

Rapport d'expérimentation

Compostage de bouteilles en bioplastique compostable (PLA)

DESTINATAIRE : **Citeo**
contact : Sophie BONNIER sophie.bonnier@citeo.com

Dossier suivi par **Alexia Mercier** alexia.mercier.tc@gmail.com
Relecture par **Guillaume Morel** guillaume@alchimisites.co &
Kenzo Sato kenzo@alchimistes.co

Table des matières :

Synthèse	3
Contexte	4
Objectifs	4
Protocole d'expérimentation	5
Hypothèses	5
Matériel	5
Méthodologie	5
Résultats	7
Décomposition de la vaisselle en PLA	7
Inspection visuelle	7
Comptage des fragments PLA	7
Conformité à la norme NFU 44 051	8
Valeurs agronomiques	8
Inertes ⁹	
Influence sur le procédé	9
Temps supplémentaire	9
Températures dans le composteur	9
Matériel & Opérateur	10
Discussion et recommandations	11
Changement de broyeur	11
Changement de composteur	11
Ajout de structurant	11
Adaptation du temps de maturation	11
Conclusion	11

I. Synthèse

a) Le PLA, une matière plastique compostable

Le PLA (acide polylactique) est un plastique 100% biosourcé et compostable. Il est principalement utilisé en remplacement du plastique pour les bouteilles, barquettes et les couverts à usage unique et la quantité de matière mise sur le marché est actuellement croissante, malgré l'absence de filière de traitement.

Un des enjeux de cette étude est de confirmer la compostabilité du PLA dans un procédé de compostage professionnel et notamment le compostage électromécanique développé par les Alchimistes. Au-delà de cette dégradation par compostage, il est nécessaire de connaître l'intégration possible de cet intrant dans le procédé de collecte et de traitement des déchets alimentaires des Alchimistes.

b) Un compostage efficace, qui nécessite des adaptations de process

Avec un taux de 5% de PLA en masse dans les déchets alimentaires, la dégradation des particules est en grande partie assurée à l'issue des 6 semaines de compostage. Il apparaît que le PLA n'influe pas ou très peu sur le procédé de compostage dans le composteur électromécanique (humidité, structuration, pH ...).

En revanche, pour que celui-ci soit bien dégradé, il est nécessaire d'adapter le procédé de pré-traitement. Il convient de broyer le PLA à la bonne granulométrie (2 cm maximum), afin de faciliter l'hydrolyse des particules (L'étape de broyage montre des pertes de matière importante sous la forme de poussière). Un broyeur adapté est donc recommandé.

Il est également nécessaire de prévoir une maturation du compost plus longue (environ 4 semaines de plus que pour un compost issu uniquement de biodéchets) pour s'assurer que la plus grande partie du PLA sera dégradée ou plus visible à l'œil nu.

Enfin, il convient également de s'assurer que l'emballage est 100% compostable : le corps de l'emballage, ses éléments de fermeture (bouchon), étiquette, encre, colle, ce qui n'était pas le cas de l'échantillon testé, aussi uniquement le corps de l'emballage a été testé.

c) Un compost contenant du PLA est conforme à la norme

Les analyses effectuées auprès d'un laboratoire certifié permettent de montrer que le compost issu de matières contenant du PLA est bien conforme à la Norme NFU 44-051, ce qui permet de le commercialiser. La comparaison avec un compost témoin fait apparaître que celui-ci présente globalement les mêmes caractéristiques agronomiques que le compost avec PLA : la présence de plastiques compostables dans le compost ne modifie donc pas ses caractéristiques agronomiques.

d) Les préconisations pour développer la filière de compostage du PLA

Afin d'intégrer le PLA dans la filière de compostage des biodéchets, il est nécessaire d'adapter le traitement (broyage fin et maturation plus longue). Certains éléments doivent encore être approfondis, lors d'études complémentaires, notamment déterminer le mode de collecte adéquat évitant la contamination du compost par des plastiques non compostables, difficiles à distinguer lors d'un éventuel sur-tri. Il s'agit également de porter attention à la communication sur l'extension des consignes de tri.

II. Contexte

Des mouvements citoyens de plus en plus récurrents émergent sur la question de la pollution des sols et des océans par les emballages plastiques, ce qui pousse un certain nombre d'innovations, dont l'utilisation des plastiques compostables, à se développer. Le PLA (acide polylactique) constitue l'une des alternatives au plastique conventionnel puisqu'il est biosourcé et compostable à 100%.

