

## Traitement des résidus solides urbains : contrôle du compostage par suivi de l'oxygène

\*LOUIS Jean<sup>a</sup>, MORIZOT Georges<sup>b</sup>, KOLEDZI Edem<sup>c</sup>, et LUDINGTON Gaïa<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Faculté des Sciences, Université de Mahajanga, Rue Georges V, 401 Mahajanga, Madagascar

<sup>b</sup>Gevalor, 101 rue de la Source 45160 Olivet, France

<sup>c</sup>Laboratoire GTVD, Université de Lomé, BP 1515 Lomé, Togo

Im. KAKAL, BP 652, Mahajanga 401 ; \*jlouis\_reda@yahoo.fr

### Résumé

Le compostage de matières organiques se réalise classiquement par des mesures de la température, couplée à des déterminations de teneur en eau, alors que le paramètre de la teneur en oxygène au sein de la matière joue un rôle fondamental, notamment sur la cinétique de réaction et sur la réduction d'émission de méthane, gaz à effet de serre (GES) particulièrement nocif. Le rôle que peut jouer cette réduction de GES dans la durabilité économique d'un projet de gestion des ordures ménagères par compostage dans les pays en développement a conduit à prendre en compte la mesure d'oxygène dans le compostage des ordures ménagères de Mahajanga (Madagascar). Les résultats correspondants sont très intéressants et conduisent à modifier sensiblement la conduite du compostage et en particulier les retournements des andains par rapport aux pratiques basées uniquement sur les mesures de température. Les impacts pratiques sont importants, tant sur les paramètres technico-économiques que sur la diminution d'émission de méthane.

Mots-clés : déchets ménagers, compost, GES, oxygène, crédit carbone

### 1. Introduction

Le compostage de la fraction fermentescible des ordures ménagères (FFOM), très abondante dans les villes du sud permet à la fois de participer à la gestion difficile de ces ordures ménagères, de créer des emplois, de produire un amendement organique dont les sols dégradés sont friands et de bénéficier de financements carbone.

Au cours du compostage, qui se pratique en andains allongés, régulièrement retournés pour maintenir un taux d'oxygène adéquat, les micro-organismes aérobies consomment l'oxygène pour décomposer les déchets organiques. La présence de l'oxygène dans un andain conditionne la vitesse du processus de biodégradation aérobie. Sans oxygène, il pourrait se produire une décomposition "anaérobie" des déchets, qui dégage des mauvaises odeurs, dues au phénomène de putréfaction. Les microorganismes anaérobies transforment les substances organiques en des composés intermédiaires comme du méthane, des acides organiques, du sulfure d'hydrogène et autres substances. Les microorganismes aérobies, facteurs de la décomposition des matières organiques, transforment la matière en produisant du gaz carbonique (CO<sub>2</sub>), de l'ammoniac, de l'eau, de la chaleur et de l'humus, qui est le produit organique final relativement stable (Bustamante et al, 2008).

Le suivi de la variation de la teneur en oxygène dans les andains peut être un indicateur fiable de la vitesse d'évolution d'un compost et aussi de la nécessité de pratiquer un retournement qui restitue les conditions d'une bonne aération. .

La mesure d'un autre paramètre est plus classiquement réalisée par les professionnels du compostage, il s'agit de la température. La température d'un andain joue un rôle déterminant dans la diversité des espèces microbiennes, qui diffèrent entre elles par leur capacité de dégradation. Bien maîtrisée, elle permet l'hygiénisation des matières compostées par destruction des bactéries pathogènes.

Cependant, contrairement au suivi de la consommation d'oxygène, le suivi de la température n'est qu'une mesure indirecte des dégradations aérobies des substrats. Le maintien d'une température considérée comme optimale pour une phase de compostage donnée ne signifiera pas nécessairement, que le rendement optimal de biodégradation aérobie soit atteint au cours de cette même phase.

