

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

**Kolédzi K Edem, Baba Gnon, Ségbéaya Kwamivi N.,
Tchangbédji Gado, Tozo Koffi, Gnandi Kissao,
Amouzouvi Kokou, Matejka Guy**

Journal de la Société Ouest-Africaine de Chimie

J. Soc. Ouest-Afr. Chim.(2013), 036 : 1-7

18^{ème} Année, Décembre 2013

ISSN 0796-6687

Code Chemical Abstracts : JSOCF2

Cote INIST (CNRS France) : <27680>

Site Web: <http://www.soachim.org>



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

Kolédzi K. Edem^a, Baba Gnon^{a*}, Ségbéaya Kwamivi N.^a, Tchangbédji Gado^a, Tozo Koffi^a, Gnandi Kissao^a, Amouzouvi Kokou^a, Matejka Guy^b

^a*Université de Lomé – FDS - Laboratoire GTVD B.P.1515 Lomé, Togo*

^b*Université de Limoges – ENSIL- Laboratoire GRESE, 16 rue Atlantis, 87068 Limoges, France*

(Reçu le 24/04/2012 – Accepté après corrections le 10 /11/2013)

Résumé : Cette étude propose une voie d'élimination des résidus d'agrumes sous la forme d'un extrait organique aqueux, plus facilement valorisable que le compost produit à partir de ces résidus. 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. 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 résultats (teneurs en matière organique : 2,84-3,77% pour les liquides et 50-54% pour les composts ; masse volumique : 1 kg/l ; DCO : 35000 mgO₂/l ; NTK : 72-83 mg N/l) obtenus montrent que le liquide organique pouvait être utilisé soit directement en épandage soit comme co-substrat au cours du compostage.

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

Use of an aqueous organic extract of citrus fruits residues as co-substratum of composting of household waste

Abstract: Our approach in this paper is to propose elimination of citrus fruits residues under the shape of an aqueous organic extract, that we can easily use than the compost produced from these residues. The results show that the waste crushed in the ordinary mill and extracted in the water is totally transformed at the end of three months in cash. The waste cut in small pieces and extracts underwent a significant transformation only after five months giving the liquid L₂ which color did not practically evolve. The waste not cut did not undergo the transformation in liquid organic L₃ that after twelve months. The study taken back by changing the conditions of extraction, by replacing the waste crushed in the ordinary mill by the waste crushed in the crusher with knives, ended in three liquids organic L₄, L₅ and L₆. The results (Organic matter: 2.84 to 3.77% for liquids and 50-54% for compost; density: 1 kg / l COD: 35000 mgO₂ /l; NTK: 72-83 mg N / l) obtained show that the liquid organic could be used directly in manuring or in co-substratum during the composting.

Keywords: Citrus Waste, Organic Extract, Co-composting

* **Auteur de Correspondance :** gnonbaba@gmail.com

1. Introduction

Dans les pays en développement (PED), les quantités de déchets ne cessent 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 ^[1 - 3] 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 value 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 (**Figure 1**) par agitation.

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.



Figure 1 : Extraction aqueuse des déchets d'agrumes

Dans les quatre modes opératoires décrits dans les quatre parties de la norme Afnor EN 12457 - 2 : 2002 (F), différents rapports Liquide / Solide (L/S) sont choisis (10, 8 et 2) conduisant généralement à des résultats d'essais différents. Cependant pour un rapport L/S faible (L/S=2), certains constituants sont présents dans le lixiviat à une concentration plus élevée car la quantité de lixiviat disponible est inférieure. Pour L/S = 10, de telles restrictions apparaissent dans un nombre limité de cas où la concentration des éléments dans le lixiviat est faible. Dans le cas de cette étude l'essai a été réalisé avec un rapport L/S=3,5. 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 répondant au test L/S=3,5. 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% ^[4].

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. $MO = 1,724 \times COT$ ^[5].

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 [6] 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 [7]. La première mesure consiste à mettre du dichromate de potassium en excès en contact avec la matière organique. K₂Cr₂O₇ n'ayant pas réagi est dosé en retour par une solution de fer ferreux (fer II) ou sel de Mohr (NH₄)₂Fe(SO₄)₂·6H₂O, 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 CO₂ par bullage d'azote [8]. 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 CO₂. Celui-ci est à nouveau purgé de la

solution et détecté par infrarouge. La quantité de CO₂ est proportionnelle à la masse de carbone de l'échantillon. Le seuil de détection est estimé à 0,2 mg C / L [9].

