

Utilisation d'un extrait organique aqueux de résidus d'agrumes comme co-substrat de compostage d'ordures ménagères

KOLEDZI K. Edem^a, BABA Gnon^a, SEGBEAYA K. N.^a, TCHANGBEDJI Gado^a, TOZO K.^a, GNANDI K.^a, AMOUZOUVI K.^a, MATEJKA Guy^b

^aUniversité de Lomé – FDS - Laboratoire GTVD BP1515 Lomé, Togo

^bUniversité de Limoges – ENSIL- Laboratoire GRESE, 16 rue Atlantis, 87068 Limoges, France
*edemledzi@yahoo.fr

Résumé

Les déchets d'agrumes résultent de la production du jus d'agrumes dans les marchés et les rues les plus fréquentées de Lomé (Togo). Ces déchets sont souvent abandonnés sur place ou laissés aux abords des rues et constituent par conséquent une source de pollution de l'environnement.

Cette étude propose une voie d'élimination de ces résidus sous la forme d'un extrait organique aqueux, plus facilement valorisable que le compost produit à partir de ces résidus. Les déchets d'agrumes sont très difficiles à transformer en compost car ils sont très humides et leur écorce très difficilement biodégradable. Les résultats montrent que les déchets broyés au moulin ordinaire et extraits à l'eau sont totalement transformés au bout de trois mois en liquide organique L₁ dont la couleur passe du jaune au noir. Les déchets découpés en petits morceaux et extraits n'ont subi une transformation significative qu'après cinq mois donnant le liquide L₂ dont la couleur n'a pratiquement pas évolué. Les déchets non découpés n'ont subi de transformation en liquide organique L₃ qu'après douze mois. Les valeurs de teneur en matière organique de L₁, L₂ et L₃ donnent des taux respectivement égaux à 3,8 %, 2,8% et 2,7%.

L'étude reprise en changeant les conditions d'extraction, en remplaçant les déchets broyés au moulin ordinaire par les déchets broyés au broyeur à couteaux, a abouti à trois liquides organiques L₄, L₅ et L₆. Les analyses des paramètres suivants ont été réalisées : pH, densité, DCO, COD, MO (matière organique) et azote Kjeldahl NTK.

Les résultats obtenus montrent que le liquide organique pouvait être utilisé soit directement en épandage soit comme co-substrat au cours du compostage. Des essais de co-compostage avec des ordures ménagères ont été réalisés pour montrer sa faisabilité. Cette communication présentera les principaux résultats obtenus pour la caractérisation des extraits aqueux et pour le co-compostage.

Mots clés : Déchets d'agrumes, Extrait organique, Co-compostage

1. Introduction

Dans les pays en développement (PED), les quantités de déchets ne cessant de croître et les responsables locaux ont du mal à assurer et à optimiser leur élimination. Les tentatives de solutions proposées ou des solutions en cours d'exécutions ne se limitent qu'à l'enfouissement ou au remblayage des carrières qui sont des domaines très limitées aux périphéries des villes alors que la population de ces villes ne cesse d'augmenter. Il suffit de constater les échecs répétés d'un grand nombre de projets (ANPE, 1999b ; GTZ, 2000 ; METAP-PRGDS-Maroc, 2004) pour admettre l'envergure des problèmes et des difficultés rencontrées. Ces dernières années au Togo plus particulièrement dans les grandes villes, les déchets d'agrumes provenant de la consommation de jus de fruits, s'accumulent aux abords des rues, des marchés, d'édifices publics et de certains hôtels, et génèrent des odeurs ne laissant indifférents les passants et les riverains. Leur transformation en compost étant très complexe à cause de leur teneur très élevée en eau et de l'épaisseur de certaines écorces qui sont très difficiles à dégrader par les micro-organismes.

En conséquence, il est proposé dans cette étude la transformation de ces déchets, après extraction à l'eau, en un liquide organique valorisable soit directement en amendement ou en co-substrat de compostage. Ainsi un certain nombre de problèmes, environnementaux et sanitaires pourraient être résolus, et éventuellement apporter une plus valeur économique à des déchets qui traînent dans les rues.

2. Matériels et Méthodes

2.1 Extraction à l'eau des déchets d'agrumes

2.1.1 Protocole d'extraction

a) Granulométrie : trois types de granulométrie ont été choisies pour les déchets. Les déchets bruts, les déchets découpés en petits morceaux (diamètre ~1 cm) et les déchets fins broyés au moulin ordinaire, ou au broyeur à couteaux (~ 10 mm).

b) Méthode d'extraction On dispose de trois seaux en plastique dans lesquels on élabore les liquides avec les déchets d'agrumes (citrons, oranges, pamplemousses...) en milieu aérobie (cf Photo 1) par agitation.