Cette étude est basée sur les mesures du taux d'oxygène et de la température dans les andains à l'aide d'un analyseur de combustion multifonction « SPRINT V2 » de TELEGAN enfin de constituer un protocole de mesure pour déterminer la variation du taux de l'oxygène dans les andains durant le processus du compostage. Cet analyseur, destiné initialement à faire des analyses de gaz de combustion est robuste et permet de mesurer l'oxygène, le gaz carbonique et la température.

## **2. Contexte**

Le compostage est un processus naturel et biologique de dégradation ou décomposition. La conversion, transformation et valorisation de la matière organique par les microorganismes dans des conditions bien définies et contrôlées en un produit stable, hygiénique, riche en composés humiques, qui est utilisable comme amendement et engrais naturel : le compost (Koledzi et al., 2011; van Haaren et al., 2010). Il existe deux principaux procédés biologiques de dégradation de la matière organique : le traitement biologique aérobie et anaérobie (Chitsan Lin, 2008). Les procédés de traitement biologique aérobie s'effectuent en présence d'une grande quantité d'oxygène (Belén P. et al., 2010). Les microorganismes, facteurs de la décomposition des matières organiques, transforment la matière en produisant du gaz carbonique (CO<sub>2</sub>), de l'ammoniac, de l'eau, de la chaleur et de l'humus, ou compost proprement dit qui est le produit organique final relativement stable (Bustamante and al., 2008).

La teneur en oxygène est l'un des principaux facteurs qui déterminent le processus de compostage des matières organiques. En présence d'oxygène, c'est le processus biologique aérobie qui prédomine. Dans le cas contraire, c'est-à-dire en absence d'oxygène, c'est le phénomène de décomposition anaérobie qui se produit. Le résidu solide, ou digestat, a une composition et des propriétés proches de celles du compost.

Les micro-organismes aérobies respirent l'oxygène contenu dans l'air, entourant les matériaux à décomposer. Le taux d'oxygène ne doit pas baisser à moins de 5 à 8% afin d'éviter l'asphyxie des agents de la dégradation (Puyuelo et al., 2010). L'anaérobiose commence lorsque le taux d'oxygène du tas est inférieur à 10% ; elle prédomine au-dessous de 5% d'O<sub>2</sub> (Puyuelo et al., 2010).

Par leur respiration, les micro-organismes dégagent une chaleur telle que les températures atteintes (80 °C et même plus de 90 °C dans un tas bien isolé) peuvent devenir létales pour les cellules. L'optimisation du processus consiste donc à veiller à ne pas dépasser une température supérieure à 70°C (D. Elango and al., 2009; Ivan Petric and al., 2009).

### **2.1 Suivi du processus de compostage**

Le moyen le plus simple de suivre le déroulement du processus de compostage est l'utilisation d'une sonde thermométrique qu'il faut introduire dans la masse en fermentation. Cette méthode, très couramment utilisée, ne donne des informations que sur la température durant le stade de dégradation, mais peu sur les autres facteurs, qui influent sur le compostage. Elle sera utilement complétée par une ou plusieurs méthodes additionnelles.

Les principaux facteurs influents sur le compostage et qu'il faut suivre de près sont : l'air (présence d'oxygène), l'eau (humidité) et les nutriments (rapport C/N) (D. Elango and al. 2009; Rob van Haaren and al., 2010).

L'eau est indispensable pour que les réactions chimiques puissent se produire. Elle est aussi nécessaire pour le déplacement des micro-organismes et le transport des nutriments. Mais un andain trop humide peut empêcher la circulation de l'air et gêner ainsi l'activité des micro-organismes aérobies. Le compost trop sec (humidité inférieure à 35%) permettra à l'ammoniac de s'échapper sous forme gazeuse et, si l'andain devient trop sec et poussiéreux, il risque de se peupler de moisissures plutôt que de micro-organismes bénéfiques. On ajoute généralement de l'eau au moment de former l'andain de compost (Van Haaren et al, 2010, A. Vlyssides et al., 2009).

Les nutriments permettent la multiplication des bactéries. Ils sont souvent évalués sur le rapport carbone/azote (C/N). En général, ces organismes nécessitent environ 25 fois plus de C que de N. Ce rapport doit être compris entre 25 et 35 en début de compostage et un rapport C/N de 20 à 40 en fin de maturation.

