm à 1,7 mS/cm à la fin du processus de compostage. Cette diminution peut s'expliquer par le lessivage des sels contenus dans ces composts suite aux opérations de réhumidification (Bernal et al., 2009) ou tout simplement lessivé sous forme de lixiviation sous l'action de l'eau de pluie. D'une manière générale, les déchets de feuilles issus de l'opération de distillation ont une faible conductivité électrique, c'est-à-dire une faible salinité.

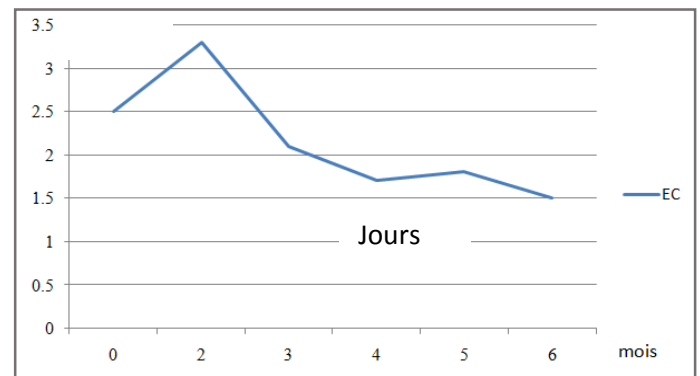


Figure n°03 : Evolution de la conductivité électrique en fonction du temps.

Evolution de la matière organique total (MOT) et carbone organique total (COT)

La teneur en MOT diminue au cours de l'essai de compostage. Cette chute en matière organique est très marquée en début de compostage. Ce phénomène est observé fréquemment lors du processus du compostage. Même tendance pour le COT, une diminution au cours du processus de compostage. D'une manière générale, cette perte de matière organique peut se traduire par sa minéralisation (Bernal et al., 1998 ; Laos et al., 2002 ; Grigatti et al., 2004). De même la perte en COT s'explique également à la minéralisation de la matière organique sous forme de CO₂ (Doublet et al., 2011 ; Paillat et al., 2005).

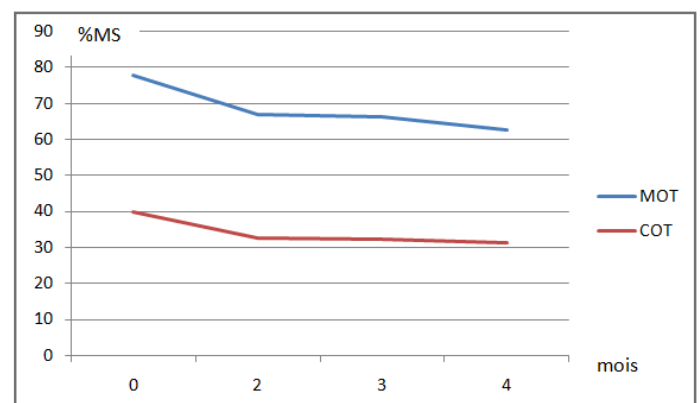


Figure n° 04 : Courbes montrant l'évolution de la MOT et COT durant le processus de compostage

Evolution de l'azote total

L'azote total connaît une augmentation au cours du compostage. La teneur en azote totale passe de 1,33% de MS à 2,29% de MS. Cette augmentation est liée à l'augmentation de la concentration de l'azote organique, engendrée par la forte dégradation des composés carbonés, notamment durant la première phase de compostage réduisant la masse totale de compost (Feller C., Garry F., 1981).

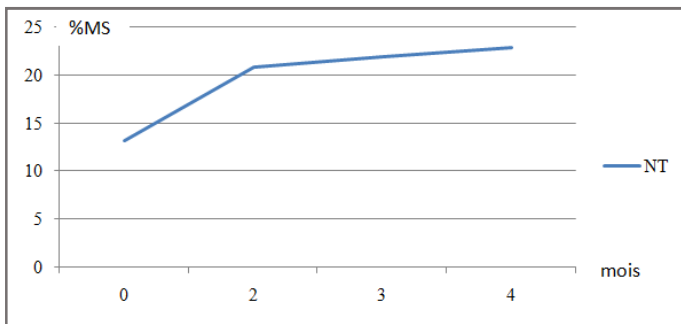


Figure n° 05 : Evolution de l'azote total

Evolution de l'ammonium (NH₄⁺) et des nitrates (NO₃)

