

BIOPLASTIQUES BIODÉGRADABLES, COMPOSTABLES ET BIOSOURCÉS POUR
LES EMBALLAGES ALIMENTAIRES, DISTINCTIONS SUBTILES MAIS
SIGNIFICATIVES

Par
Richard Lapointe

Essai présenté au Centre Universitaire de Formation en Environnement en vue de
l'obtention du grade de maître en Environnement (M. Env.)

Sous la direction de Dr Islem Yezza

CENTRE UNIVERSITAIRE DE FORMATION EN ENVIRONNEMENT
UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Sherbrooke, Québec, Canada, 6 septembre 2012

SOMMAIRE

Mots clés : bioplastique, biodégradable, biosourcé, compostable, emballage alimentaire.

Les plastiques traditionnels d'origine fossile sont souvent critiqués, surtout pour des applications à courte durée de vie comme les emballages alimentaires. La quantité de matières résiduelles qu'ils génèrent, leur caractère non biodégradable et leur matière première d'origine fossile sont parmi les critiques formulées à leur égard.

Les bioplastiques connaissent un engouement depuis quelques années et ils sont présentés comme des solutions de rechange plus respectueuses de l'environnement. Ils sont souvent biodégradables et issus de ressources renouvelables, deux caractéristiques utilisées comme arguments promotionnels. Leur part de marché est cependant marginale et ils se heurtent à plusieurs problèmes. Analyser la situation actuelle quant à l'usage des bioplastiques pour l'emballage alimentaire est l'objectif principal de ce travail.

La terminologie utilisée dans le domaine des bioplastiques est complexe et mène à la confusion et à une mauvaise perception des consommateurs. Des propriétés souvent plus faibles, des coûts plus élevés, des solutions de traitement en fin de vie qui ne sont pas adaptées et une mauvaise image au niveau des pratiques agricoles sont les autres problématiques qui limitent l'essor des bioplastiques pour les emballages alimentaires. Les études de marché indiquent cependant une croissance soutenue de ces matériaux pour les prochaines années. Leurs fabricants tenteront d'exploiter leurs atouts, dont la possibilité de les composter et leur moins grande dépendance au pétrole.

Afin de mieux intégrer l'usage des bioplastiques sur le marché, une meilleure gestion des matières résiduelles est primordiale. La certification des emballages compostables est une des pistes de solution afin d'améliorer leur crédibilité auprès des consommateurs et des composteurs. Des campagnes de sensibilisation et d'éducation seront également des priorités. Les fabricants, les sociétés d'État et les municipalités devront unir leurs efforts afin de mieux informer le public.

REMERCIEMENTS

J'aimerais tout d'abord remercier mon directeur d'essai, Islem Yezza, pour ses rétroactions toujours rapides et constructives qui m'ont aiguillé tout au long de la réalisation de cet essai.

Je tiens également à remercier toutes les personnes qui ont généreusement accepté de répondre à mes questions par entretiens téléphoniques, par courriers électroniques ou lors de rencontres. Plus spécifiquement, je remercie Judith Vien du Centre universitaire de formation en environnement, Michel Lachance du Centre québécois de valorisation des biotechnologies, Hélène Gervais et Mariane Maltais Guilbault de Recyc-Québec, Taraneh Sépahsalari de la Régie de récupération de l'Estrie, Sylvain Allard du Bureau de normalisation du Québec, Francis Lepage de la Ville de Sherbrooke et Hélène Bernier de l'Université de Sherbrooke.

Je suis également reconnaissant envers mon entourage qui m'a appuyé et qui a facilité la conciliation du travail et des études durant les dernières années. Merci à mes parents pour leur accueil lors de mes cours à Sherbrooke et un merci tout spécial à ma conjointe Donna qui m'a soutenu tout au long de la démarche par sa patience, ses encouragements et sa compréhension.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	1
1 MISE EN CONTEXTE.....	4
2 TERMINOLOGIE DES BIOPLASTIQUES BIODÉGRADABLES, COMPOSTABLES ET BIOSOURCÉS	9
2.1 BIOPLASTIQUES.....	9
2.2 BIOPLASTIQUES BIODÉGRADABLES	11
2.3 BIOPLASTIQUES COMPOSTABLES.....	13
2.4 BIOPLASTIQUES BIOSOURCÉS	14
3 CERTIFICATION DES BIOPLASTIQUES.....	16
3.1 PRINCIPAUX STANDARDS.....	16
3.2 PROCESSUS DE CERTIFICATION ET LOGOS POUR LES PRODUITS ET EMBALLAGES COMPOSTABLES	17
3.3 AUTODÉCLARATION ENVIRONNEMENTALE	21
3.4 AUTRES LOGOS DE CERTIFICATION POUR LES PRODUITS ET EMBALLAGES BIOSOURCÉS	22
4 LES BIOPLASTIQUES POUR L'EMBALLAGE ALIMENTAIRE.....	23
4.1 CLASSIFICATION DES BIOPLASTIQUES	23
4.2 EXEMPLES D'EMBALLAGES ALIMENTAIRES FABRIQUÉS AVEC DES BIOPLASTIQUES	24
4.2.1 <i>Bioplastiques naturels issus directement de la biomasse.....</i>	<i>25</i>
4.2.2 <i>Bioplastiques issus des microorganismes par fermentation microbienne.....</i>	<i>27</i>
4.2.3 <i>Bioplastiques obtenus par synthèse à partir de monomères renouvelables</i>	<i>28</i>
4.2.4 <i>Bioplastiques pétrochimiques biodégradables.....</i>	<i>31</i>
4.3 INNOVATIONS.....	32
5 PERCEPTION ET CONFUSION DES CONSOMMATEURS.....	34
6 PERFORMANCE ENVIRONNEMENTALE DES EMBALLAGES ALIMENTAIRES EN BIOPLASTIQUE	39
6.1 LA PERFORMANCE ENVIRONNEMENTALE PAR L'ANALYSE DU CYCLE DE VIE	39
6.2 DEUX EXEMPLES D'ACV TRAITANT DES EMBALLAGES ALIMENTAIRES À BASE DE BIOPLASTIQUE	41
6.2.1 <i>PLA Ingeo de NatureWorks comparé au PET pour des contenants alimentaires</i>	<i>42</i>
6.2.2 <i>Comparatif de différentes barquettes fabriquées par Cascades</i>	<i>45</i>
6.2.3 <i>Analyse et interprétation des résultats.....</i>	<i>48</i>
7 ANALYSE CRITIQUE SUR L'AVENIR DES BIOPLASTIQUES ET RECOMMANDATIONS	51

7.1	CONTRAINTES QUI LIMITENT L'ESSOR DES BIOPLASTIQUES.....	51
7.2	FACTEURS FAVORISANT LA CROISSANCE DU MARCHÉ OCCUPÉ PAR LES BIOPLASTIQUES	54
7.3	RECOMMANDATIONS	56
7.3.1	<i>Sensibilisation et éducation</i>	56
7.3.2	<i>La réduction à la source</i>	57
7.3.3	<i>Développement de marchés de niche</i>	59
7.3.4	<i>Certifications et attestations derrière les allégations environnementales</i>	59
7.3.5	<i>Matières premières qui n'entrent pas en concurrence avec les produits alimentaires</i>	60
	CONCLUSION	61
	RÉFÉRENCES	63
	ANNEXE 1 - LES PRINCIPALES RÉSINES, LEURS UTILISATIONS COURANTES ET LES PRODUITS À CONTENU RECYCLÉ	75
	ANNEXE 2 - FRONTIÈRES DU SYSTÈME DU CYCLE DE VIE DES EMBALLAGES	77
	ANNEXE 3 – IMPACTS DES BOUTEILLES DE PLA SUR LE RECYCLAGE DU PET	79

LISTE DES FIGURES

Figure 2.1 Matrice des bioplastiques.....	10
Figure 2.2 Schéma simplifié du processus de biodégradation d'un bioplastique.	12
Figure 2.3 Cycle du carbone.....	15
Figure 3.1 Processus de certification simplifié pour les emballages compostables.	18
Figure 4.1 Classification des bioplastiques.	24
Figure 4.2 Applications du Mater-Bi de Novamont.	26
Figure 4.3 Emballages alimentaires thermoformés avec les bioplastiques de Metabolix....	28
Figure 4.4 Emballages de fruits et légumes avec l'Écoflex de BASF.....	31
Figure 5.1 PlantBottle® de Coca-Cola (à gauche) et emballage à sandwich de PLA (à droite).	35
Figure 5.2 Minéralisation du PLA Ingeo de NatureWorks.	36
Figure 5.3 Bouteille au PLA soumise à un test de compostage (à $58 \pm 5^{\circ}\text{C}$ et à $60 \pm 5\%$ HR).	37
Figure 6.1 Portée de l'analyse du cycle de vie.....	39
Figure 6.2 Emballage étudié lors de l'ACV comparant le PLA de NatureWorks.	42
Figure 6.3 Impacts environnementaux des scénarios se déroulant aux États-Unis.	44
Figure 6.4 Barquettes étudiées lors de l'ACV des produits de Cascades.	46
Figure 7.1 Point critique des emballages.....	58