## **2.2 Température et taux d'oxygène durant le compostage**

La température d'un andain joue un rôle déterminant dans la diversité des espèces microbiennes qui diffèrent entre elles par leur capacité de dégradation. Bien maîtrisée, elle entraîne l'hygiénisation des matières compostées.

Cependant, contrairement au suivi de la consommation d'oxygène, le suivi de la température n'est qu'une mesure indirecte des dégradations aérobies des substrats. Le maintien d'une température considérée comme optimale pour une phase de compostage donnée ne signifiera pas forcément que le rendement optimal de biodégradation aérobie soit atteint au cours de cette même phase.

La vitesse du transfert d'oxygène de l'espace lacunaire aux micro-organismes conditionne la vitesse du processus de biodégradation aérobie. Parmi les variations des gaz dans les volumes lacunaires, seule la consommation d'oxygène est un paramètre fiable de la vitesse d'évolution d'un compost. La quantité d'oxygène dans un andain est l'élément déterminant du déroulement du processus de biodégradation aérobie, de la nature et de la concentration des produits résultants. Sans oxygène, il pourrait se produire une décomposition "anaérobie" des déchets, qui dégage des mauvaises odeurs, dues au phénomène de putréfaction et du méthane, GES 21 fois plus actif sur le réchauffement climatique que le CO<sub>2</sub> (A. Vlyssides et al, 2009).

La mesure et la surveillance de la concentration en oxygène sont donc très utiles pour intervenir au bon moment sur l'aération de l'andain en le retournant.

## **2.3 Méthodologie de mesure**

Les études du taux d'oxygène et de la température ont été réalisées sur des andains constitués à partir des ordures organiques de la Commune Urbaine de Mahajanga, une ville située dans une zone chaude et ensoleillée du Nord-Ouest de Madagascar (température moyenne annuelle de 24,5 °C et pluviométrie annuelle de 1150 mm).

Les mesures du taux d'oxygène et de la température ont été effectuées en introduisant la sonde de l'Analyseur de combustion multifonction « SPRINT V2 » dans un tube galvanisé de 21 mm de diamètre et de 120 mm de long, avec des trous de 7,5 mm de diamètre à l'extrémité pointue, qui auparavant a été enfoncé dans l'andain, au moins jusqu'à un mètre de profondeur, et a été laissé ouvert 3 à 4 minutes pour que les gaz remplissent le fond du tube. Durant la mesure, l'ouverture du tube est fermée avec un bouchon en caoutchouc, qui est fixée sur la tige de la sonde et qui sert à la fois de bouchon, d'arrêt et de fixation de la sonde avec le tube galvanisé.

Compte tenu des résultats des tests préliminaires sur le temps de réponse de l'appareil suivant le type de gaz, la position et la profondeur du point de mesures, la méthodologie de mesures est définie dans la figure 1 ci-dessous.

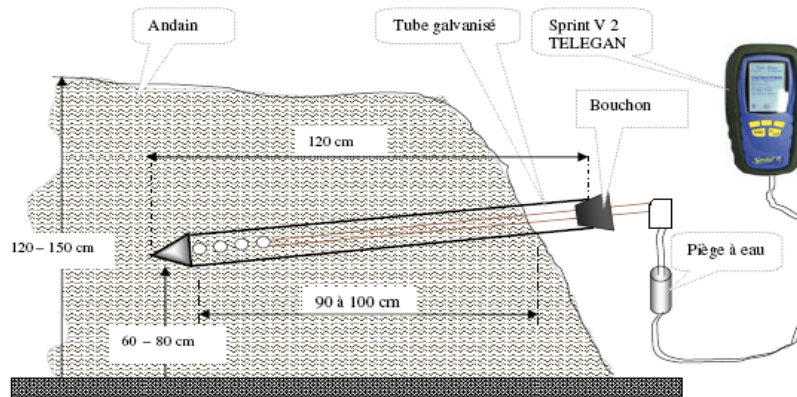


Figure 1 : position de la sonde durant les mesures

### 3. Résultats

Les mesures effectuées sur des différents points des andains montrent bien que la température augmente en profondeur avec une faible variation dans un niveau plus profond (Fig. 1). Par contre le taux d'oxygène diminue progressivement en fonction de la profondeur et se différencie d'un point à l'autre (Fig. 2). Mais une tendance à une faible variation est observée à partir de 80 cm de profondeur.