2.2.7. Azote total Kjeldahl (mgN/L)

Cette mesure est réalisée selon la norme AFNOR [7] : méthode Kjeldhal.

2.2.8. Eléments trace métalliques ; ETM (mg/L)

Les échantillons sont minéralisés à chaud avec de l'eau régale (1/3 HNO₃ + 2/3 HCl) [10]. 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 = masse de l'échantillon / 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 I** présente la quantité de substrat composté et la quantité d'eau ou de liquide organique ajouté au cours du processus de compostage.

Tableau I : Composition des cuves et quantité de liquide ajouté

Compost	A	B	C	D
Substrat (Kg)	50	52	51	50
Eau (m ³)	0,060	0,062	-	-
Liquide organique (m ³)	-	-	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 artéfact 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 (**figure 2**) sont représentés par la figure 2. 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.

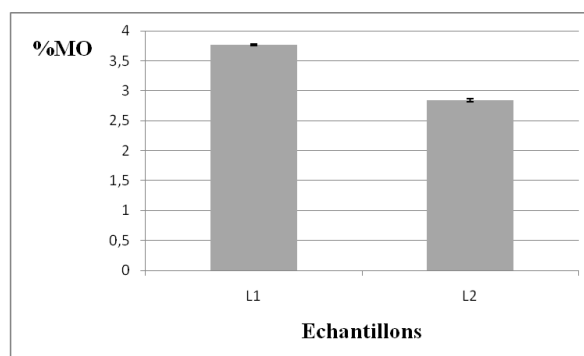


Figure 2 : MO du liquide organique L₁ et L₂

3.2.2. Acidité, pH

La **figure 3** 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. 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 liquides. Certains auteurs expriment la concentration en proton en fonction de la demande biologique en oxygène (DBO₅) et la concentration en AGV (teneur en acide gras volatil exprimée en acide acétique) ^[11, 12]. On sait que pendant la phase d'acidogenèse le pH décroît rapidement tandis que la concentration en AGV et la DBO₅ augmentent.

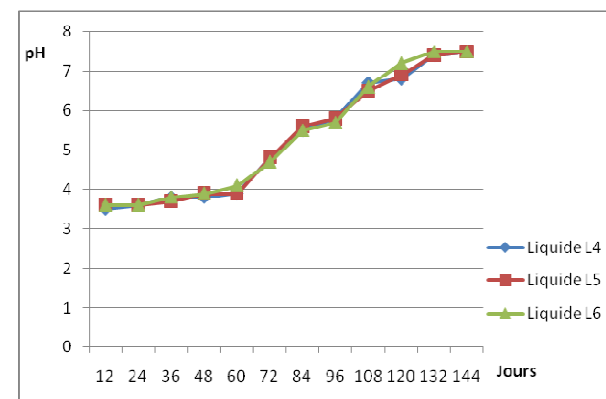


Figure 3 : Evolution dans le temps du pH des liquides L₄, L₅ et L₆

3.2.3. Masse volumique

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 4 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.

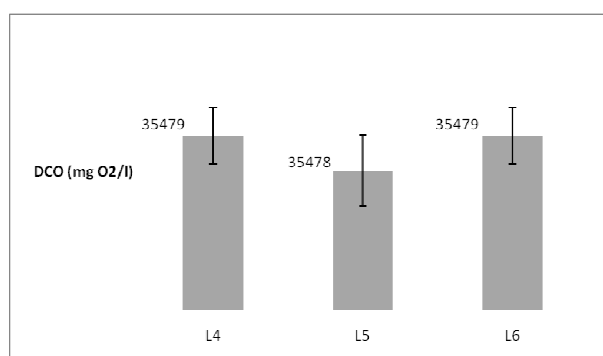


Figure 4: DCO des échantillons L4, L5 et L6

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 II** et sont exprimées en mg C/l.

Tableau II: 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 III** et sont exprimées en mg N / L. 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.