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 3.1 Principaux standards pour les bioplastiques aptes à être récupérés par compostage.	16
Tableau 3.2 Logos accessibles pour les emballages compostables (compostabilité industrielle ou municipale).	19
Tableau 3.3 Logos d'AIB Vinçotte pour des produits biodégradables ou pour des installations de compostage domestique.....	20
Tableau 3.4 Logos pour des produits et emballages biosourcés.....	22
Tableau 4.1 Bioplastiques extraits de la biomasse.	25

Tableau 6.1 Applications de l'analyse du cycle de vie.	40
Tableau 6.2 Comparaison de la performance environnementale du PLA versus le PET.....	45
Tableau 6.3 Différents scénarios étudiés lors de l'ACV des produits de Cascades.	47
Tableau 6.4 Impact environnemental relatif des contenants.	47

LISTE DES ACRONYMES, DES SYMBOLES ET DES SIGLES

ACV	Analyse environnementale du cycle de vie
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
BioPE	Biopolyéthylène
BioPET	Biopolyéthylène téréphtalate
BioPP	Biopolypropylène
BNQ	Bureau de normalisation du Québec
BPI	<i>Biodegradable Products Institute</i>
CIRAIG	Centre interuniversitaire de recherche sur le cycle de vie des produits, procédés et services
CO ₂	Dioxyde de carbone
ÉEQ	Éco Entreprises Québec
É.-U.	États-Unis
HDPE	Polyéthylène à haute densité (<i>High Density Polyethylene</i>)
HR	Humidité relative
IFEU	<i>Institute for Energy and Environmental Research</i>
ISO	Organisation internationale de normalisation
LDPE	Polyéthylène à basse densité (<i>Low Density Polyethylene</i>)
LET	Lieu d'enfouissement technique
MDDEP	Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs
PA	Polyamide
PBAT	Polybutylène adipate téréphtalate
PBS	Polybutylène succinate
PCL	Polycaprolactone
PE	Polyéthylène
PET	Polyéthylène téréphtalate
PHA	Polyhydroxyalcanoate
PHB	Polyhydroxybutyrate
PHBV	Polyhydroxybutyrate-valérate
PLA	Acide polylactique

PP	Polypropylène
PS	Polystyrène
PTT	Polytriméthylène téréphtalate
TPS	<i>ThermoPlastic Starch</i>

INTRODUCTION

Les emballages des produits alimentaires ont des fonctions essentielles en stockant, en protégeant et en préservant les aliments qu'ils renferment de la fabrication jusqu'à leur utilisation finale par les consommateurs. Dans un contexte où la gestion des matières résiduelles est un enjeu majeur, les consommateurs ont par contre des préoccupations environnementales grandissantes envers certaines pratiques actuelles. Une des pratiques ainsi questionnées est l'usage du plastique qui est très répandu dans la conception des emballages et qui est souvent favorisé par les manufacturiers à cause de sa légèreté et sa résistance. Les consommateurs sont notamment concernés par sa persistance dans l'environnement dû à son temps de décomposition de 100 à 400 ans (Zins Beauséne et associés, 2008), ses ressources d'origine fossile non renouvelables ainsi que la quantité de déchets qui lui est attribuée. Au Québec, 209 000 tonnes métriques de plastique ont été générées en 2008 (Recyc-Québec, 2009). La présence de matières plastiques dispersées dans la nature associée à leur persistance dans l'environnement occasionne des impacts sur les écosystèmes terrestres et marins (Allsopp *et al.*, 2006).

En réponse à ces nombreuses préoccupations environnementales et dans un souci d'image, de nombreux fabricants proposent depuis quelques années des emballages qu'ils présentent comme étant plus respectueux de l'environnement. L'essai portera sur les emballages fabriqués avec des bioplastiques biodégradables, compostables et biosourcés qui sont des exemples de matériaux ainsi mis de l'avant par l'industrie et qui sont en forte croissance depuis ces dernières années. Les bioplastiques proviennent en grande majorité de ressources renouvelables et plusieurs d'entre eux se biodégradent, deux caractéristiques utilisées comme arguments promotionnels d'un point de vue environnemental. Pour les bioplastiques qui utilisent des ressources renouvelables, par exemple le maïs ou la canne à sucre, une moins grande dépendance au pétrole comparativement aux plastiques traditionnels est un avantage important pour les fabricants en terme d'approvisionnement et de stabilité des coûts de la matière première.

L'engouement actuel pour les bioplastiques conduit cependant à d'importantes problématiques. Les termes bioplastique, biodégradable, compostable et biosourcé amènent une confusion auprès des consommateurs qui ont souvent de la difficulté à les différencier et à cerner leurs significations et leurs bénéfices environnementaux réels. L'uniformisation des termes est également problématique dans l'industrie et parmi les experts du domaine eux-mêmes et les opinions divergent quant aux performances environnementales des bioplastiques. C'est en prenant en considération cette disparité que l'essai sera rédigé. Son objectif principal sera d'analyser l'usage actuel des bioplastiques biodégradables, compostables et biosourcés pour les emballages alimentaires. Ultimement, l'essai aidera le lecteur à prendre conscience des impacts de ses choix lorsqu'il se procure des emballages conçus avec les bioplastiques traités dans ce travail.

Les objectifs secondaires suivants viendront soutenir l'atteinte de l'objectif principal : définir les bioplastiques biodégradables, compostables et biosourcés; présenter les diverses certifications qui leur sont applicables; présenter le marché des bioplastiques dans le domaine précis de l'emballage alimentaire; examiner la perception et la connaissance de la population envers ces matériaux; analyser leurs performances environnementales et finalement, analyser les contraintes et les facteurs de succès liés à l'essor des bioplastiques biodégradables, compostables et biosourcés.

L'essai est divisé en sept chapitres. Les quatre premiers chapitres sont essentiels à une bonne compréhension du sujet de l'essai par le lecteur et servent d'assises pour les chapitres subséquents. Suite à la mise en contexte présentée au premier chapitre, la terminologie relative aux trois matériaux que sont les bioplastiques biodégradables, compostables et biosourcés est expliquée au deuxième chapitre. Cette section est particulièrement importante à cause de la confusion qui règne présentement au niveau de l'utilisation des termes. Les chapitres trois et quatre complètent le portrait des pratiques actuelles en présentant les divers programmes de certification ainsi que l'utilisation des bioplastiques dans le domaine précis de l'emballage alimentaire.

Les trois derniers chapitres permettent de poser un diagnostic sur l'usage actuel des bioplastiques pour l'emballage alimentaire. La perception et la confusion des consommateurs sont examinées au chapitre cinq et les performances environnementales des bioplastiques sont ensuite analysées au chapitre six à l'aide d'analyses du cycle de vie (ACV) récentes. Un jugement critique est finalement porté sur l'avenir des bioplastiques au chapitre sept en incluant des recommandations pour une meilleure intégration de ces matériaux sur le marché québécois de l'emballage alimentaire. Des critères tels que les coûts, la gestion en fin de vie des produits, les performances physiques et barrières, les procédés de fabrication, la compréhension de la terminologie par la population et les marchés potentiels sont pris en considération lors de l'analyse critique sur l'avenir des bioplastiques.

Afin d'assurer un travail de rédaction de qualité, une attention particulière a été apportée à l'évaluation des sources documentaires. La fiabilité des sources a été vérifiée avec un ou plusieurs des moyens suivants : le document provient d'un éditeur ou d'une publication largement reconnu dans le milieu scientifique, la crédibilité des auteurs a été vérifiée, l'information a été comparée dans deux ou trois sources différentes et la source a été soumise au directeur d'essai pour approbation en cas de doute sur sa fiabilité. La formation générale ou l'expérience professionnelle ont servi de balises pour vérifier la crédibilité des auteurs.

1 MISE EN CONTEXTE

Les plastiques d'origine végétale ne sont pas des matériaux récents, il y a 135 ans les premières boules de billard et touches de piano en plastique étaient fabriquées avec du nitrate de cellulose provenant de matière ligneuse (Mulot, 2007). L'acétate de cellulose ou la rayonne servait également pour la fabrication des vêtements dans les années 1930 (Huneault, 2011). Durant les années qui suivirent ces premiers bioplastiques, les plastiques traditionnels issus de la pétrochimie ont pris largement le dessus dû à leur polyvalence, leur résistance, leur durabilité et leur légèreté (Gervais, 2010). Ils remplacent graduellement des matériaux tels que le bois, le métal ou le verre grâce aux nombreux avantages qu'on leur reconnaît (*ibid.*). Ils servent à fabriquer des objets devenus omniprésents dans nos vies, dont les emballages alimentaires. Puisque la majorité de ces derniers sont conçus pour usage unique et dû à leur procédé de fabrication, ils conduisent cependant à des impacts environnementaux, sociaux et économiques importants.