Malheureusement, les filières de collecte et de compostage n'existent pas encore et les utilisateurs de ces plastiques compostables sont sous le coup d'une « triple-peine » :

- l'emballage coûte plus cher
- sa fin de vie coûte plus cher
- il est au final très rarement composté

C'est dans ce but et en prenant le cas d'école d'une bouteille PLA que les Alchimistes se sont rapprochés de Citéo pour proposer un partenariat de collecte et compostage permettant de tester les conditions de la mise en œuvre technique et organisationnelle de cette filière.

Les Alchimistes proposent de réaliser une expérimentation de collecte de proximité et de compostage sur leur site urbain de La Caverne (Paris 18^e). Ce site équipé de 2 composteurs Rocket Agoo est dimensionné pour réaliser des expérimentations à petite échelle en conditions d'exploitation replicables à une échelle commerciale. Sa situation dans Paris intra-muros est idéale pour travailler à proximité immédiate de gisements facilement accessibles en logistique douce.

III. Objectifs

Les objectifs sont de deux ordres :

- Définir les conditions opérationnelles et techniques d'un compostage du PLA des bouteilles fournies par l'entreprise Lys Packaging dans des délais les plus courts possibles : pré- traitement / granulométrie et type de broyage / choix des co-produits du compostage. Il est nécessaire de valider que le PLA s'intègre facilement dans la filière actuelle de collecte et compostage des Alchimistes.
- Appréhender le modèle économique d'une filière de collecte et de compostage des emballages en plastiques compostables.

IV. Protocole d'expérimentation

A. Hypothèses

Les bouteilles de PLA se décomposent rapidement dans des conditions de températures supérieures à 50°C dans des atmosphères à fort taux d'humidité.¹

Les conditions de compostages répondent à ces exigences. En effet, les températures dans le composteur dépassent régulièrement les 60°C, avec un fort taux d'humidité. On s'attend donc à ce que le PLA soit fortement voire entièrement décomposé à la fin du procédé.

Les paillettes de plastique étant rigides, on considère qu'elles peuvent faire office de structurant (aération de la matière par création de bulles d'air), mais également d'apport carboné, puisqu'en se dégradant, elles peuvent aussi apporter une partie du carbone nécessaire au compostage. On réduit donc la quantité de copeaux de bois (on passe d'un ratio de 0,75 litres de copeaux de bois par kilo de déchets compostés à un ratio de 0,5)

B. Matériel

composteur : Ag00, Tidy Planet

Broyeur : Voran

Type de bouteilles : Vegan Bottles® de masse 25 gramme - PLA biosourcé. Fournies par Lyspackaging. Il est à noter que ces bouteilles sont nues (sans encre, bouchon, collerette ...)



À gauche : Bouteille Yumi (haut) et Bouteille équivalente fournie par Lyspackaging (bas)
À droite : Palette de bouteilles envoyées par Lyspackaging

C. Méthodologie

Les bouteilles sont d'abord broyées séparément des déchets organiques. Plusieurs essais ont été faits pour déterminer le nombre de passage dans le broyeur et le type de grille adapté.

Il semble que 3 passages successifs sans grille soit la combinaison optimum pour minimiser la présence de gros fragments de bouteilles et minimiser le temps de broyage.

¹ Kijchavengkul, T., Kale, G., & Auras, R. (2009). *Degradation of Biodegradable Polymers in Real and Simulated Composting Conditions. Polymer Degradation and Performance*, 31–40.

Le Voran produit une granulométrie hétérogène, allant de poussière à de gros fragments. On observe deux grandes catégories : des petites paillettes autour de 1cm de diamètre, et de plus grosses paillettes autour de 5cm de diamètre.



À gauche : Exemple de grille ; À droite : Intérieur du Voran avec lames et paillettes PLA après broyage



À gauche : Stock total de paillettes ; À droite : Grosses paillettes ajoutées au composteur

Les paillettes sont ajoutées en proportion fixe de 5% massique dans le composteur. Pour diminuer l'impact des variations de volume et de composition du flux de biodéchets collecté à La Caverne, nous fixons les masses à 60kg de biodéchets et 3kg de paillettes (l'équivalent de 120 bouteilles) à ajouter chaque jour au composteur, sur une durée de 2 semaines d'exploitation soit 10 jours. Cela représente environ un seau de paillettes pour 3 seaux de biodéchets par jour en équivalent volumique.