Photo 1 : Extraction aqueuse des déchets d'agrumes

Les déchets sont mis en contact avec une quantité d'eau, puis régulièrement agités de manière à ce que la décomposition soit rapide. La quantité d'eau doit être telle que les liquides ne deviennent pas trop pâteux.

Les liquides organiques ayant subi les analyses physico-chimiques sont fabriqués chacun avec une masse de 5 Kg de déchets d'agrumes, broyés, mélangés avec un volume initial de 18 L d'eau. Après la transformation, les prélèvements pour analyses sont stockés au réfrigérateur à 4°C de manière à limiter toute activité biologique. L'étude de la matière organique est, quant à elle, effectuée le plus rapidement possible de manière à limiter une éventuelle évolution des effluents. Il n'est pas exclu que de légères transformations de la matière organique se

produisent durant la phase de transport et de stockage car après 15 jours de stockage au contact de l'air, le COD pouvant diminuer de 9% (Lagier T., 2000).

2.2 Paramètres physico-chimiques

Les prélèvements pour les analyses sont effectués après 14 semaines de dégradation aérobie.

2.2.1 Carbone organique total (COT) et matière organique (MO) sur solide (gC/kg MS)

La méthode est basée sur l'oxydation de la matière organique par le bichromate de potassium en excès et en milieu acide. $MO = 1,724 \times COT$ (Clément M. et al, 2003).

2.2.2 Matière organique sur solide par la Perte au feu (%)

Le taux de la matière organique est déterminé par calcination à 550°C pendant 2h 30 min (Unmar et al., 2008) après séchage à l'étuve à 80°C jusqu'à poids constant.

2.2.3 Acidité (u.pH)

Un pH-mètre à affichage digital (HANNA instruments) a été utilisé. La méthode consiste à prélever les liquides organiques dans des béchers dans lesquels on introduit l'électrode du pH-mètre. La valeur du pH est directement lue sur l'écran de l'appareil.

2.2.4 DCO (mgO₂/L)

Deux méthodes sont utilisées en vue de vérifier la teneur en matière organique du liquide organique :

Méthode 1. Cette méthode est réalisée selon la norme AFNOR (NFT 90-101). La première mesure consiste à mettre du dichromate de potassium en excès en contact avec la matière organique. $K_2Cr_2O_7$ n'ayant pas réagi est dosé en retour par une solution de fer ferreux (fer II) ou sel de Mohr $(NH_4)_2Fe(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$, en présence de ferroïne comme indicateur coloré.

Méthode 2. Cette méthode est un supplément à « l'analyse de la demande chimique en oxygène (DCO) utilisant des kits de digestion HACH » de Leveque et Raskin.

On ajoute dans le tube de DCO standard 3,5 ml de réactif à l'acide sulfurique, 1,5 ml de solution de digestion pour la gamme de DCO utilisée et 2 ml d'échantillon. Sortis du bloc, ils sont retournés 2-3 fois pour les mélanger, puis on laisse refroidir. On règle la longueur d'onde selon la gamme de DCO (0-1500 mg/L) mesurée soit 620 nm.

2.2.5 Carbone organique dissous (mg C/L)

La mesure du carbone organique dissous est effectuée par un analyseur de carbone de marque Phonix 8000 Dohrmann. Après acidification de l'échantillon par l'acide phosphorique, le carbone minéral est éliminé sous forme de CO_2 par bullage d'azote (Hedges J.I., 1993). Le persulfate de sodium est ensuite introduit dans l'échantillon. Cet oxydant réagit avec le carbone organique de l'échantillon à 100°C pour former du CO_2 . Celui-ci est à nouveau purgé de la solution et détecté par infrarouge. La quantité de CO_2 est proportionnelle à la masse de carbone de l'échantillon. Le seuil de détection est estimé à 0,2 mg C / L (CEAEQ, 2007).

2.2.7 Azote total Kjeldahl (mgN/L)

Cette mesure est réalisée selon la norme AFNOR NFT 90-105 : méthode Kjeldhal.

2.2.8 Eléments trace métalliques ; ETM (mg/L)

Les échantillons sont minéralisés à chaud avec de l'eau régale (1/3 HNO_3 + 2/3 HCl) (Bustamante et al., 2008). Les concentrations en métaux sont mesurées par spectrophotométrie d'absorption atomique flamme.

2.2.9 Masse Volumique (Kg/L ou T/m³)

La densité est déterminée par calcul : $d = \text{masse de l'échantillon} / \text{volume de la fiole utilisée}$.