Durant la première phase, notamment phase de dégradation intensive, on remarque un niveau plus élevé de la teneur en ammonium (NH₄⁺) puis diminue après la phase thermophile. L'ammonium domine généralement sur les nitrates au début du processus car l'oxydation ne fait que commencer et le NH₄⁺ est l'état le moins oxydé. La chute de la teneur en ammonium après la phase thermophile peut s'expliquer probablement par l'augmentation des nombres des microflores qui nécessite de l'azote ammoniacal pour leurs propres métabolismes (van Fassen et van Dijk, 1979). Pour ce qui est de l'évolution de l'azote nitrique (NO₃⁻), on a enregistré une faible teneur voire absence en azote nitrique au cours de la phase thermophile. Par la suite, les concentrations en nitrates augmentent de façon remarquable car la nitrification, l'oxydation du NH₄⁺ en nitrites puis en nitrates était au préalable vraisemblablement inhibé par les concentrations élevées en ammonium dans le milieu. Cette évolution corrobore certaines observations de plusieurs auteurs (Paul et Clark, 1989, Witter, 1986, etc.).

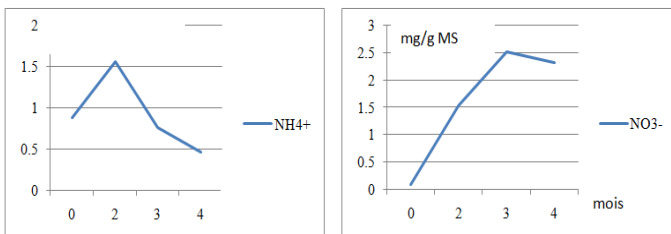


Figure n°06 : Evolution de la teneur en ammonium (NH₄⁺) et en nitrates (NO₃⁻)

Par ailleurs, l'évolution du rapport NO₃/NH₄⁺ suit celle de nitrate, c'est-à-dire, enregistre une augmentation au cours de compostage. Ce rapport passe de 0,11 au début du processus de compostage à 4,91 à la fin du processus de compostage. Forster et al. (1993) limite le rapport (NO₃) / (NH₄⁺) à une valeur comprise entre 1,4 et 6,8 pour indiquer la maturité d'un compost quel que soit son origine.

Suivant cette logique, on peut donc conclure que le compost âgé de 4 mois peut être considéré mûr.

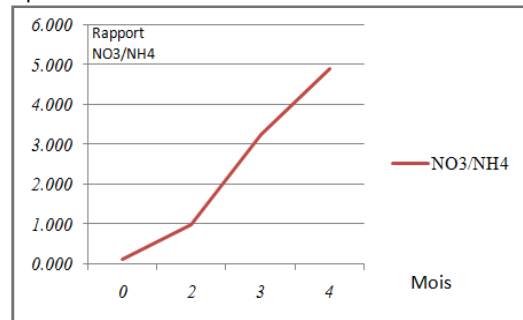


Figure n°07 : Evolution du rapport NO₃/NH₄⁺ en fonction du temps

Evolution du rapport C/N

La figure n°08 ci-après illustre l'évolution du rapport C/N. Du fait de l'augmentation de la concentration en azote et de la minéralisation du carbone, le rapport C/N diminue au cours du compostage. Le rapport C/N passe respectivement de 30 au début du compostage à 14 à la fin du processus de compostage. Le rapport C/N est utilisé comme indicateur traditionnel pour déterminer la maturité de compost et définir sa qualité agronomique (Iglesias Jiménez, et al, 1989). Mais actuellement, beaucoup d'auteurs considèrent que la valeur du rapport C/N d'un compost n'est pas suffisante pour déterminer la maturité (Morel et al, 1986 ; Saviozzi et al, 1988 ; Serra Wittling, 1995). Nous nous fions plutôt à l'utilisation du rapport [(C/N) final / (C/N) initial]. Selon Jiménez et Garcia (1989), un rapport [(C/N) final / (C/N) initial] inférieure à 0,75 indique la maturité d'un compost. Ici le rapport [(C/N) final / (C/N) initial] au bout du 4^{ème} mois de compostage est égal à 0,46 donc qualifié comme compost mûr.