En parallèle, un compost de référence sans paillettes de PLA mais avec approximativement la même composition en biodéchets est préparé dans le deuxième composteur du site de La Caverne.

Lorsque le compost sortant du composteur ne semble plus présenter de paillettes de PLA, le lot est considéré comme complet et est isolé. Le lot est alors laissé 4 à 6 semaines en baies de maturation.

À la fin de la maturation, le compost est criblé à travers une grille rejetant les éléments faisant plus d'un 1cm de diamètre le refus de crible est réutilisé comme structurant à l'entrée du composteur, en mélange avec le le broyat de bois "neuf"). Le compost est alors analysé :

- Inspection visuelle
- Normes NFU 44 051

V. Résultats

A. Décomposition des bouteilles en PLA

1. Inspection visuelle

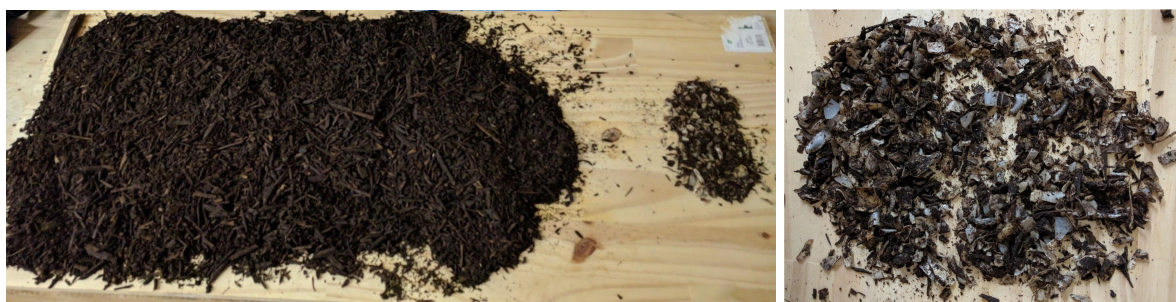


À gauche : Lot du compost avec PLA isolé; À droite : séparation des paillettes de PLA résiduelles dans un échantillon

À la sortie du composteur et avant le début de la période de maturation, on observe qu'il reste une importante proportion de paillettes PLA. On note néanmoins que leur surface est fortement réduite, ce qui indique que la décomposition par hydrolyse a bien eu lieu, mais pas à un stade encore assez avancé.

2. Comptage des fragments PLA

À la fin de la période de maturation de 6 semaines, un comptage des micro-plastiques est à nouveau effectué. 1 kg de compost (2,53L) est échantillonné, et les paillettes sont manuellement isolées. Ces paillettes résiduelles sont ensuite lavées, pesées et mesurées. Pour 1kg de compost nous obtenons 13g de fragments PLA, ce qui équivaut à 1.3% massique. À l'origine le compost contenait 50g de PLA pour 1kg de biomasse, ce qui équivaut à une **réduction de 74% du PLA par le procédé de compostage**.



À gauche : 1kg de compost échantillonné avec paillettes PLA isolées ; À droite : paillettes PLA isolées



Paillettes de PLA lavées avec échelle indicative de 1cm

On note que les paillettes restent visibles à l'œil nu, avec une coloration blanche, d'une taille majoritairement dans la tranche 5-10mm et qu'elles sont très friables.

Il semble donc que le PLA atteigne un stade de décomposition avancé lors du compostage. Les Alchimistes ont déterminé quels paramètres faire varier pour améliorer cette décomposition (*voir partie V*). Néanmoins les fragments résiduels restent visibles, ce qui pose la question de la sensibilisation et de la communication vis à vis du consommateur.

B. Conformité à la norme NFU 44 051

Le lot de compost issu de l'expérimentation avec le PLA ainsi que le lot de compost de référence ont été tous les deux envoyés pour analyse dans notre laboratoire partenaire Aurea. Les rapports d'analyse sont à retrouver en annexe.

1. Valeurs agronomiques

D'après les résultats, **les deux lots de compost sont conformes à la norme NFU 44-051. On n'observe pas de différence significative entre les deux lots en termes de composition.** On peut noter que la concentration en phosphore est plus grande dans le lot PLA, et que le lot PLA semble aussi légèrement moins riche en cuivre et potassium. Néanmoins, ces différences ne sont pas à attribuer au PLA mais bien aux différences de composition en biodéchets entre les deux composteurs. En effet, de part la variation de composition et de volume des flux de biodéchets collectés d'un jour sur l'autre, il est impossible d'assurer une totale homogénéité des biodéchets entre les composteurs.