2.3. Préparation des essais de compostage

A et D: Ordures ménagères (OM) sélectives + Fumier + Cendre + Phosphate

B et C: Ordures ménagères sélectives.

Le tableau 1 présente la quantité de substrat composté et la quantité d'eau ou de liquide organique ajouté au cours du processus de compostage.

Tableau 1 : Composition des cuves et quantité de liquide ajouté

Compost	A	B	C	D
Substrat (Kg)	50	52	51	50
Eau (m³)	0,060	0,062	-	-
liquide organique (m³)	-	-	0,060	0,060

3. Résultats – Discussion

3.1 Caractéristiques des liquides organiques

3.1.1 Préparation

On constate que,

- les déchets fins (~10 mm) sont totalement transformés au bout de trois mois, après ce temps le liquide obtenu devient noir ;
- les déchets découpés en petits morceaux ~ 1 cm de diamètre sont totalement transformés au bout de dix mois et la couleur ne change pas ;
- les déchets bruts ont subi de transformation significative qu'après douze mois.

Au fil des jours il y a dégagement d'odeurs nauséabondes lié au manque d'aération. Cette situation a été corrigée au cours des essais L₄, L₅ et L₆ ayant conduit aux tests physico-chimiques où la dégradation est effectuée dans une salle à ciel ouvert.

L'étude a montré que l'échantillon fin des déchets d'agrumes est totalement transformé au bout de trois mois alors que lorsque les déchets ne sont découpés qu'en morceaux, il faut attendre au moins six mois pour observer une transformation avancée. Ce résultat confirme que la décomposition est plus rapide avec de petites particules.

Les échantillons broyés présentent l'avantage de pouvoir être incorporés dans le processus de fabrication d'engrais ou de compost à partir des matières facilement décomposables. Par contre, les échantillons non broyés ne peuvent être utilisés que dans le cas de matériaux dont la décomposition nécessite une plus longue durée. Les liquides (L₁, L₄, L₅ et L₆) peuvent être également utilisés pour un épandage direct et ne devraient pas poser de problèmes d'infiltration dans le sol.

Parmi les avantages des liquides organiques, on peut constater également qu'à la différence de celui du compost, le taux de matière organique peut être facilement maniable.

Tandis que l'échantillon L₂ a conservé sa couleur jaune des déchets, l'échantillon moulu a pris une coloration progressivement noire. Cette coloration de l'échantillon L₁ peut être un artefact ou encore la conséquence d'une réaction voire même une contamination du matériau au cours de moulage. Des conditions de meulage et de broyage plus rigoureuses en laboratoire ont corrigé cette coloration et les liquides obtenus L₄, L₅ et L₆ présentent certaines caractéristiques physico-chimiques et peuvent être utilisés soit directement dans les jardins et champs ou soit pour optimiser le taux de la matière organique du compostage des déchets phosphatés ou des déchets moins riches en matière organique.

3.2 Paramètres physico-chimiques

3.2.1 Matière organique (MO% /MS) par la perte au feu

Les valeurs obtenues avec des erreurs standards (cf. figure 1) sont représentés par la figure 1.

Le taux moyen de la matière organique est de 3,77% pour L₁ après trois mois et est de 2,84 % pour L₂ après 6 mois de transformation totale. Celle de L₃ n'a pas été déterminée car la transformation n'était pas suffisamment avancée.

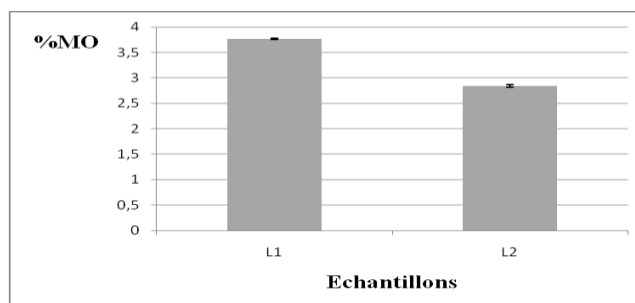


Figure 1 : MO du liquide organique L₁ et L₂

3.2.2. Acidité, pH

La figure 2 montre l'évolution dans le temps (jours) du pH pour les liquides organiques L₄, L₅ et L₆ où le manque d'oxygène a été corrigé.