Au niveau des impacts environnementaux, la gestion de la grande quantité de matières résiduelles provenant des emballages fabriqués en plastique traditionnel est devenue une préoccupation. Aux États-Unis, en 2010, les plastiques représentaient 31 millions de tonnes ou 12.4 % de tous les déchets municipaux totaux générés (EPA, 2011). La majeure partie de ces déchets de plastique provenaient des emballages et contenants qui comptaient pour 13.7 millions de tonnes. Seulement 13.5 % de ces derniers ont été revalorisés par recyclage ou compostage en 2010 (*ibid.*). Pour la même année, *la caractérisation des matières résiduelles du secteur résidentiel au Québec* indiquait que 32.6 % des matières plastiques avaient été récupérées par les ménages québécois par la collecte sélective municipale (Recyc-Québec et Éco Entreprises Québec, 2010). La plupart des catégories de matières plastiques comptabilisées étaient en lien avec les emballages alimentaires. L'étude a démontré une augmentation du taux de récupération de 6 % comparativement à l'étude de caractérisation de 2006-2007 (*ibid.*). Malgré cette amélioration notable, le potentiel de valorisation des matières plastiques éliminées dans les lieux d'enfouissement technique (LET) est encore très élevé. D'autre part, les plastiques d'origine fossile ont aussi une mauvaise réputation environnementale en ce qui a trait à leur procédé de fabrication. Des

critiques sont notamment formulées à l'égard des émissions de gaz à effet de serre générées par le secteur en amont de l'industrie pétrolière qui comprend les activités de forage et de production brute (Environnement Canada, 2010). Les propriétés de stabilité et de résistance à la dégradation qui rendent les plastiques traditionnels si utiles pour de nombreux usages représentent par ailleurs un problème lors de la disposition des produits (Allsopp *et al.*, 2006). Les plastiques comptent pour 60 à 80 % des débris marins présents dans tous les océans du monde. Ils causent des blessures ou la mort de nombreux oiseaux et animaux marins qui s'enchevêtrent dans ceux-ci ou bien qui les ingèrent en croyant qu'il s'agit de proies. Au moins 267 espèces différentes auraient ingéré des débris marins ou se seraient enchevêtrées dans ceux-ci (*ibid.*). Les usagers et vacanciers des côtes et des plages qui laissent derrière eux des déchets d'emballages alimentaires fabriqués en plastique sont une des causes de la présence de ces débris marins selon Greenpeace. Les matières plastiques de faibles densités atteignent également les océans à partir des régions urbaines situées à l'intérieur des terres par les réseaux pluviaux qui s'écoulent dans les rivières et les mers (*ibid.*).

Au niveau des impacts économiques, le prix des emballages alimentaires fabriqués en plastique d'origine fossile est fortement influencé par le coût de la matière première, le pétrole. Les grandes fluctuations de son prix qui ont été observées au cours des dernières années ont un impact direct sur le coût des biens issus de ce matériau et doivent inévitablement être assumées par les consommateurs. Quelques chiffres démontrent ces grandes fluctuations : en prenant en considération l'inflation, le prix du baril de pétrole à New York était de 34.65 \$ en 2000 et il atteignait 95 \$ en 2011 (Horvath, 2011). Le caractère non renouvelable du pétrole aura des impacts sur sa disponibilité à long terme et influencera nécessairement le prix des matériaux issus de celui-ci. Toujours d'un point de vue économique, la *Loi sur la qualité de l'environnement* impose aux entreprises et organisations qui mettent sur le marché québécois des contenants, emballages et imprimés de compenser pour les coûts nets des services municipaux de collecte sélective (ÉEQ, 2012c). Par exemple, pour les contenants en polyéthylène téréphtalate (PET), les entreprises doivent verser presque 0.30 \$ par kilogramme de matière mise en marché en 2011 (ÉEQ, 2012e).

L'utilisation d'emballages fabriqués avec les plastiques traditionnels occasionne également des impacts sociaux. Le changement de comportement des consommateurs vis-à-vis les sacs d'emplettes qui a été observé au cours des dernières années est un exemple de ce genre d'impacts. Le 23 juillet dernier, le ministre du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs dévoilait les résultats d'une étude qui indique que les Québécois ont réduit leur utilisation de sacs d'emplettes à usage unique de 52 % entre 2007 et 2010 (ÉÉQ, 2012d). En 2008, le gouvernement avait lancé un objectif à l'industrie de réduire de 50 % d'ici 2012 le nombre de sacs d'emplettes à usage unique utilisés par les consommateurs (*ibid.*). Les résultats obtenus sont le reflet du changement de comportement de la population qui a été grandement influencé par les campagnes de sensibilisation et les mesures des détaillants. Les frais maintenant exigés dans certains magasins à grande surface afin de se procurer des sacs d'emplettes à usage unique font partie de ces mesures. L'utilisation de sacs réutilisables est maintenant bien ancrée dans le quotidien de plusieurs ménages québécois. En 2007, une caractérisation démontrait que le tonnage des sacs en plastique représentait seulement 2 % de toutes les matières résiduelles générées au Québec par le secteur résidentiel (Recyc-Québec, 2007). Les gains environnementaux obtenus par la réduction des sacs d'emplettes à usage unique sont biens, mais des efforts concernant certains autres types de matières résiduelles qui ont un poids plus élevé devraient être intensifiés. Par exemple, les matières organiques représentent 44 % de toutes les matières résiduelles générées au Québec par le secteur résidentiel (Taillefer, 2010). La proportion de matières putrescibles qui se retrouvent dans les sites d'enfouissement entraîne deux principaux problèmes environnementaux : l'acidification du milieu et la génération de biogaz (*ibid.*). Les plastiques traditionnels ne favorisent pas toujours les habitudes de compostage qui est un moyen de détourner les matières organiques de l'enfouissement. Les résidus alimentaires sont parfois difficilement dissociables de l'emballage et il est souvent plus simple pour les consommateurs de disposer des contenants sans avoir préalablement composté les aliments qu'ils renferment.

Afin d'atténuer ou éliminer certains des impacts environnementaux et socio-économiques reliés à l'utilisation des plastiques traditionnels, les bioplastiques ont fait l'objet d'un

engouement renouvelé au cours des deux dernières décennies (Yu, 2009). Une moins grande dépendance aux hydrocarbures est l'un des avantages économiques à long terme mis de l'avant afin de promouvoir l'usage des emballages conçus avec des bioplastiques, car ils sont issus dans la majorité des cas de ressources renouvelables. D'un point de vue environnemental, leurs fabricants affirment que leurs procédés de fabrication génèrent moins d'émissions de gaz à effet de serre. Les bioplastiques sont aussi souvent biodégradables et cette caractéristique est mise en évidence afin de contrer certains des impacts environnementaux et sociaux générés par les plastiques traditionnels. D'un point de vue social, les bioplastiques ont le potentiel de faciliter les habitudes de compostage dû à la possibilité de composter les contenants ou les sacs à usage unique directement avec les matières organiques.

Malgré le potentiel des bioplastiques et les projections initiales qui prédisaient qu'ils accapareraient jusqu'à 20 % du marché, leur utilisation est encore très marginale et ils ne représentent que de 1 à 2 % du marché total du plastique (Timm, 2012). Les raisons suivantes sont parmi celles qui expliquent cette faible popularité selon les experts du milieu (*ibid.*) :

- Les performances des bioplastiques ne satisfont pas les attentes des consommateurs;
- Les délais d'intégration au marché sont irréalistes. Plusieurs des fabricants de bioplastiques sont relativement nouveaux dans l'industrie comparativement aux fabricants de plastiques traditionnels;
- Un appui doit être apporté aux efforts de marketing. Cet appui supplémentaire devrait provenir d'équipes plus substantielles pour les ventes, le service technique et le développement de marchés;
- Un manque d'information qui mine les ventes. Le manque d'information et de connaissance est généralisé aux transformateurs, aux propriétaires de marques et aux consommateurs.

Les plastiques traditionnels d'origine fossile comptent sur un marché bien établi et sur des techniques de production éprouvées et améliorées au fil du temps. En contrepartie, l'industrie des bioplastiques n'a pas la même expérience au niveau de l'utilisation des

matériaux développés récemment, des techniques de fabrication et du développement de marchés. Ce sont des raisons qui expliquent les faibles ventes réalisées par les bioplastiques jusqu'à présent en plus de la confusion des consommateurs au niveau de la terminologie.