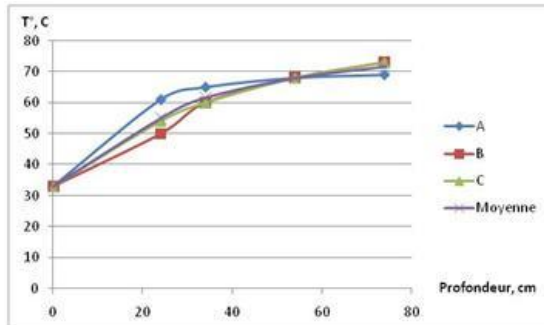


Figure 2 : Variation de la température dans l'andain en fonction de la profondeur du point de mesures

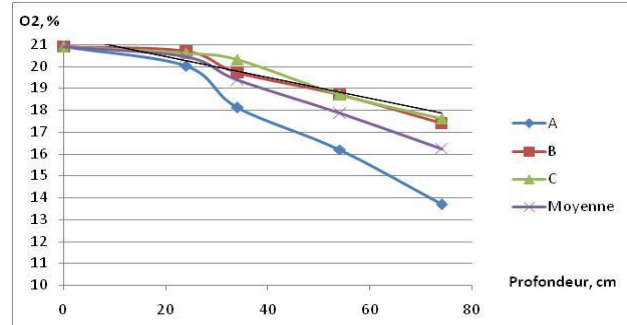


Figure 3 : Variation du taux de l'oxygène dans l'andain en fonction de la profondeur du point de mesures

Il a été remarqué, que pour une même profondeur, la température dans l'andain du côté exposé au vent est toujours inférieure à celle du côté opposé au vent et vice versa pour le taux d'oxygène. Compte tenu de cette variation de température et du taux d'oxygène en fonction du vent et de la profondeur, il a été effectué au moins une mesure par jour sur trois points différents de 11 andains expérimentaux et durant 30 jours, sauf durant le retournement et l'arrosage.

Le traitement statistique des résultats des séries de 650 mesures donnent les valeurs de l'écart type du taux d'oxygène et de la température variant respectivement de 0,119 à 1,016 et de 0,300 à 1,096. Ce qui donne une valeur moyenne de l'écart type de 0,522 pour les taux d'oxygène et de 0,705 pour la température.

Pour mieux connaître la relation entre la croissance de la température et la variation au sens contraire du taux d'oxygène toutes les données de mesures ont été triées par ordre croissant du taux de CO<sub>2</sub>.

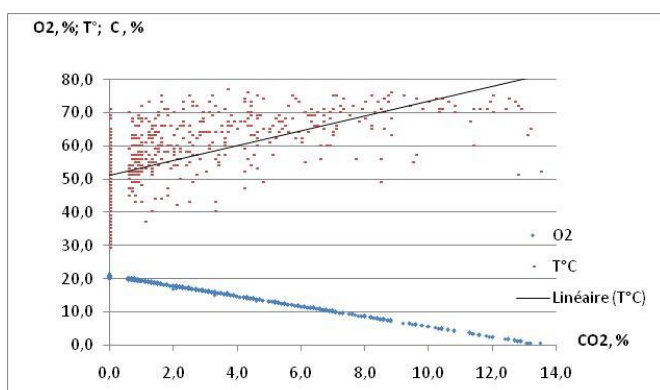


Figure 4 : Variation du taux d'O<sub>2</sub> et de T°C en fonction du taux de CO<sub>2</sub> dans les andains durant le compostage