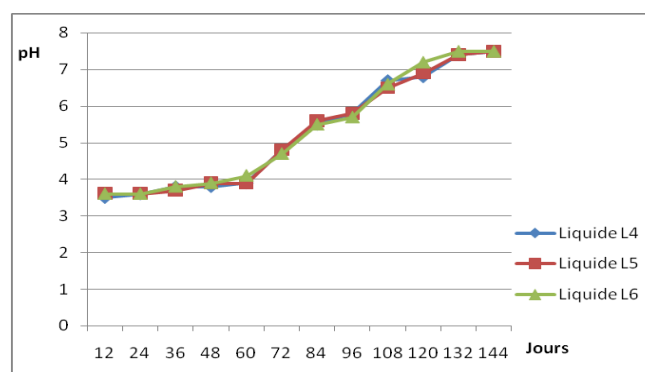


Figure 2 : Evolution dans le temps du pH des liquides L₄, L₅ et L₆

L'évolution de la courbe au début jusqu'à 60 jours est une fonction linéaire du temps, essentiellement durant la libération des acides gras volatils (AGV) qui pourraient se transformer en CH₃COOH puis en CH₄. Mais l'augmentation ensuite du pH jusqu'à une stabilisation montre qu'il y a une diminution de la phase méthanogène donc de la DBO₅. Ceci serait lié au retournement régulier des liq

La masse volumique moyenne en Kg/L des trois liquides L₄, L₅ et L₆ sont respectivement de 1,013, 1,003 et 1,004. Ces valeurs obtenues restent voisine de celle de l'eau.

3.2.4 Demande chimique en oxygène, DCO

Méthode 1 : En tenant compte de la dilution, les résultats de la DCO, sont présentés dans la figure 3 avec des erreurs standards

Méthode 2 : La lecture de la DCO au spectrophotomètre est un complément pour la méthode Afnor. Les résultats ci-dessous représentent la moyenne de trois essais pour chaque type de liquide organique. Donc respectivement pour L₄, L₅ et L₆, les valeurs suivantes de la DCO :

34900, 35500, 35500 mgO₂/L sont obtenues. Les deux méthodes donnent un résultat très proche. La quantité de la matière organique en mg par litre est de l'ordre de 35000 mgO₂/L.

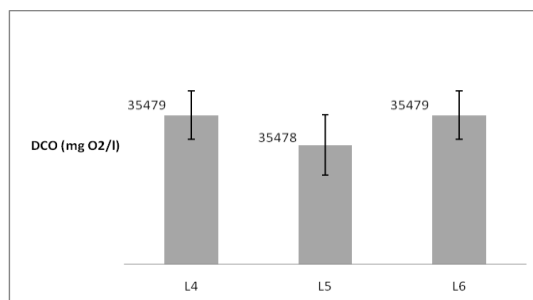


Figure 3 : DCO des échantillons L4, L5 et L6

3.2.5 Détermination du COD

Pour les liquides L₄, L₅ et L₆, une dilution au 1/1000 a été nécessaire. Les valeurs données par le COT-mètre et en tenant compte de la dilution, pour L₄, L₅ et L₆ sont respectivement indiquées dans le tableau 2 et sont exprimées en mg C/l.

Tableau 2: Teneur en COD des échantillons L4, L5 et L6

Echantillons	COD (mg C/L)
L4	4540,9 ± 0,1
L5	4486,5 ± 0,1
L6	4486,5 ± 0,3

Les teneurs obtenues sont faibles. Il n'y a donc pas de substances de fort poids moléculaire qui pourraient donc issues de la polymérisation des composés lors des processus de dégradation biologique et même d'oxydation des déchets d'agrumes.

3.2.6 NTK

Des triplicats ont été réalisés pour chaque échantillon de liquide organique. Les teneurs en azote sont en moyenne indiquées dans le tableau 3 et sont exprimées en mg N / L.

Tableau 3: NTK des échantillons L4, L5 et L6

Liquide organique	NTK (mg N/L)
L4	72,8
L5	81,5
L6	82,7

Les teneurs en azote des liquides organiques L₄, L₅ et L₆ sont moyennes. Ceci est lié la composition des agrumes qui sont souvent riches en azote. Ces liquides pourraient donc augmenter le taux d'azote dans les composts.

3.3 Application aux composts

Rappels:

A et D: Ordures ménagères (OM) sélectives + Fumier + Cendre + Phosphate.

B et C: Ordures ménagères sélectives.

A et B sont arrosés avec de l'eau alors que C et D sont arrosés avec le liquide organique.

3.3.1 Mesure de la matière organique (MO) par Perte au feu

La matière organique est évaluée afin de se rendre compte de l'apport du liquide organique aux composts saturés par ajout des matériaux d'origine minérale. La figure 4 présente les teneurs en MO des différents composts obtenus.