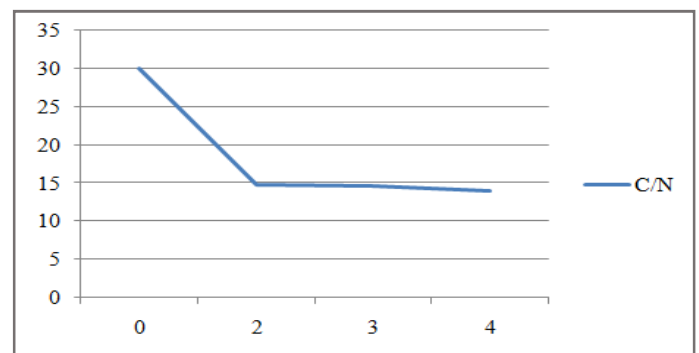


Figure n°09 : Evolution du rapport C/N en fonction du temps
Conclusion partielle :

Après avoir examiné l'évolution des différents paramètres physico-chimiques classiques, on peut conclure que le compost de déchets de feuilles de distillation peut être qualifié mûr au bout du 4^{ème} mois du processus de compostage. En effet, tous les critères témoignant la maturité de compost semblent être remplis en l'occurrence: pH proche de la neutralité voire même légèrement basique, rapport NO₃/NH₄⁺ proche de 5, rapport C/N final/C/N initial largement inférieure à 0,75, etc.

Resultats de Test de maturité et de phytotoxicité

Ainsi, selon les résultats précédents, le signe de maturité est observé au bout du 4^{ème} mois de compostage. Ce signe de maturité peut être confirmé par des tests biologiques entre autres : tests utilisables sur plateforme comme test Rottegrad Température et test respirométrique

et surtout par le test de phytotoxicité basé sur des essais de germination pratiqués sur deux espèces maraîchères (tomate et salade). Le test de phytotoxicité est en effet le seul moyen d'évaluer la toxicité liée à leur incorporation au sol.

Test d'auto-échauffement (ou Rottegrad Test) et test respirométrique

Le constat est sans équivoque, le compost âgé de 4 mois affiche une température maximale inférieure à 40°C au cours de l'essai d'incubation, donc considéré comme mûr. De même cette maturité est également confirmée par le test respirométrique, car la courbe de minéralisation de compost au cours de l'essai d'incubation contrôlée enregistre une valeur maximale inférieure à 10 g C-CO₂/kg de MS. Ceci vient de corroborer aux résultats obtenus lors de suivis des paramètres physico-chimiques classiques et ce du test d'auto-échauffement (Rottegrad Température).

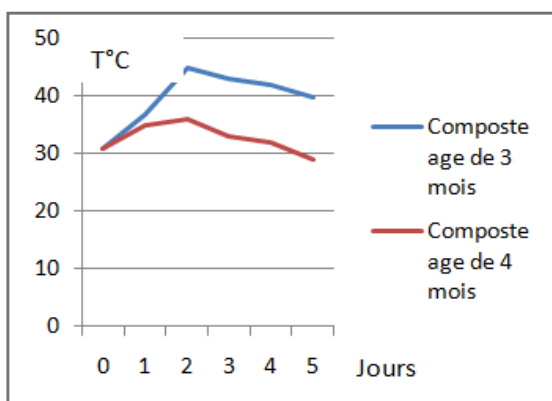


Figure n°10 : Test d'auto-échauffement compost âgés de 3 et 4 mois

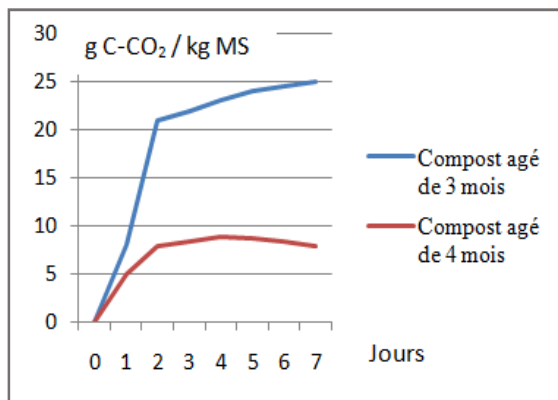


Figure n° 11 : Test respirométrique compost âgés de 3 et 4 mois

Test de phytotoxicité

Ce test de phytotoxicité a donc comme double objectif: (i) de confirmer voire s'assurer la pertinence de tests de maturité déjà réalisés sur le compost, (ii) et surtout de s'assurer que le compost obtenu ne présente aucun risque de toxicité sur la plante notamment lors de leurs applications agronomiques ultérieurement. Les résultats des tests de germination sont rapportés dans le tableau ci-après :

Tableau n°02 : Résultats des tests de germination

Variété de plante	Taux de germination en fonction du traitement			
	Sol+30% de compost	Sol+50% de compost	Sol +70% de compost	Compost (100%)
Tomate (en %)	75	67	68	58
Salade (en %)	82	70	65	57

Ces résultats montrent que l'incorporation d'une dose de 25% du compost de feuille âgé de 4 mois permet d'obtenir un pourcentage de germination de 82% pour l'espèce salade et 75% pour l'espèce tomate. D'une façon générale, le pourcentage de germination dépasse le 50% donc reconnu comme étant celui d'un compost sans effet phytotoxique (Zucconi et al, 1981 ; Chikae et al., 2007).