2 TERMINOLOGIE DES BIOPLASTIQUES BIODÉGRADABLES, COMPOSTABLES ET BIOSOURCÉS

Ce chapitre définit et permet de distinguer les termes bioplastique, biodégradable, compostable et biosourcé. Différentes définitions provenant de normes, d'organismes et du milieu scientifique sont également présentées afin d'illustrer l'usage actuel des termes.

2.1 Bioplastiques

L'examen de l'utilisation du terme bioplastique au cours des dernières années permet de constater que son emploi n'est pas uniforme. Le même constat a été fait par la revue *Sciences et Avenir* qui définit les bioplastiques comme étant : « *un néologisme formé de toutes pièces par les industriels et qui recouvre des plastiques à la composition et à l'intérêt écologique très variables* » (Mulot, 2007, p. 9).

Plusieurs exemples illustrent cette disparité. L'emploi du terme dans des ouvrages scientifiques réfère parfois aux polymères biodégradables (Smith, 2005) et à certains moments, il réfère plutôt aux polymères biodégradables et biosourcés (Yu, 2009). Le *Sustainable Biomaterials Collaborative* (SBC) qui est une organisation américaine qui promeut l'utilisation des produits biosourcés, définit par ailleurs les bioplastiques comme étant des plastiques dérivés à 100 % de carbone provenant de l'agriculture, des forêts ou d'autres sources renouvelables (SBC, 2012a).

La définition plutôt proposée et retenue pour ce travail est plus large que les exemples donnés précédemment et suit la tendance actuelle dans l'industrie. Le terme bioplastique est utilisé pour désigner deux réalités distinctes : l'origine de la ressource (biosourcé) et la gestion de la fin de vie (biodégradable et compostable). Il englobe donc les plastiques des trois catégories suivantes qui sont représentées à la figure 2.1:

- Biodégradables et issus de ressources renouvelables;
- Biodégradables et issus de ressources non renouvelables (origine fossile);
- Non biodégradables et issus de ressources renouvelables.

Plusieurs exemples provenant d'organisations importantes et renommées viennent confirmer cette propension dans l'usage du terme. L'*European Bioplastics* qui défend les intérêts de l'industrie des bioplastiques en Europe et Metabolix, un important fabricant de bioplastiques, ont adopté cette définition (European Bioplastics, 2011) (Metabolix, 2012b). Il en est de même pour Smithers Pira, un important groupe de consultants, qui a défini les bioplastiques de la même manière dans une étude de marché récente (Pierce, 2011).

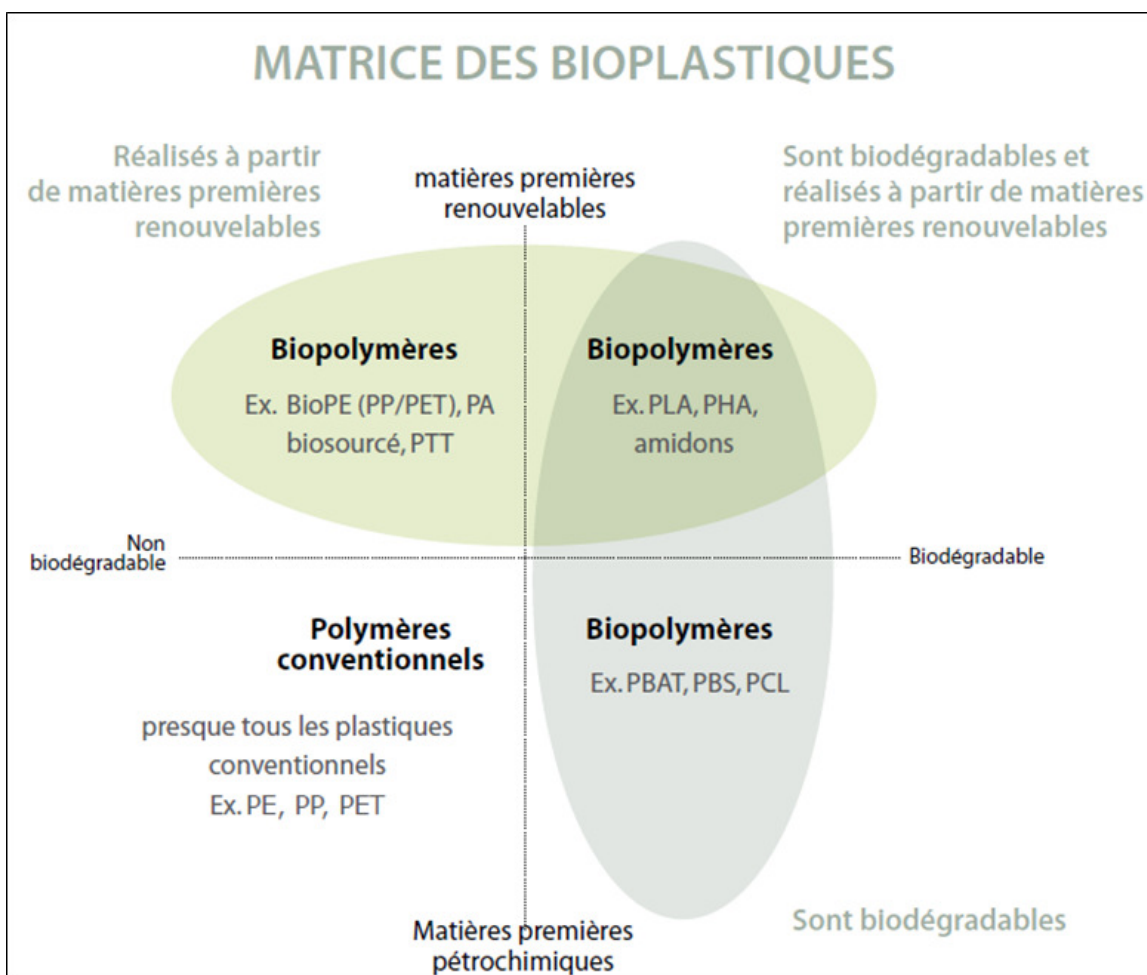


Figure 2.1 Matrice des bioplastiques.

(Tiré de preventpack, 2012, p.1)

En terminant, plusieurs bioplastiques de la figure 2.1 sont utilisés pour l'emballage alimentaire et seront présentés au chapitre 4.

2.2 Bioplastiques biodégradables

La biodégradabilité des plastiques est définie par des standards et l'utilisation du terme est donc bien encadrée. Selon la norme ASTM D6400, un plastique biodégradable :

« Se dit d'un plastique dégradé dont la dégradation résulte de l'action de microorganismes naturellement présents dans le milieu tels que les bactéries, les mycètes ou les algues » (ASTM, 2012, p. 2).

Lorsque le processus se déroule en présence d'oxygène, les résidus de cette biodégradation sont du gaz carbonique, de l'eau, des composés inorganiques et de la biomasse (Recyc-Québec, 2007). Un point important à retenir est que le terme biodégradable est en lien avec la gestion de fin de vie du bioplastique.

Il y a plusieurs mécanismes de dégradation, mais les bioplastiques biodégradables se dégradent généralement en deux phases présentées à la figure 2.2 et énumérées ci-dessous (Smith, 2005) :

- La dégradation primaire où les chaînes moléculaires se scindent en plus petits fragments par hydrolyse ou oxydation;
- La biodégradation ultime ou l'assimilation par les microorganismes.