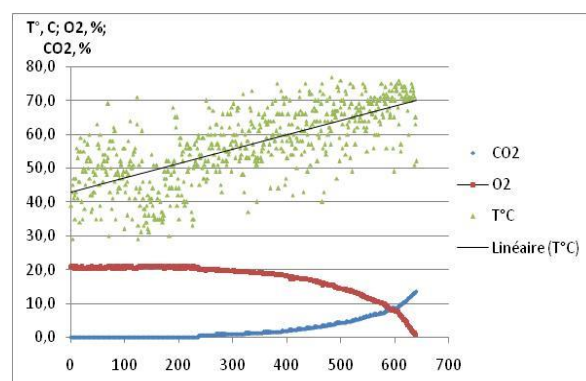


Figure 5 : Variation du taux d'O<sub>2</sub>, du CO<sub>2</sub> et de T°C dans les andains durant le compostage

Le taux d'O<sub>2</sub> diminue linéairement en fonction de l'augmentation du taux de CO<sub>2</sub> dans les andains (fig. 4). Une forte augmentation du taux de CO<sub>2</sub> et une diminution rapide du taux d'oxygène a été observé quand la température est très élevée. Ces variations présentent un point commun d'intersection des taux d'oxygène et de gaz carbonique situant aux alentours de 8% comme l'indique la figure 4.

Tableau 1 : Nombres de mesures et pourcentages des cas dans chaque intervalle de température

JOURS	1 <sup>er</sup>	2 <sup>ème</sup>	3 <sup>ème</sup>	4 <sup>ème</sup>	5 <sup>ème</sup>	6 <sup>ème</sup>	7 <sup>ème</sup>	8 <sup>ème</sup> et +	TOTAL
T°, C°									
T°, [60, 80] %	16 3,14%	12 2,35%	36 7,06%	31 6,08%	11 2,16%	15 2,94%	0 0,00%	114 22,35%	235 46,08%
T°, ] 75, 80] %	1 0,20%	0 0,00%	1 0,20%	1 0,20%	ND 0,00%	ND 0,00%	ND 0,00%	0 0,00%	3 0,59%
T°, ] 70, 75] %	8 1,57%	2 0,39%	14 2,75%	9 1,76%	3 0,59%	7 1,37%	0 0,00%	24 4,71%	67 13,14%
T°, ] 65, 70] %	4 0,78%	8 1,57%	16 3,14%	10 1,96%	4 0,78%	4 0,78%	0 0,00%	45 8,82%	91 17,84%
T°, ] 60, 65] %	3 0,59%	2 0,39%	5 0,98%	11 2,16%	4 0,78%	4 0,78%	0 0,00%	45 8,82%	74 14,51%

ND : non déterminé

Le tableau ci-dessus présente les nombres et les pourcentages des cas dans chaque intervalle de température. Dans l'ensemble la température varie entre 65 et 75 °C durant les 6 premiers jours.

Sur les 510 mesures effectuées sur les 4 andains formés à partir des ordures du marché et les 3 andains formés à partir des ordures déchets la ville (en dehors du marché), il a été constaté que la température variant entre 60°C et 80°C représente dans l'ensemble 46,08% des mesures dont 18,63% durant les 4 premiers jours, soit 40,43% des 235 cas enregistrés.

Le taux d'oxygène peut descendre jusqu'à 0% dans certains cas et surtout durant le premier jour après la constitution de l'andain. Le tableau ci-dessous montre que le taux d'oxygène inférieur ou égal à 8% est enregistré durant les 4 premiers jours, et rarement après le 7<sup>ème</sup> jour.

Tableau 2 : Nombres de mesures et pourcentages des cas dans chaque intervalle de température