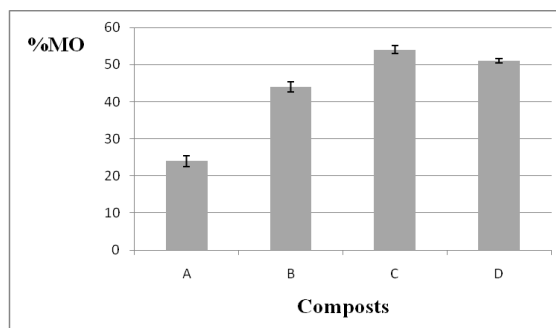


Figure 4: Teneur en matière organique

Si les taux de matière organique restent conformes dans les composts A et B, ceux des composts C et D sont plus élevés du fait de l'addition de liquide organique.

3.3.2 Détermination du rapport C/N

Plus le rapport C/N d'un produit est élevé, plus il se décompose lentement dans le sol mais plus l'humus obtenu est stable. Le compost B a un rapport élevé dû au faible taux d'azote. Au cours de l'utilisation de ces composts, l'azote sera prélevé dans les réserves du sol. La minéralisation sera lente et les plantes ne vont restituer au sol qu'une faible quantité d'azote minérale. Le tableau 4 présente le rapport C/N des différents composts

Tableau 4: Rapport C/N des composts A, B, C, D

Compost	C (%)	NTK (%)	C/N
A	16	1,5	11
B	28	0,9	31
C	30	1,6	19
D	25	2,1	12

Pour le compost D, en plus de la teneur en matière organique, le besoin en azote est couvert pour permettre une bonne décomposition.

3.3.3. Teneurs en ETM

Les valeurs des teneurs en ETM sont données dans le tableau 5 ; elles restent en dessous des normes de la norme NFU 44-051 des trois métaux.

Tableau 5: Teneur (MS) en ETM des composts obtenus

Compost	Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Cu (mg/kg)
A	1	99	440
B	1	120	160
C	1	99	210
D	1	150	441
NFU 44-051	3	150	600

Conclusion

Les caractéristiques physico-chimiques des extraits L₄, L₅ et L₆ ont permis non seulement de corriger certains aspects rencontrés au cours des études cinétiques de L₁, L₂ et L₃ mais aussi de déterminer avec exactitude et avec différentes méthodes la teneur de la matière organique et la teneur du nutriment azote. L'ajout de l'extrait organique au compost a apporté une augmentation significative surtout au compost D.

A la différence du compost stabilisé, le taux de matière organique de l'extrait, son pH et sa densité peuvent être adaptés en fonction des besoins. Les résultats de cette étude de synthèse de l'extrait organique montrent que le produit obtenu peut être ajouté au cours du compostage classique (élaboration d'un matériau stabilisé), dans la synthèse des engrais.

Références

- ANPE (Agence Nationale de la Protection de l'Environnement), TUNISIE, 1999. Rapport sur l'amélioration de la gestion de la décharge Jebel Chekir / Tunis- Partie I – préparé pour le Ministère de l'Environnement Tunisien par la coopération allemande GTZ, Février 1999, 65p.
- CEAEQ (Centre d'Expertise en Analyse Environnementale de Québec), 2007. Détermination du carbone inorganique dissous, du carbone organique dissous et du carbone organique total : méthode par détection infrarouge, MA. 300 – C 1.0, Rév. 1, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 2007.
- GTZ. 2000, "Planning for sustainable and Integrated Solid Waste Management", Manila, du 18 au 21 Septembre 2000, 9 p.
- Hedges J.I., 1993. Comparative analyses of dissolved organic carbon and nitrogen in natural waters. *Mar. Chem.*, 41(1-3), 121-134.
- Lagier T., 2000. Etude des macromolécules de lixiviat : caractérisation et comportement vis-à-vis des métaux. Thèse de doctorat, Université de Limoges.
- Mathieu C. et Pieltain F. 2003, Analyse chimique des sols, Méthodes choisies, 2003. Edition TEC et Doc.
- METAP-PRGDS-Maroc, 2004] Programme d'Assistance Technique pour l'Environnement Méditerranéen-Projet Régional de Gestion des Déchets Solides, Rapport Pays - Maroc, préparé par le consortium international GTZ-ERMGKW, mai 2004, 51p.
- Reinhart D.R. & Townsend T.G, 1998. Landfill bioréacteur design & Operation. Lewiw publishers, Boca Raton N.Y. by CRC Press LLC 189 p.
- Tchobanoglous G., Theisen H. & Vigil S., 1993. "Integrated Solid Waste Management, Engineering Principles and Management Issues." McGraw Hill, New York.
- Unmar, G., Mohee, R., 2008. Assessing the effect of biodegradable and degradable plastics on the composting of green wastes and compost quality *Bioresource Technology* 99 (2008) 6738–6744.