Caractéristiques physico-chimiques			
	Résultats	Normes	Conformité
Matière Organique (% brut)	31.77	>=20	■
Matière Sèche (% brut)	46.4	>=30	■
C organique / N total (Dumas)	10.3	>8	■
Matière Organique (% sec)	68.4		
Azote total (N) (% brut)	1.54	<3	■
N Nitrique + N ammoniacal + N uréique (% du N total)	6.5	<33	■
Phosphore sur brut (P ₂ O ₅) (% brut)	1.70	<3	■
Potasse sur brut (K ₂ O) (% brut)	1.25	<3	■
N + P ₂ O ₅ + K ₂ O (% brut)	4.49	<7	■

Composés Traces Organiques (CTO)			
	Résultats (mg / kg MS)	Valeur limites (mg / kg MS)	Conformité
Total des 7 PCB	<0.056		
Fluoranthène	0.068	<4	■
Benzo (b) fluoranthène	<0.042	<2.5	■
Benzo (a) pyrène	<0.042	<1.5	■

Détail des PCB								
Congénères	28	52	101	118	138	153	180	Total des 7 PCB
Teneur en mg/kg de matière sèche	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.056

Eléments traces métalliques			
	Résultats (mg / kg MS)	Valeur limites (mg / kg MS)	Conformité
Arsenic (As)	2.2	<18	■
Cadmium (Cd)	0.3	<3	■
Chrome (Cr)	16.2	<120	■
Cuivre (Cu)	20.4	<300	■
Mercuré (Hg)	0.03	<2	■
Nickel (Ni)	6.5	<60	■
Plomb (Pb)	12.2	<180	■
Sélénium (Se)	<3.1	<12	■
Zinc (Zn)	313.0	<600	■

Inertes et impuretés			
	Résultats (% MS)	Valeur limites (% MS)	Conformité
Films + PSE > 5 mm	0.00	<0.3	■
Autres plastiques > 5 mm	0.54	<0.8	■
Verres + métaux > 2 mm	0.02	<2	■

Films + PSE : films plastiques souples majoritairement en polyéthylène. Le polystyrène expansé (PSE) et les mousses sont rattachées aux films car ils ont un impact visuel important.
Autres plastiques : matières plastiques synthétiques autres que les films, essentiellement les PE, PET, PVC, etc ...
Verres et métaux : verre vert, brun, blanc et verres spéciaux ainsi que les métaux ferreux, inox, aluminium.

Extrait des résultats d'analyse du compost témoin sans PLA

Caractéristiques physico-chimiques			
	Résultats	Normes	Conformité
Matière Organique (% brut)	36.14	>=20	■
Matière Sèche (% brut)	52.0	>=30	■
C organique / N total (Dumas)	10.8	>8	■
Matière Organique (% sec)	69.4		
Azote total (N) (% brut)	1.67	<3	■
N Nitrique + N ammoniacal + N uréique (% du N total)	7.9	<33	■
Phosphore sur brut (P ₂ O ₅) (% brut)	1.16	<3	■
Potasse sur brut (K ₂ O) (% brut)	1.51	<3	■
N + P ₂ O ₅ + K ₂ O (% brut)	4.34	<7	■

Composés Traces Organiques (CTO)			
	Résultats (mg / kg MS)	Valeur limites (mg / kg MS)	Conformité
Total des 7 PCB	<0.056		
Fluoranthène	0.086	<4	■
Benzo (b) fluoranthène	<0.042	<2.5	■
Benzo (a) pyrène	<0.042	<1.5	■

Détail des PCB								
Congénères	28	52	101	118	138	153	180	Total des 7 PCB
Teneur en mg/kg de matière sèche	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.056

Eléments traces métalliques			
	Résultats (mg / kg MS)	Valeur limites (mg / kg MS)	Conformité
Arsenic (As)	1.9	<18	■
Cadmium (Cd)	0.3	<3	■
Chrome (Cr)	15.2	<120	■
Cuivre (Cu)	21.4	<300	■
Mercuré (Hg)	0.04	<2	■
Nickel (Ni)	7.2	<60	■
Plomb (Pb)	10.9	<180	■
Sélénium (Se)	<3.1	<12	■
Zinc (Zn)	267.4	<600	■

Inertes et impuretés			
	Résultats (% MS)	Valeur limites (% MS)	Conformité
Films + PSE > 5 mm	0.00	<0.3	■
Autres plastiques > 5 mm	0.53	<0.8	■
Verres + métaux > 2 mm	0.12	<2	■

Films + PSE : films plastiques souples majoritairement en polyéthylène. Le polystyrène expansé (PSE) et les mousses sont rattachées aux films car ils ont un impact visuel important.
Autres plastiques : matières plastiques synthétiques autres que les films, essentiellement les PE, PET, PVC, etc ...
Verres et métaux : verre vert, brun, blanc et verres spéciaux ainsi que les métaux ferreux, inox, aluminium.