JOURS	1 <sup>er</sup>	2 <sup>ème</sup>	3 <sup>ème</sup>	4 <sup>ème</sup>	5 <sup>ème</sup>	6 <sup>ème</sup>	7 <sup>ème</sup>	8 <sup>ème</sup> et +	TOTAL
<b>O2, [0 %, 8 %]</b>	<b>13</b>	<b>3</b>	<b>8</b>	<b>5</b>	2	1	0	16	48
%	2,55%	0,59%	1,57%	0,98%	0,39%	0,20%	0,00%	3,14%	9,41%
<b>O2,] 6 %, 8 %]</b>	4	1	2	4	1	1	0	6	19
%	0,78%	0,20%	0,39%	0,78%	0,20%	0,20%	0,00%	1,18%	3,73%
<b>O2,] 4 %, 6 %]</b>	1	1	1	1	0	0	0	6	10
%	0,20%	0,20%	0,20%	0,20%	0,00%	0,00%	0,00%	1,18%	1,96%
<b>O2,] 2 %, 4 %]</b>	3	1	1	0	0	0	0	3	8
%	0,59%	0,20%	0,20%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,59%	1,57%
<b>O2, [0 %, 2 %]</b>	5	0	4	0	0	0	0	2	11
%	0,98%	0,00%	0,78%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,39%	2,16%

La chute de la température vers 30°C pour les ordures de la ville et 30 à 50°C pour les ordures du marché se produise au retournement de l'andain. Le taux d'oxygène par contre augmente vers 18 à 20% en ce même moment de retournement.

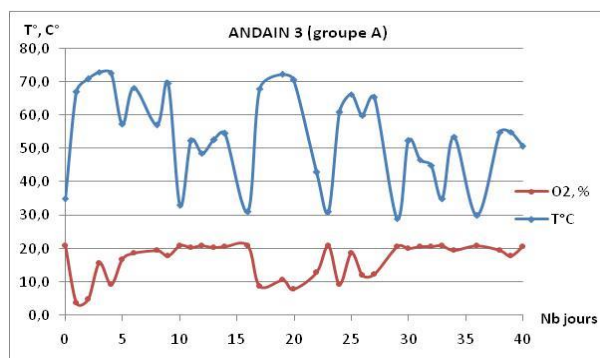


Figure 6 : Variation de la température et du taux d'oxygène dans l'andain des ordures du marché

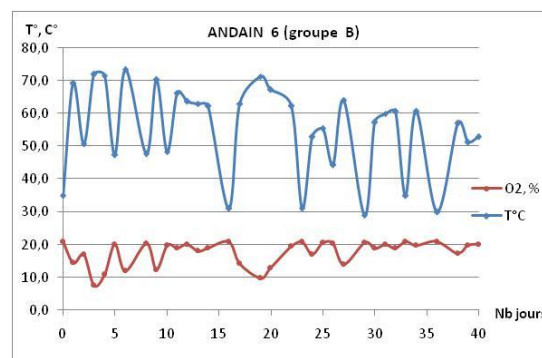


Figure 7 : Variation de la température et du taux d'oxygène dans l'andain des ordures en dehors du marché

La température augmente très rapidement durant les 3 premiers jours, même après le retournement des andains. Le taux d'oxygène diminue en même temps durant cette même période. Au-delà du 10<sup>ème</sup> jour, après chaque retournement, la vitesse de l'augmentation de la température diminue, mais pour l'oxygène cette variation est un peu différente comme l'indique à l'exemple les figures 5 et 6 ci-dessus.

#### 4. Discussion

Il a été observé que le taux d'oxygène et la température dans un même andain peuvent varier d'un endroit à l'autre. Du côté vent, l'air peut pénétrer en profondeur jusqu'à l'intérieur de l'andain, ce qui augmente le taux d'oxygène et diminue la température sur cet endroit. Cette variation dépend aussi de la nature, de la taille et de la porosité des ordures organiques. En effet les matières qui composent les andains ne sont pas les mêmes et elles ne sont non plus homogènes, donc le degré de la décomposition n'est pas le même d'un point à l'autre.

Une large variation de l'écart type, obtenue lors des traitements statistiques des résultats, s'explique par l'hétérogénéité des ordures et de ce fait par les disparités des taux d'oxygène et des températures dans un même andain durant le processus de compostage

Particulièrement durant les trois premiers jours après la constitution de l'andain, et même dans certains cas jusqu'au sixième jour, le taux d'oxygène diminue considérablement à certains

endroits avec une forte élévation de la température. A ce stade de fermentation active, les microorganismes ont besoin de beaucoup d'oxygène durant leur développement, ce qui explique la diminution rapide du taux d'oxygène. Dans ces conditions la température peut monter à certains endroits jusqu'à 80 °C, due à l'activité biologique des micro-organismes.