Tableau III : NTK des échantillons

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

3. 3. Application aux composts

Les composts A et B sont arrosés avec de l'eau alors que C et D sont arrosés avec l'extrait 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 5** présente les teneurs en MO des différents composts obtenus.

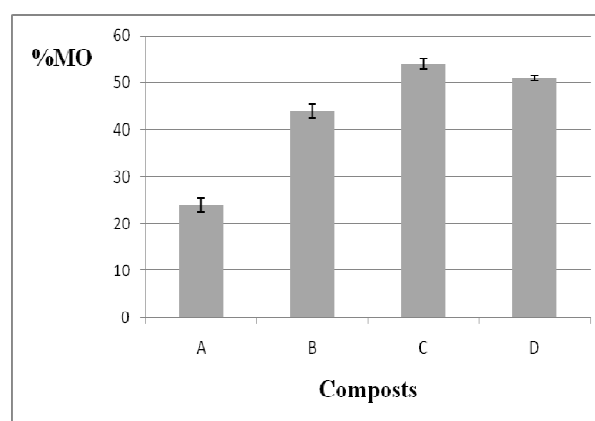


Figure 5: Teneur en matière organique

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 des composts au bout de 90 jours

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 IV** présente le rapport C/N des différents composts.

Tableau IV: Rapport C/N des composts au bout de 90 jours

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

Ce rapport a été mesuré sur les composts obtenus après 90 jours de compostage afin de se rendre compte de l'apport de l'extrait organique en remplacement d'eau. 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 au **Tableau V** ; elles restent en dessous des normes de la norme NFU 44-051 des trois métaux. Contrairement à la teneur des métaux dans le compost obtenus à base des ordures ménagères bruts^[13, 14] et en tenant compte de la rétention ou de

Tableau V: 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
AFNOR ^[7]	3	150	600
^[13]	14-40	290-480	-

la complexation des métaux par la matière organique^[13], ces composts ne présentent donc aucun risque pour la chaîne alimentaire.

4. 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.

Remerciement

Ce travail présenté dans ce document a été financé par le Laboratoire GTVD de l'Université de Lomé.

Bibliographie

- [1] 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.
- [2] GTZ. 2000, "Planning for sustainable and Integrated Solid Waste Management", Manila, du 18 au 21 Septembre 2000, 9 p.
- [3] 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.
- [4] Lagier T., 2006. Etude des macromolécules de lixiviat : caractérisation et comportement vis-à-vis des métaux. Thèse de doctorat N°72, Université de Limoges.
- [5] Mathieu C. et Pieltain F. 2003, Analyse chimique des sols, Méthodes choisies, 2003. Edition TEC et Doc.
- [6] 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.
- [7] AFNOR, 2005. Norme qualité compost urbain NF 44051. Amendement organique. Arrêté ministériel du 21

August 2007.

[8] Hedges J.I., 1993. Comparative analyses of dissolved organic carbon and nitrogen in natural waters. *Mar. Chem.*, 41(1-3), 121-134.

[9] 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.

[10] Bustamante, M.A., C. Paredes, F.C. Marhuenda-Egea, A., Perez-Espinosa, M.P. Bernal, R., Moral, 2008. Co-composting of distillery wastes with animal manures: Carbon and nitrogen transformations in the evaluation of compost stability. *Chemosphere*, 72: 551–557.

[11] Tchobanoglous G., Theisen H. & Vigil S., 1993.

"Integrated Solid Waste Management, Engineering Principles and Management Issues." McGraw Hill, New York.

[12] Reinhart D.R. & Townsend T.G, 1998. Landfill bioreacteur design & Operation. Lewiw publishers, Boca Raton N.Y. by CRC Press LLC 189 p.

[13] Koledzi K. E., Baba G., Segbeaya N., Tchangbedji G., Kili K., Tozo K., Gnandi K., Amouzouvi A.A., Feuillade G., Et Matejka G., 2011. Valorisation des déchets urbains en agriculture : étude d'impact écologique de composts. *J. Soc. Ouest-Afr. Chim. (2011) 032 ; 27 -42*

[14] Koledzi K.E., Baba G., Tchangbedji G., Agbeko K., Matejka G., Feuillade G., Bowen J., 2011. Experimental study of urban waste composting and evaluation of its agricultural valorization in Lomé (Togo). *Asian J. of Applied Sciences* 4 (4) 378-391