Extrait des résultats d'analyse du compost avec PLA

2. Inertes

D'après les résultats, les deux lots de compost sont conformes à la norme NFU 44 051. Les rapports indiquent que les deux lots comportent le même pourcentage d'inertes plastiques >5mm.

Après avoir observé une valeur de concentration particulièrement élevée pour les cailloux calcaire >5mm dans le lot avec PLA, nous avons envisagé que c'était dans cette catégorie que se trouvaient les fragments de PLA.

Après vérification auprès d'Aurea, il s'avère que les fragments de PLA se comportent comme les cailloux calcaires lors de la séparation et de la caractérisation des inertes. Ainsi, il n'est pas possible de les inclure dans la catégorie des plastiques en suivant les

normes protocolaires d'analyse. **Les protocoles actuels ne sont donc pas assez sélectifs vis à vis du PLA.**

Il est aussi pertinent de se demander si le PLA est réellement à intégrer dans la catégorie des inertes ou bien à assimiler à la catégorie « autres plastiques ». Il est en effet compostable. Il reste actif, continuant naturellement sa décomposition à une vitesse dépendant des conditions d'humidité et de température. Or, les normes actuelles ont été formulées il y a plus d'une dizaine d'année, lorsque le terme plastique était sans équivoque synonyme de non bio-dégradabilité.

C. Influence sur le procédé

1. Temps supplémentaire

Dans le cadre de l'expérimentation, le broyage des bouteilles plastiques a été effectué dans le broyeur Voran, séparément de celui des biodéchets. Le Voran ne pouvant accommoder qu'un nombre limité de bouteilles, et 3 passages étant nécessaires, cette étape de broyage a demandé entre 1h30 et 2h.

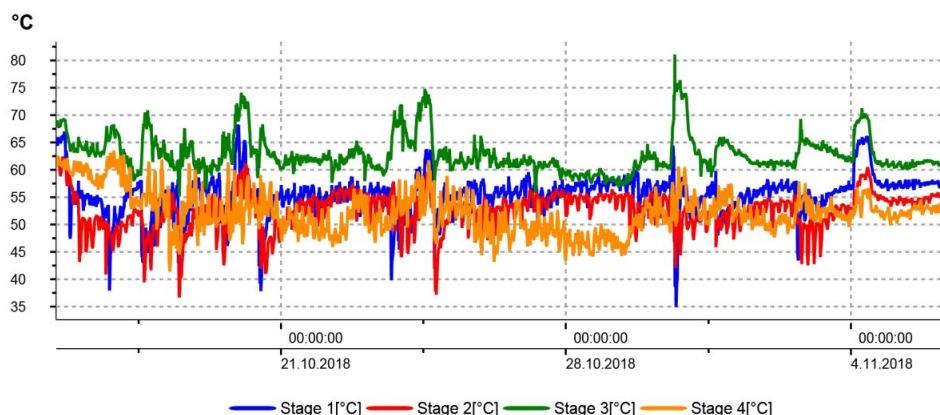
La période de maturation au site de La Caverne a été plus longue qu'initialement envisagé, passant ainsi de 4 semaines à 6 semaines. Il semble que cet allongement soit en partie dû à une moins bonne aération du compost au sein du composteur, causée par un manque de structurant. Nous rappelons en effet que nous avons admis que les paillettes de plastique aideraient à structurer la matière, et avons par conséquent réduit la quantité de copeaux de bois. Cela peut expliquer le temps de maturation plus long.

Les quelques morceaux de PLA présents dans le "refus de crible" sont réinjectés dans le composteur et subissent une deuxième hydrolyse, ce qui permet de dégrader le PLA entièrement.