CONCLUSION

Même avec une technique de compostage la plus élémentaire voire rustique, on parvient quand même à valoriser les déchets de feuilles issus des résidus de distillation d'essences de feuilles de giroflier en compost mûr et stable. Les suivis de l'évolution des différents paramètres physico-chimiques au cours du processus de compostage ainsi que les tests de maturité basés sur les indicateurs biologiques comme le test respirométrique, le test d'auto-échauffement ainsi que le test phytotoxicité (germination) permettent de confirmer la maturité de ce compost à partir du 4^{ème} mois de compostage. On pourra en conclure également que ces types de déchets sont facilement compostables vu que les fibres notamment les lignines et les celluloses contenues initialement dans les matières organiques dudit déchet sont suffisamment ramollies et/ou affaiblies durant l'opération de distillation complète (24h) d'essences de feuilles (hydrodistillation). Par conséquent, une fois mis en compostage, ces déchets sont facilement dégradés par les microorganismes. Par ailleurs, il serait impératif d'étudier d'autres paramètres relatifs à la qualité agronomique dudit compost de feuille tels que l'étude de sa valeur amendante, de sa valeur fertilisante et surtout de vérifier son efficacité agronomique à travers des essais agronomiques sur le champ avec quelques spéculations agricoles et prioritaires choisies.

REFERENCES

ADEME., 2001. Approche de la qualité des composts de déchets en France. Coll: Données de références, 136

AFNOR, Ed. Novembre, 1985. Norme française U 44160. Dosage de la matière organique totale (MOT) dans les amendements organiques et les supports de culture Méthode par calcination,

Avnimelech, Y., M. Bruner, I. Ezrony, R. Sela, and M. Kochba, 1996. Stability indexes for municipal solid waste compost. *Compost Science & Utilization*, 4, 2:1320,

Avnimelech, Y., M. Bruner, I. Ezrony, R. Sela, and M. Kochba., 1996. Stability indexes for municipal solid waste compost. *Compost Science & Utilization*, 4, 2:1320

Beck Friis, B. and S. Jonsson H. Ekling Y. Kirchmann H. Smars., 2003. Composting of source separated household organics at different oxygen levels: gaining and understanding of the emission dynamics. *Compost. Science & Utilization*, 11, 1:41 50.

Bernal M.P., Alburquerque J.A., Morel R., 2009. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. *Bioresource Technology* ;22,54445453.

Bernal, M. P., Navarro, A. F., Sanchez monedero, M. A., Roig, A. & Cegarra, J. (1998). Influence of sewage sludge compost stability and maturity on carbon and nitrogen mineralization in soil. *Soil Biology and Biochemistry* 30, 305313.,