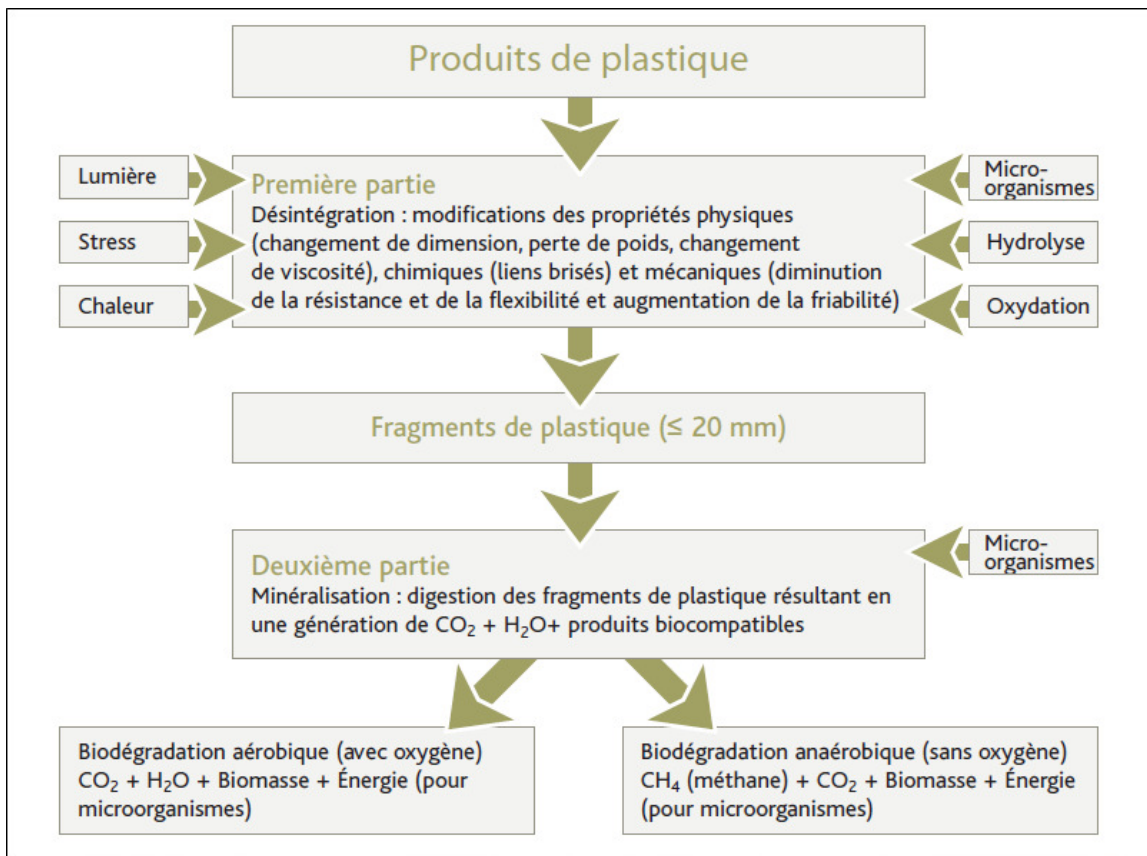


Figure 2.2 Schéma simplifié du processus de biodégradation d'un bioplastique.
(Tiré de Recyc-Québec, 2007, p.8)

La biodégradation d'un bioplastique dépend de facteurs environnementaux spécifiques (température, humidité, oxygène, ph) et de la structure chimique même du polymère (Kale *et al.*, 2007). Sa dégradation biologique peut donc être excessivement lente si les conditions du milieu ne sont pas optimales. Les variables temps et environnement sont d'une importance majeure et sont prises en considération lorsqu'on fait référence à la compostabilité qui est définie à la section 2.3.

Enfin, il faut rappeler que la dégradation des bioplastiques biodégradables est une dégradation biologique par les microorganismes. Cette dégradation est différente de celle qui s'applique aux plastiques de type « oxo-dégradables » ou « oxo-biodégradables ». Ces produits sont des plastiques traditionnels auxquels on a ajouté des additifs qui contiennent des métaux de transition tels le cobalt, le manganèse ou le fer. Ces additifs provoquent la fragmentation des plastiques par oxydation chimique générant des résidus invisibles à l'œil

nu (European Bioplastics, 2009). La biodégradation ultime ou l'assimilation de ces fragments par les microorganismes, représentée par la deuxième phase de la figure 2.2, n'a pas été démontrée (European Bioplastics, 2009) (Milot, 2007). Il y a ainsi un risque substantiel d'accumulation de substances persistantes dans l'environnement. Contrairement à ce phénomène d'« oxo-dégradation », la biodégradation ne laisse quant à elle aucun résidu et conduit à la disparation complète des fragments du matériau qui sont digérés par les microorganismes.

2.3 Bioplastiques compostables

La compostabilité des plastiques est aussi définie par des standards. Selon la norme ASTM D6400, un plastique compostable :

« Se dit d'un plastique qui subit une dégradation par un processus biologique pendant le compostage, produisant du CO₂, de l'eau, des composés inorganiques et de la biomasse à un rythme comparable à celui d'autres matières compostables connues, et ne générant aucun résidu toxique, visible ou reconnaissable » (Recyc-Québec, 2005, p. 4).

Le facteur temps contrairement à la notion de biodégradation est pris en considération. Un bioplastique biodégradable n'est donc pas nécessairement toujours compostable. Un bioplastique compostable est par contre toujours biodégradable! Plusieurs programmes de certification décrits au chapitre 3 existent afin de certifier et d'identifier un bioplastique comme étant compostable. Par exemple, les caractéristiques qu'un matériau doit présenter pour être compostable sont les suivantes selon la norme européenne *EN 13432 Exigences relatives aux emballages valorisables par compostage et biodégradation* (Kale et al., 2007) :

- La composition : la norme fixe la composition en matière organique (au moins 50 %) et la concentration maximum pour 11 métaux lourds (Zinc, Cuivre, Nickel, Cadmium, Sélénium, Fer, Plomb, Mercure, Chrome, Molybdène, Arsenic);
- La biodégradation des matériaux dans un délai déterminé : le seuil acceptable de biodégradabilité est de 90 % sur une période maximale de 6 mois;
- La désintégration ou l'aptitude du matériau à se fragmenter (absence de pollution visuelle) : la désintégration est évaluée par compostage en essai pilote. La masse de

fragments retenus sur un tamis de 2 mm ne doit pas dépasser les 10 % de la masse initiale du matériau après 12 semaines;

- La qualité du compost : cette dernière caractéristique est évaluée par la mesure des paramètres physico-chimiques (masse volumique, teneur en solides, teneur en matières volatiles, teneur en sels, pH...) et des tests d'écotoxicité.

Finalement, tout comme le terme biodégradable, le terme compostable est en lien avec la gestion de fin de vie du bioplastique.

2.4 Bioplastiques biosourcés

L'usage du terme biosourcé dans le milieu scientifique et dans l'industrie est assez uniforme. La définition de « bioplastique biosourcé » qui englobe la majorité des emplois actuels du terme et qui est utilisée dans ce travail est : bioplastique issu entièrement ou en grande partie de ressources renouvelables.

Cette définition est similaire à celle de l'*European Bioplastics* qui associe le terme biosourcé à une proportion significative de carbone dans le bioplastique qui provient de ressources renouvelables (European Bioplastics, s. d.). Le *US Department of Agriculture* définit quant à lui les plastiques biosourcés comme des biens commerciaux ou industriels (autres que les denrées alimentaires et les aliments pour animaux) composés en tout ou en grande partie de produits biologiques, de produits forestiers ou de ressources agricoles intérieures et renouvelables, incluant les plantes, les animaux ou les produits marins (Álvarez-Chávez *et al.*, 2012). Finalement, la norme ASTM définit un matériau biosourcé comme étant un matériau qui contient des composés carbonés dont le carbone provient de sources biologiques contemporaines (non-fossiles) (ASTM, 2004).

Contrairement aux termes biodégradable et compostable qui font référence à la gestion de fin de vie, le terme biosourcé est plutôt en lien avec l'origine de la ressource du bioplastique.

Un des arguments promotionnels reliés aux bioplastiques biosourcés est la maîtrise des émissions de dioxyde de carbone (CO_2). Contrairement au carbone fossile, le cycle du carbone « jeune » ou « contemporain » présent dans les bioplastiques biosourcés est court. Ce cycle est représenté par la figure 2.3. Le CO_2 qui est libéré en fin de vie du bioplastique par incinération ou en se biodégradant correspond au CO_2 qui a été absorbé par les végétaux dont ce biomatériau est issu (AIB Vinçotte, 2012d).