Contrairement à la température, le taux d'oxygène augmente à l'approche du stade de la maturation. En effet après la première « phase thermophile », dite « fermentation active », qui se déroule à haute température (50 à 70°C) sous l'action de bactéries, suit la deuxième « phase mésophile », dite « maturation. Ce phénomène de maturation, qui se passe à température plus basse (35 à 45°C), conduit à la biosynthèse de composés humiques par des champignons, qui n'ont plus besoin d'une grande quantité d'oxygène.

Les études effectuées sur 7 andains formés à partir des déchets de la ville et des déchets des marchés, montrent que les taux d'oxygène enregistrés inférieurs à 8% appelés (« taux critiques ») représentent 9,41% soit 48 cas sur 510 mesures, dont les 5,69% durant les 4 premiers jours, soit 60,42 % des cas. Ce pourcentage peut varier suivant les conditions de traitement des andains notamment l'aération ou le retournement, l'humidification et la nature de la matière compostée.

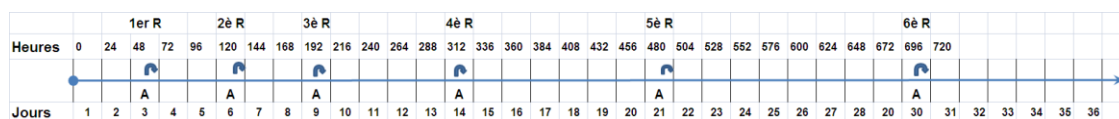
Autrement dit, la fréquence des retournements et des arrosages des andains, le vent, ainsi que les matières qui composent les andains sont autant des facteurs qui déterminent la variation du taux d'oxygène et de la température durant le compostage.

Le suivi du taux d'oxygène avec la température permettra de déterminer le bon moment pour intervenir à l'aération et l'arrosage des andains et pour optimiser non seulement le retournement des andains mais aussi le dégagement des gaz à effet de serre (par manque d'oxygène) et la valorisation des crédits carbone.

La mesure du taux d'oxygène lors du compostage est destinée à démontrer que le milieu reste toujours oxydant et qu'il n'y a pas de risque d'émission de méthane lors du compostage.

La méthodologie MDP (UNFCCC/CCNUCC, CDM III.F./version 8, 2009) mise en œuvre prévoit en effet, que sans mesure d'oxygène lors du compostage, on doit considérer qu'il y a production partielle de méthane suivant une formule qui conduit à considérer qu'environ 10% du méthane, qui se serait produit dans une fermentation anaérobie, est dans les faits émis dans cette fermentation aérobie. En revanche, si on peut montrer que la teneur en oxygène lors de cette fermentation aérobie reste supérieure à 8 % (avec une erreur maximale de 10 % à un seuil de confiance de 95%), on admet l'absence de production de méthane. Alors le suivi du taux d'oxygène dans les andains permettra d'éviter la diminution de longue durée du taux de l'oxygène en dessous de 8%, d'où la réduction de la production de méthane ou gaz à effet de serre.

Pour la mise en pratique des résultats de cette étude, le retournement et l'arrosage des andains de compostage pourraient être envisagés selon le schéma ci-après.



$C + 2 \text{ jours} + R1 + 2 \text{ jours} + R2 + 2 \text{ jours} + R3 + 4 \text{ jours} + R4 + 6 \text{ jours} + R5 + 8 \text{ jours} + R6 + \text{Maturation (20 à 30 jours)} = \text{compost (engrais organique)}$

(C = construction du tas ; R1, R2, R3... = retournements des andains pour aération, A = arrosage des andains)

Ce schéma diffère du schéma proposé par la littérature par les fréquences des retournements durant les 9 premiers jours. L'aération doit être fréquente au début de la fermentation, puis de plus en plus espacée. D'autres plans de retournement pourraient être proposés et feront

ultérieurement l'objet des études comparatives des méthodes de compostage des ordures de la ville de Mahajanga.