- Bernal, M. P., SanchezMonedero, M. A., Paredes, C. & Roig, A., 1998. Carbon mineralization from organic wastes at different composting stages during their incubation with soil. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 69, 175-189
- Bremner J.M., 1965. Inorganic forms of nitrogen. In: Black C.A. et al. (eds). *Methods of soil analysis. Part 2*. Madison, WI, USA: American Society of Agronomy, 1179-1237,
- Brinton, W., 2000. Compost Quality Standards and Guidelines. Final Report by Woods End research Laboratories for the New York State Association of Recyclers.
- Brinton, W. F. and E. Evans. (2000). Plant performance in relation to depletion, CO₂ rate and volatile fatty acids in container media composts of varying maturity,
- Chikae, M., Kerman, K., Nagatani, N., Takamura, Y. et Tamiya, E. 2007. An electrochemical on-field sensor system for the detection of compost maturity. *Analytica Chimica Acta* 581, 364-369,
- Compost Science & Utilization, 6, 4:614
- CWEAS III 8.2v3 ISSeP, 2014. Détermination du carbone organique par oxydation sulfochromique,
- de Bertoldi, M., G. Vallini, and A. Pera., 1983. The biology of composting: a review. *Waste Management & Research*, 1:157-176.
- Doublet, J., Francou, C., Poitrenaud, M., Houot, S. 2011. Influence of bulking agents on organic matter evolution during sewage sludge composting; consequences on compost organic matter stability and N availability. *Bioresource Technology*, 102(2), 1298-1307,
- Eklind, Y. and H. Kirchmann. (2000b). Composting and storage of organic household waste with different litter amendments. II: nitrogen turnover and losses. *Bioresource Technology*, 74:125-133,
- Eklind, Y. and H. Kirchmann., 2000b. Composting and storage of organic household waste with different litter amendments. II: nitrogen turnover and losses. *Bioresource Technology*, 74:125-133
- Feller C., Ganry F., 1981. Décomposition et humification des résidus végétaux dans un agrosystème tropical. III. Effet du compostage et de l'enfouissement de divers résidus de récolte sur la répartition de la matière organique dans différents compartiments d'un sol sableux. Documents CNRA Bambey, p.13
- Finstein M.S. et M.L. Morris, 1975. Microbiology of municipal solid waste composting. *Adv. Appl. Microbiol.* 19, 113-151.
- Forster, J. C., W. Zech, and E. Würdinger, 1993. Comparison of chemical and microbial methods for the characterization of the maturity of composts from contrasting sources. *Biology and Fertility of Soils* 16, 93-99.
- Forster, J. C., W. Zech, and E. Würdinger, 1993. Comparison of chemical and microbial methods for the characterization of the maturity of composts from contrasting sources. *Biology and Fertility of Soils* 16, 93-99.
- Forster, J. C., W. Zech, and E. Würdinger., 1993. Comparison of chemical and microbial methods for the characterization of the maturity of composts from contrasting sources. *Biol. Fertil. Soils*, 16:93-99,
- Grigatti, M., Ciavatta, C., & Gessa, C., 2004. Evolution of organic matter from sewage sludge and garden trimming during composting. *Bioresource Technology* ;91, 15-3169,
- Guiot J., 1975. Estimation des réserves azotées du sol par détermination de l'azote minéral. *Rev. Agric.*, 28, 117-1132.
- Hartz, T. K. and C. Giannini., 1998. Duration of composting of yard wastes affects both physical and chemical characteristics of compost and plant growth. *HortScience*, 33, 7:1192-1196.
- Iglesias Jimenez, E. and V. Perez Garcia. 1989. Evaluation of city refuse compost maturity: A review. *Biological Wastes*, 27:115-142
- Iglesias Jimenez, E. and V. Perez Garcia. 1989. Evaluation of city refuse compost maturity: A review. *Biological Wastes*, 27:115-142.
- Jimenez Iglesias, E. and V. Perez Garcia, 1989. Evaluation of city refuse compost maturity: A review.
- Juste C., 1980. Avantages et inconvénients de l'utilisation des composts d'ordures ménagères comme amendement organique des sols ou supports. INRA Bordeaux, Journées Internationales sur le compost, Madrid.
- Kochitzky O., W., Seaman W. K. et Wiley J., 1969. Municipal compostage research at Johnson City. Tennessee. *Compost Sci.* 9 :516,
- Mathur, S.P., Owen, G., Diné, H., Schintzer, M., 1993. Determination of compost biomaturity. *Literature review. Biol. Agric. Hortic.*, 10, 65-85.
- Michel, F. C. and C. A. Reddy, 1998. Effect of oxygenation level on yard trimmings composting rate, odor production, and compost quality in bench scale reactors.
- Michel, F. C. and C. A. Reddy. (1998). Effect of oxygenation level on yard trimmings composting rate, odor production, and compost quality in bench scale reactors. *Compost Science & Utilization*, 6, 4:614,
- Morel J. L., Guckert A., Nicolardot B., Benistant D., Catroux G. and Germon., 1986. Etude de l'évolution des caractéristiques physico-chimiques et de la stabilité biologique des ordures ménagères au cours du compostage. *Agronomie*, 6 : 693-701
- Norme ISO 10390, 2005. Qualité du sol – Détermination du pH,
- Norme ISO 142561 : 2003 – Qualité du sol – Dosage des nitrates, des nitrites et de l'ammonium dans les sols bruts par extraction au moyen d'une solution de chlorure de potassium – Partie 1 : Méthode manuelle.
- Norme ISO 142562 : 2005 – Qualité du sol – Dosage des nitrates, des nitrites et de l'ammonium dans les sols bruts par extraction au moyen d'une solution de chlorure de potassium – Partie 2 : Méthode automatisée avec analyse en flux segmenté,
- Norme ISO 142562 : 2005. Qualité du sol Dosage des nitrates, des nitrites et de l'ammonium dans les sols bruts par extraction au moyen d'une solution de chlorure de potassium – Partie 2 : Méthode automatisée avec analyse en flux segmenté.
- Norme NBN EN 13342, 2000. Caractérisation des boues – Détermination de l'azote Kjeldahl, 1^e éd., octobre 2000.
- Norme NF EN 160872, Décembre 2011. Amendements du sol et supports de culture Détermination de l'activité biologique aérobique Partie 2 : test d'auto-échauffement pour compost,
- Norme NF ISO 11265, 1994. Qualité du sol – Détermination de la conductivité électrique spécifique,
- Norme NF ISO 14235, 1998. Qualité du sol – Dosage du carbone organique par oxydation sulfochromique
- Norme NF ISO 14235, 1998. Qualité du sol – Dosage du carbone organique par oxydation sulfochromique,
- Norme NFT 90015, Août 1975. Méthode spectrophotométrique au bleu d'indophénol (méthode de Berthelot) sur www.freepatentsonline.com,
- Paillat, J.M., Robin, P., Hassouna, M., Leterme, P. 2005. Predicting ammonia and carbon dioxide emissions from carbon and nitrogen biodegradability during animal waste composting. *Atmospheric Environment*, 39(36), 6833-6842.,
- Paul, E.A. et CLARK, F.E., 1989. Soil microbiology and biochemistry. Academic press, inc., San Diego, California, U.S.A,
- Peters S., Schwieger S. K. F. et Tebbe C.C., 2000. Succession of microbial communities during hot composting as detected by principal component analysis of genetic profiles of small subunit rRNA genes. *Appl. Environ. Microbiol.*, 66 : 930-936.
- Roletto, E., R. Chiono, and E. Barberis., 1985b. Investigation on humic matter from decomposing poplar bark. *Agricultural Wastes* 12, 12:261-272.