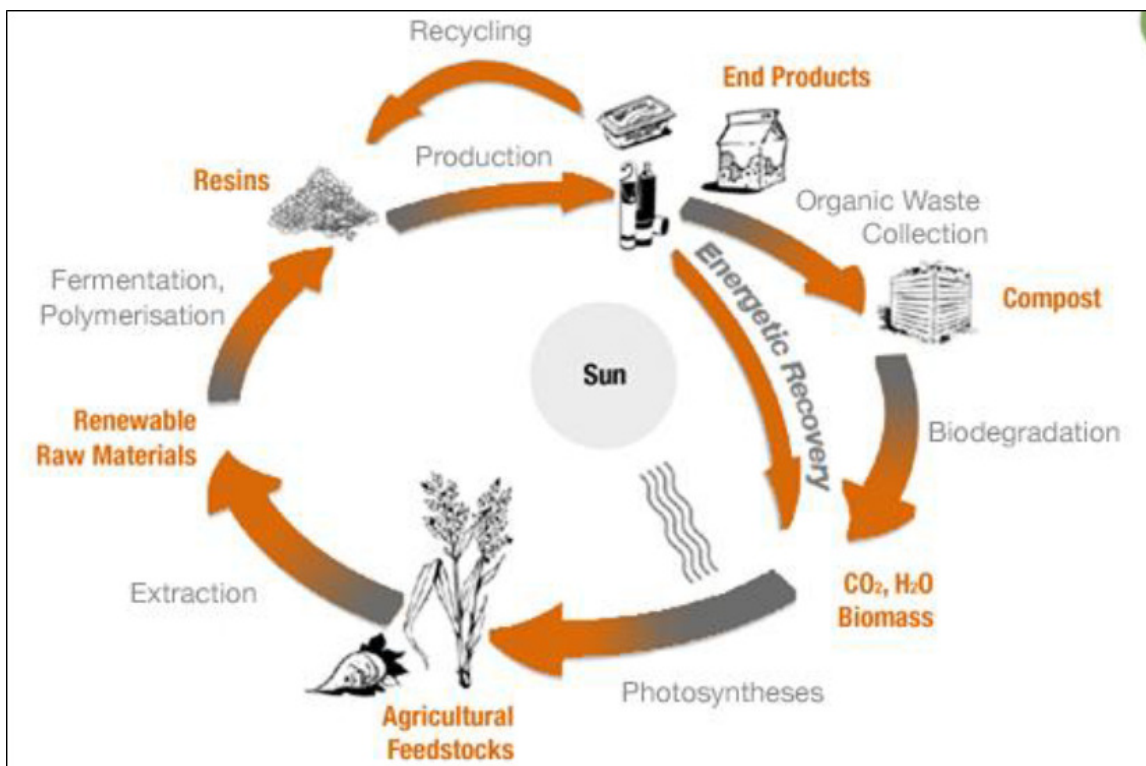


Figure 2.3 Cycle du carbone.
(Tiré de Yezza, 2012a, p.3)

3 CERTIFICATION DES BIOPLASTIQUES

Les processus de certification et les logos sont bénéfiques en donnant de la crédibilité aux diverses allégations des fabricants. Ils servent également à renseigner les clients rapidement et clairement sur par exemple, une des caractéristiques environnementales des produits qu'ils se procurent. Ce chapitre définit les nombreux standards, processus de certification et logos qui sont actuellement accessibles dans l'industrie des bioplastiques. Il faut préciser que seulement les standards utilisés majoritairement en Amérique du Nord et en Europe ont été couverts. Les normes *GreenPla* du Japon et l'*AS 4736-2006* de l'Australie ne sont pas présentées dans ce travail.

3.1 Principaux standards

Les standards présentés au tableau 3.1 spécifient les critères d'évaluation et les exigences relatifs à l'identification des bioplastiques qui sont aptes à être récupérés par compostage. Ils font référence à un compostage qui a lieu dans des installations industrielles ou municipales selon un procédé de traitement contrôlé et aérobique, c'est-à-dire qui se déroule en présence d'oxygène. Tous les standards contiennent des exigences sur la biodégradation, la désintégration et la qualité du compost.

Tableau 3.1 Principaux standards pour les bioplastiques aptes à être récupérés par compostage.

Organismes émetteurs	Standards	Notes utiles
Bureau de normalisation du Québec (BNQ)	Programme de certification <i>CAN/BNQ/ISO 0017-088 Plastiques compostables</i> (BNQ, 2010).	<ul style="list-style-type: none"> • Remplace le programme de certification <i>BNQ 9011-911 Sacs en plastique compostables</i> qui prendra fin le 31 décembre 2012 (BNQ, 2011). • Avec le nouveau programme, tous les plastiques et les matériaux d'origine naturelle peuvent être certifiés (Allard, 2012). • Le programme est basé sur la norme internationale ISO 17088. Seulement quelques détails au niveau de l'identification diffèrent (Allard, 2012).
American Society	<i>ASTM D6400-12</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Méthode équivalente à la norme

Organismes émetteurs	Standards	Notes utiles
for Testing and Material (ASTM)	<i>Exigences pour l'étiquetage de plastiques conçus pour être compostés dans des installations municipales ou industrielles (ASTM, 2012)</i>	internationale ISO 17088 (ASTM, 2012).
American Society for Testing and Material (ASTM)	<i>ASTM D6868-II Exigences pour l'étiquetage des produits finis qui incorporent des plastiques et des polymères comme couchage ou additifs avec des papiers et autres substrats conçus pour être compostés dans des installations municipales ou industrielles (ASTM, 2011a).</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Il n'y a pas d'équivalent ISO pour ce standard (ASTM, 2011a)
Organisation internationale de normalisation (ISO)	<i>ISO 17088-2012 Spécifications pour les plastiques compostables (ISO, 2008).</i>	
Comité Européen de Normalisation (CEN)	Standard européen EN13432 : 2000 <i>Emballage - Exigences relatives aux emballages valorisables par compostage et biodégradation — Programme d'essai et critères d'évaluation de l'acceptation finale des emballages (CEN, 2001).</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Permet de déterminer la possibilité de composter et de traiter en anaérobie les emballages et les matériaux d'emballage (CEN, 2001)
Comité Européen de Normalisation (CEN)	Standard européen EN14995 : 2006 <i>Matières plastiques – Évaluation de la compostabilité — Programme d'essai et spécifications (CEN, 2001).</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Applicable pour les matières plastiques utilisées à d'autres fins que l'emballage.

3.2 Processus de certification et logos pour les produits et emballages compostables

Pour certifier et identifier un emballage comme étant compostable, le processus doit être accompli par des tiers indépendants qualifiés comme le *Biodegradable Products Institute* (BPI), le BNQ, Din Certco et AIB Vinçotte. Le tableau 3.2 contient plus de détails sur ces organismes largement reconnus dans l'industrie et qui ont certifié énormément de produits à travers le monde. Le processus de certification, qui est schématisé et simplifié à la figure 3.1, est rigoureux et est effectué selon les exigences des standards présentés à la section 3.1. Un élément important à spécifier est que les certifications ainsi obtenues réfèrent à une compostabilité industrielle ou municipale. Elles ne donnent pas d'appréciation pour tout autre traitement en fin de vie (ex. : compostage domestique).

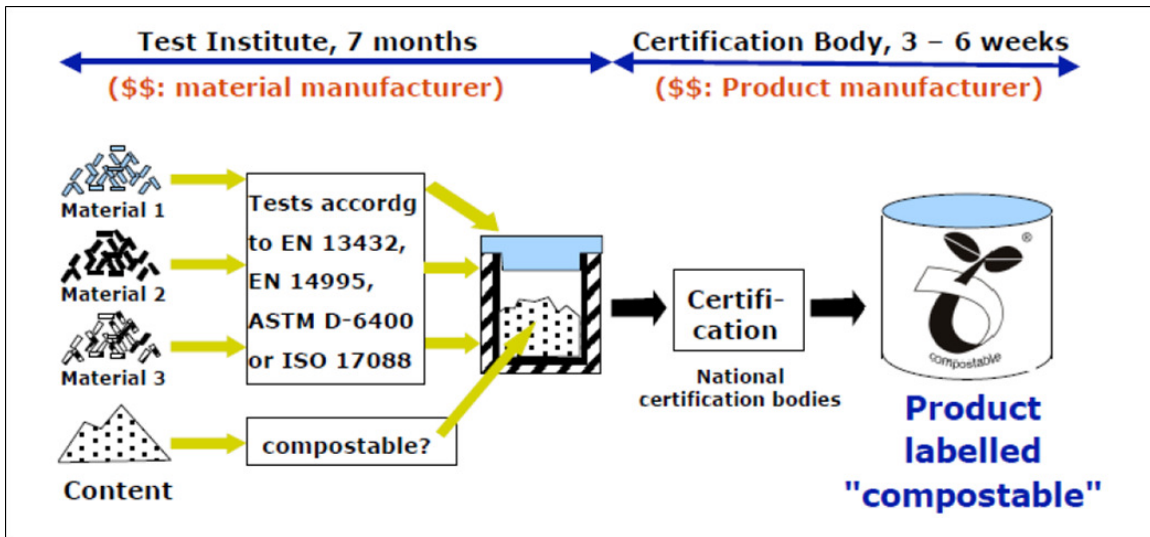


Figure 3.1 Processus de certification simplifié pour les emballages compostables.
(Tiré de Yezza, 2012a, p. 17)

La durée et le coût du processus de certification varient selon l'organisme émetteur et les produits à certifier. Par exemple, pour le traitement et la révision du dossier, le BPI mentionne des coûts de 1500 \$ US si le produit est fabriqué avec des matières premières déjà certifiées et 4500 \$ US si le produit est fabriqué avec de nouvelles matières premières. Les droits pour la licence coûtent 3000 \$ US par année et le processus de certification doit être répété après trois ans. Les frais de laboratoire pour les tests sont des coûts additionnels chargés directement au demandeur. Toujours selon le BPI, il faut entre 80 et 180 jours pour effectuer les tests selon les standards ASTM D6400 ou ASTM D6868 et de 6 à 8 semaines pour la révision du dossier après réception des résultats du laboratoire (BPI, 2011a).