2. Températures dans le composteur

Les températures au sein des composteurs ont été extraites sous forme de courbes donnant les températures en fonction du temps, échantillonnées par 4 sondes dans chaque composteur. Dans le composteur avec PLA, chaque sonde enregistre bien des pics de température supérieurs à 60°C, ce qui indique que l'ajout de PLA à 5% massique n'empêche pas l'hygiénisation du compost. Les moyennes de températures sont quant-à-elles supérieures à 50°C ce qui indique que les conditions pour amorcer la décomposition des paillettes de PLA sont réunies pendant la grande majorité du temps de résidence. Enfin on n'observe pas de différence notable entre les courbes des composteurs avec et sans PLA, confirmant que le PLA n'affecte pas le procédé de compostage dans le composteur électromécanique.

Nom de l'appareil: A900 Composter 1 La Caverne		06/11/2018 09:51:48	Page	1/1
Temps du démarrage: 15/10/2018 11:24:45		Minimum	Maximum	Moyenne
Temps de l'arrêt: 06/11/2018 09:49:45	Stage 1 [°C]	34,9	68,3	55,305
Canaux de mesure: 4	Stage 2 [°C]	36,7	62,4	52,735
Valeurs: 6330	Stage 3 [°C]	55,0	81,1	62,720
SN 40719117	Stage 4 [°C]	41,4	63,5	52,174
Machine 1				-195,0/1000,0



Courbes de température pour le composteur avec PLA du 15/10/18 au 6/11/18. Autres courbes à retrouver en annexe.

3. Matériel & Opérateur

L'étape de broyage abimerait très probablement les parois internes du Voran à long terme. On note que le cylindre s'échauffe lorsque des bouteilles ne parviennent pas à être broyées et restent coincées en rotation. Ces bouteilles laissent alors un dépôt blanc cireux contre les lames et les parois, et se déforment en devenant très rigides.

Le broyage produit aussi énormément de poussières dont les dépôts pourraient affecter la machinerie et provoquer une gêne pour l'opérateur, pour qui le port d'un masque en plus des lunettes et du casque de sécurité est vivement conseillé. Enfin le bruit lors de l'opération est assez important.



À gauche : Bouteille en PLA coincée ; À droite : Dépôt de poussière lors du broyage

VI. Discussion et recommandations

A. Changement de broyeur

Le broyage au Voran n'est pas une solution viable pour une implémentation commerciale. Les Alchimistes préconisent l'utilisation du broyeur sur le site de Lil'O. Ce broyeur de type industriel permet l'obtention de lamelles fines de PLA de taille homogène. Les pertes de matières sous forme de poussière seront donc inexistantes ou tout du moins non significatives avec ce type de broyeur.

B. Changement de composteur

Les Alchimistes considèrent que l'utilisation du composteur de Lil'O permettra d'améliorer la biodégradation des déchets en PLA grâce aux meilleures montées en températures obtenues dans le composteur et à l'effet de masse de la matière dans celui-ci.

C. Ajout de structurant

Les paillettes de PLA ne sont pas un bon structurant. Les Alchimistes préconisent de continuer à utiliser les mêmes proportions de structurant comme des copeaux de bois pour assurer une bonne oxygénation du compost.

D. Adaptation du temps de maturation

Il semble que pour assurer une biodégradation maximale des déchets en PLA il faille allonger le temps de maturation du compost de 4 à 6 semaines, ce qui pourrait occasionner un surcoût en termes de stockage. Celui-ci n'est pas calculé ici.

Références

- Ewa Rudnik, 'Compostable Polymer Materials: Definitions, Structures, and Methods of Preparation' ; in *Handbook of biopolymers and biodegradable plastics*, Sina Ebnesajjad (ed.), William Andrew, 2013
- Ewa Rudnik 'Biodegradability Testing of Compostable Polymer Materials' ; in *Handbook of biopolymers and biodegradable plastics*, Sina Ebnesajjad (ed.), William Andrew, 2013
- Thitisilp Kjchavengkul, Gaurav Kale, and Rafael Auras, 'Degradation of Biodegradable Polymers in Real and Simulated Composting Condition' ; in *Polymer Degradation and Performance*; Celina, M., et al.(eds.), ACS Symposium Series; American Chemical Society: Washington, DC, 2009
- Gaurav Kale, Rafael Auras* and Sher Paul Singh, Comparison of the Degradability of Poly(lactide) Packages in Composting and Ambient Exposure Conditions, *Packag. Technol. Sci.*, **2007**; 49–70
- Rapport d'expérimentation de Green Mountain Compost - *Cutlery compostability test* - September, 2013 – March, 2014

ANNEXES

- 1. Résultats des analyses NFU 44-051**
- 2. Courbes de température dans les composteurs pendant l'expérimentation**