- SaidPullicino D., Erriquens F.G., Gigliotti G., 2007. Changes in the chemical characteristics of water extractible organic matter during composting and their influence on compost stability and maturity. *Bioresource Technology* ; 98,1822-1831
- SanchezMonedero, M. A., A. Roig, C. Paredes, and M. P. Bernal. (2001). Nitrogen transformation during organic waste composting by the rugers system and its effects on pH, EC, and maturity of the composting mixtures. *Bioresource Technology*, 78:301-308,
- SanchezMonedero, M. A., A. Roig, C. Paredes, and M. P. Bernal., 2001. Nitrogen transformation during organic waste composting by the rugers system and its effects on pH, EC, and maturity of the composting mixtures. *Bioresource Technology*, 78:301-308.
- Saviozzi, A., R. LeviMinzi, and R. Riffaldi., 1988. Maturity evaluation of organic waste. *BioCycle*, 29:54-56
- SerraWittling, C., 1995. Valorisation de composts d'ordures ménagères en protection des cultures: Influence de l'apport de composts sur le développement des maladies d'origine tellurique et le comportement de pesticides dans un sol. *Mémoire de thèse pour l'obtention du diplôme de docteur de l'INAPG*, p220.
- Spohn, E. 1978. Determination of compost maturity. *Compost Science/Land Utilization*, 19(3):262-7.
- Van FassenH .G. et van Dijkh, 1979. Nitrogen conversions during the composting of manure/ straw mixtures. In *Strawdecay and its effects and on disposal and utilization*. (Edited by GROSSBARD E.), p.113-120. John Wiley & Sons, New York, U.S.A.
- Witter E., 1986. The fate of nitrogen during high temperature composting of sewage sludge Straw mixtures Ph. D Thesis, Ashford Kent, University of London, U.K
- World Health Organization, 1978. Methods of analysis of sewage sludge, soil wastes and compost. International Reference Center for Wastes Disposal, CH8600, Dubendorf, Suisse.
- Xavier S., 2012. Méthode d'analyse et interprétation des résultats : potentiel de minéralisation, fractionnement biochimique et ISMO, maturité : test d'autoéchauffement, maturité : test respirométrique. *Celestalab / Formation Ecotechnologie*
- Xavier S., 2012. Méthode d'analyse et interprétation des résultats : potentiel de minéralisation, fractionnement biochimique et ISMO, maturité : test d'autoéchauffement, maturité : test respirométrique. *Celestalab / Formation Ecotechnologie*,
- Zucconi, F., A. Pera, and M. Forte. (1981). Evaluating toxicity of immature compost. *BioCycle*, 22:54-57