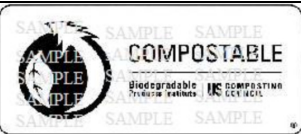
En plus du produit fini, des tests et des analyses sont effectués sur chacune des matières premières si plusieurs constituants entrent dans la fabrication du produit. AIB Vinçotte précise qu'une attention particulière doit être apportée envers les éléments suivants lors du processus de certification des emballages avec la norme EN 13432 (AIB Vinçotte, 2012b) :



- Étiquettes : elles créent une surépaisseur qui peut modifier le phénomène de biodégradation et de désintégration. Utiliser de petites étiquettes ou utiliser des lignes de colle aide à diminuer ces impacts;

- Soudures du film : elles créent une surépaisseur et des tests supplémentaires peuvent être requis;
- Mélange de matières certifiées : la combinaison (par co-extrusion ou mélange) de matières certifiées n'offre aucune garantie en matière de désintégration ou de biodégradation. Des tests complémentaires peuvent être requis;
- Encre et impression : elles peuvent contenir des métaux lourds dont les teneurs maximales sont fixées par la norme. Les limites d'utilisation d'encres certifiées sont spécifiées sur le certificat. Dans le cas d'encres non certifiées, des essais de vérification des métaux lourds et d'écotoxicité doivent être réalisés;
- Colorants et additifs : ils sont possibles s'ils ne nuisent pas à la conformité du produit fini. Leur utilisation est simplifiée lorsqu'ils sont déjà certifiés. Des tests sont nécessaires dans le cas contraire.

Au terme du processus de certification, le demandeur pourra utiliser un logo « compostable » selon les conditions établies dans l'accord de licence. Les logos sont d'une importance majeure car souvent, les bioplastiques compostables sont identiques visuellement aux plastiques traditionnels. Les différents logos présentement accessibles et les organismes de certification correspondants sont présentés au tableau 3.2 ci-dessous.




Tableau 3.2 Logos accessibles pour les emballages compostables (compostabilité industrielle ou municipale).

Logo	Organismes de certification	Normes utilisées	Informations sur l'organisme de certification
	Bureau de normalisation du Québec (BNQ)	CAN/BNQ/ISO 0017-088	<ul style="list-style-type: none"> • Accrédité par le Conseil canadien des normes (BNQ, s. d.). • Selon le site internet du BNQ, 8 entreprises canadiennes ont actuellement des produits certifiés selon la norme (BNQ, 2010).
	Biodegradable Products Institute (BPI)	ASTM D6400, ASTM D6868	<ul style="list-style-type: none"> • Association sans but lucratif située aux É.-U. (BPI, 2012c). • Programme de certification créé en 1999 (BPI, 2012a). • Programme de logo compostable reconnu à travers l'Amérique du Nord (BPI, 2012a). • 143 compagnies ont des produits certifiés selon le site internet du BPI (BPI, 2012b).

Logo	Organismes de certification	Normes utilisées	Informations sur l'organisme de certification
	AIB Vinçotte	EN 13432, EN 14995	<ul style="list-style-type: none"> • Entreprise belge et expertise qui recouvre plus de 130 services dont la certification (AIB Vinçotte, 2012a). • Des centaines d'entreprises, principalement d'Europe, ont des produits certifiés <i>OK compost</i> (AIB Vinçotte, 2012c).
	Din Certco & AIB Vinçotte	EN 13432, EN 14995, ASTM D6400, ISO 17088	<p>Din Certco :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Organisme de certification d'Allemagne qui a plus de 30 années d'expérience (Din Certco, s. d.a). • Clients principalement d'Europe et d'Asie pour les produits compostables (Din Certco, s. d.b).

AIB Vinçotte propose d'autres logos selon des processus de certification qui sont basés sur les normes EN 13432 et EN 134995 adaptées pour d'autres types de traitements en fin de vie des produits. Les logos sont présentés au tableau 3.3.

Tableau 3.3 Logos d'AIB Vinçotte pour des produits biodégradables ou pour des installations de compostage domestique.

Logo	Organismes de certification	Normes utilisées	Lien internet	Spécificités
	AIB Vinçotte	EN 13432, EN 14995 ADAPTÉES	http://www.okcompost.be/fr/les-logos-ok-environnement/ok-compost-amp-ok-compost-home/	Pour des produits destinés au compostage domestique à des températures inférieures.
	AIB Vinçotte	EN 13432, EN 14995 ADAPTÉES	http://www.okcompost.be/data/pdf-document/Doc-24f-a-OK-Biodegradable-S-W-Signification-des-logos.pdf	Pour biodégradation dans le sol. La biodégradation n'est pas nécessairement courte. Destiné surtout pour l'agriculture et l'horticulture.
	AIB Vinçotte	EN 13432, EN 14995 ADAPTÉES	http://www.okcompost.be/data/pdf-document/Doc-24f-a-OK-Biodegradable-S-W-Signification-des-logos.pdf	Pour biodégradation dans l'eau fraîche naturelle.

3.3 Autodéclaration environnementale

L'association canadienne de normalisation (CSA) a produit un guide sur les autodéclarations environnementales de type II en association avec le Bureau de la concurrence du Canada. Le guide contient des lignes directrices pour les entreprises qui par exemple, utilisent un logo qui mentionne qu'un emballage est compostable sans avoir eu recours à un tiers indépendant afin de certifier le produit. Les lignes directrices mentionnent les conditions d'utilisation du terme compostable à l'article 10.2.1 :

« La mention «compostable» convient aux produits et emballages qui se dégraderont ou seront intégrés à un compost utilisable (p. ex., matériaux d'amendement du sol ou paillis), de manière rapide et sécuritaire. S'agissant du compostage, on entend par «rapide» la durée jugée nécessaire pour composter des matières organiques telles que des feuilles, herbes et aliments » (CSA, 2008, p. 32).

L'article 10.2.2 précise que si un produit qui ne se prête pas au compostage domestique est déclaré compostable, le fabricant doit vérifier si les installations requises (ex. : compostage municipal) sont disponibles dans le marché où est vendu le produit. L'article 5.12 apporte quant à lui une précision importante sur l'autodéclaration environnementale :

« Même si elle est littéralement vraie, elle ne doit pas être présentée si elle est susceptible d'être mal interprétée par les acheteurs ou si elle est trompeuse par omission de faits utiles » (CSA, 2008, p.17).

Les lignes directrices ne sont pas un règlement, elles réfèrent plutôt à ce qu'on entend par pratiques exemplaires. Par contre, l'industrie est tenue de se conformer aux lois canadiennes. La *Loi sur la concurrence* et la *Loi sur l'emballage et l'étiquetage des produits de consommation* interdisent notamment de donner des informations fausses ou trompeuses (CSA, 2008).

Pour sa part, le BPI a produit un guide sur des lignes directrices concernant l'étiquetage des produits et emballages compostables (BPI, 2011b). Les recommandations incluses dans le guide comprennent les points suivants :


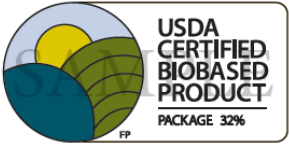
- Les produits destinés aux installations de compostage de large échelle doivent se conformer aux exigences des standards présentés à la section 3.1;

- Les étiquettes, le matériel de promotion et les sites internet doivent respecter les exigences des lois des pays où les produits sont vendus. Ils doivent clairement indiquer que les produits sont destinés aux installations de compostage de large échelle.

3.4 Autres logos de certification pour les produits et emballages biosourcés

Certains logos présentement offerts sont en lien avec l'origine de la ressource ayant servi à fabriquer le produit ou l'emballage. Ces logos ne donnent aucune information sur le mode de traitement en fin de vie dont la biodégradabilité et la compostabilité par exemple. Ils sont entre autres destinés aux bioplastiques biosourcés en donnant une indication de la proportion de matières renouvelables ayant servi à fabriquer le produit ou l'emballage. Ces logos sont présentés au tableau 3.4.

Tableau 3.4 Logos pour des produits et emballages biosourcés.

Logo	Organismes de certification	Normes utilisées	Lien internet	Spécificités
	AIB Vinçotte	ASTM D6866	http://www.okcompost.be/data/pdf-document/Doc-30f-a-Signification-de-OK-biobased.pdf	La datation au carbone 14 est utilisée pour évaluer la proportion de ressources renouvelables. Les étoiles indiquent le % de ressources renouvelables : 1 étoile = 20 à 40 % 2 étoiles = 40 à 60 % 3 étoiles = 60 à 80 % 4 étoiles = plus de 80 %
	United States Department of Agriculture (USDA)	ASTM D6866	http://www.biopreferred.gov/files/45174_USDA_BP_Labeling_Process_Sheet_HR.PDF	Programme BioPreferred. Pour être admissibles, les produits doivent respecter des % min de ressources renouvelables établis pour plusieurs catégories de produits. L'objectif du programme est d'augmenter les ventes de produits fabriqués avec des ressources renouvelables et de stimuler l'économie de ce secteur d'activité.