## 5. Conclusion

Des études expérimentales de mesures du taux d'oxygène et de la température ont été effectuées dans les andains formés à partir des ordures des marchés et de la ville de Mahajanga, pour évaluer la teneur en oxygène et la variation de la température durant le processus de compostage.

Il s'agit donc de mesurer le taux d'oxygène et de la température de l'andain à l'aide de l'analyseur de combustion multifonctions « SPRINT V2 » de TELGAN enfin d'assurer un bon fonctionnement de la décomposition aérobie. L'objectif est de suivre la diminution du taux d'oxygène pour que ce taux reste supérieur à 8 %, pour éviter le dégagement de GHS et prendre une décision de retournement des andains au temps opportun.

Les résultats ont montrés que la température est élevée (60 à 75°C) durant la première « phase thermophile », dite « fermentation active » due aux activités des microorganismes, puis diminue durant la deuxième « phase mésophile », dite « maturation ». Par contre le taux d'oxygène diminue rapidement durant la première phase. Le suivi du taux d'oxygène dans les andains permettra d'éviter la diminution de longue durée du taux de l'oxygène en dessous de 8%, considéré comme un taux critique du début de production de méthane.

Un schéma des retournements des andains est proposé enfin d'optimiser le compostage et réduire le dégagement des gaz à effet de serre (par manque d'oxygène) d'une part et la valorisation des crédits carbone d'autre part.

## REFERENCES

- A. Vlyssides, S. Mai, E.M. Barampouti, 2009. An integrated mathematical model for co-composting of agricultural solid wastes with industrial wastewater. *Bioresource Technology* 100 (2009) 4797–4806
- Belén Puyuelo, Teresa Gea, Antoni Sánchez 2010. A new control strategy for the composting process based on the oxygen uptake rate, *Chem. Eng. J.* doi:10.1016/j.cej.2010.09.011
- Chitsan Lin, 2008. A negative-pressure aeration system for composting food wastes. *Bioresource Technology* 99 (2008) 7651–7656.
- D. Elango, N. Thinakaran, P. Panneerselvam, S. Sivanesan, 2009. Thermophilic composting of municipal solid waste. *Applied Energy* 86 (2009) 663–668
- K.E. Koledzi, G. Baba, G. Tchabedji, K. Agbeko, G. Matejka, G. Feuillade and J. Bowen, 2011. Experimental Study of Urban Waste Composting and Evaluation of its Agricultural Valorization in Lomé (Togo). *Asian Journal of Applied Sciences*, 4: 378-391.
- M.A. Bustamante, C. Paredes, F.C. Marhuenda-Egea, A. Pérez-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 (2008) 551–557.
- Puyuelo, B., Gea, T., Sanchez, A., 2010. A new control strategy for the composting process based on the oxygen uptake rate. Article in press *Chemical Engineering journal* (2010), doi:10.1016/j.cej.2010.09.011
- Rob van Haaren, Nickolas J. Themelis, Morton Barlaz, 2010. LCA comparison of windrow composting of yard wastes with use as alternative daily cover (ADC). *Waste Management* 30 (2010) 2649–2656.
- R.V. Misra, R.N. Roy, H. Hiraoka, 2005 *Méthodes de compostage au niveau de l'exploitation agricole*. Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome, 2005
- UNFCCC/CCNUCC, CDM III.F./version 8. Indicative simplified baseline and monitoring methodologies, for selected small-scale. CDM project activity categories. *III.F. Avoidance of methane emissions through controlled biological treatment of biomass (cont)*: EB 48, Annex 20, 17 July 2009.
- <http://cdm.unfccc.int/methodologies/DB/8LN6GGPC8CGLDR861U7JXYORCRYWZR/view.html> (consulté en juin 2010).
- [http://membres.multimania.fr/hortus/f\\_hortic/fiche-compost.html#Debuter](http://membres.multimania.fr/hortus/f_hortic/fiche-compost.html#Debuter). Compost pour l'horticulture des régions chaudes (consulté en juin 2010)