4 LES BIOPLASTIQUES POUR L'EMBALLAGE ALIMENTAIRE

Les emballages représentaient 53 % des revenus totaux générés par les bioplastiques en 2009 (Lachance, 2011). Le segment des emballages alimentaires qui fait partie de ce groupe est particulièrement actif et change rapidement à cause des innovations et de l'image environnementale positive qu'il procure aux compagnies. Ce chapitre présente ce segment bien précis des bioplastiques qui fera par la suite l'objet de l'analyse critique présentée aux chapitres subséquents.

4.1 Classification des bioplastiques

Les bioplastiques peuvent être catégorisés selon plusieurs méthodes. Ils peuvent entre autres être classifiés selon leurs compositions chimiques, leurs méthodes de synthèse, leurs procédés de fabrication, leurs importances économiques ou leurs applications (Smith, 2005). Une classification selon l'origine des ressources (renouvelables ou non renouvelables) et la gestion en fin de vie (biodégradable ou non biodégradable) a également été couverte précédemment et est présentée par la figure 2.1.

La classification par procédé de fabrication a plutôt été privilégiée dans ce chapitre afin de présenter et expliquer les différents types de bioplastiques. La figure 4.1 ci-dessous représente les quatre groupes ainsi classifiés qui seront définis plus en détail à la section 4.3 :

- Groupe 1 : Les bioplastiques naturels issus directement de la biomasse;
- Groupe 2 : Les bioplastiques issus des microorganismes par fermentation microbienne;
- Groupe 3 : Les bioplastiques obtenus par synthèse à partir de monomères renouvelables;
- Groupe 4 : Les bioplastiques pétrochimiques biodégradables.

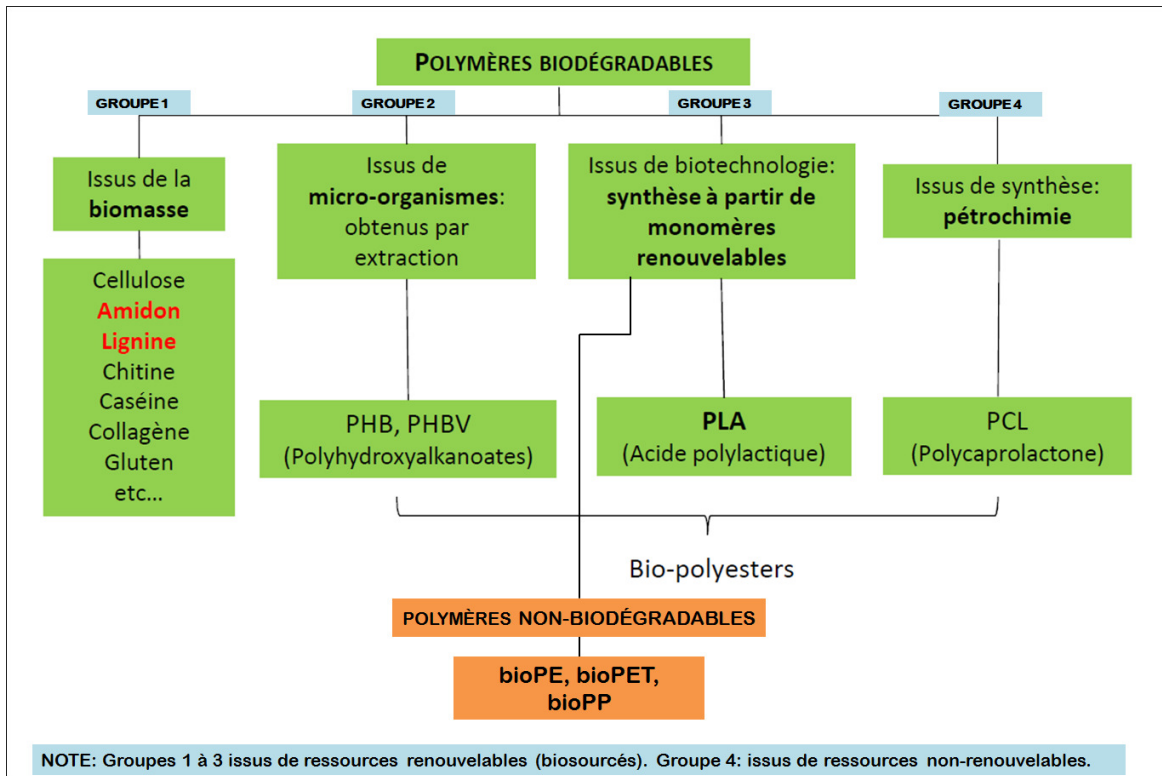


Figure 4.1 Classification des bioplastiques.

(Modifié de Legros *et al.*, 2011, p. 7)

4.2 Exemples d’emballages alimentaires fabriqués avec des bioplastiques

Des bioplastiques des quatre groupes de la figure 4.1 sont utilisés comme matériaux afin de produire une gamme très diversifiée d’emballages alimentaires. Des bouteilles, des sacs, des boîtes, des contenants rigides et des plateaux sont quelques-unes des nombreuses applications actuelles. Afin de répertorier des exemples représentatifs du marché actuel, certains des plus gros fournisseurs de bioplastiques sont présentés dans les sections suivantes ainsi que des applications de leurs produits dans le domaine de l’emballage alimentaire. Cette méthodologie est bien adaptée au marché actuel de l’emballage qui est très concentré. Les 5 plus gros producteurs de bioplastiques fournissent plus de 50 % de l’industrie dans ce créneau (Lachance, 2011). Cette section ne dresse pas une liste exhaustive de toutes les applications existantes. Elle a plutôt été rédigée dans le but de donner un aperçu des principaux groupes de bioplastiques et des nombreuses possibilités reliées à leurs utilisations pour l’emballage alimentaire.

4.2.1 Bioplastiques naturels issus directement de la biomasse

Les bioplastiques de cette catégorie sont directement extraits de la matière organique d'origine végétale ou animale. La nature procure une très grande gamme de polymères qui peuvent être utilisés pour plusieurs applications. Ils peuvent par exemple être employés comme fibres, adhésifs, couchages, gels, mousses, films ou comme résines thermoplastiques et thermodurcissables (Yu, 2009). Le tableau 4.1 liste quelques-uns des bioplastiques extraits directement de la biomasse.

Tableau 4.1 Bioplastiques extraits de la biomasse.
(Modifié de Yu, 2009, p. 3)

Polysaccharides
Extraits des plantes/algues : amidon, cellulose, pectine, konjac, alginate, carraghénane, gomme
Extraits des animaux : acide hyaluronique
D'origine fongique : pullulane, scléroglycane
D'origine bactérienne : chitine, chitosan, levane, xanthane, polygalactosamine, curdlan, gellane, dextrane
Protéines
Soya, zéine (protéine du maïs), gluten de blé, sérum, albumine, collagène/gélatine
Lipides
Acétylglycérides, cires, surfactants, émulsifiants
Polymères de spécialités
Lignine, shellac, caoutchouc naturel

L'amidon est le bioplastique naturel issu directement de la biomasse qui est le plus présent au niveau de l'emballage avec un marché de 22.2 % selon Smithers Pira (Pierce, 2011). C'est un matériau hydrophile ou qui a des affinités avec l'eau, et l'emballage de produits humides est alors problématique. Les propriétés barrières aux gaz sont par contre excellentes (KVL, 2000). Les sources d'amidon sont très abondantes et diversifiées. Le blé, le maïs, les pommes de terre et le triticale sont des exemples de sources en Amérique du Nord tandis que la canne à sucre et les racines du manioc sont des exemples de sources en Amérique du Sud (Yezza, 2012a).

Comme matériau d'emballage, les propriétés mécaniques des films formés avec l'amidon seul ne sont pas adéquates. L'amidon doit préalablement être plastifié, mélangé avec d'autres matériaux ou modifié chimiquement (KVL, 2000). L'amidon thermoplastique (TPS ou «ThermoPlastic starch») est un bioplastique ainsi plastifié avec des agents tels que l'eau, la glycérine ou le sorbitol. En présence de ces plastifiants, à des températures élevées et avec des forces de cisaillement, l'amidon fond et se fluidifie. Son usage est donc compatible avec les équipements d'injection ou de soufflage utilisés pour les plastiques synthétiques (Yu, 2009). Ses principales limitations demeurent son affinité avec l'eau, ses faibles propriétés mécaniques et une variation importante de ses propriétés après fabrication (*ibid.*).

Novamont est un important producteur de TPS dont la gamme de produits est appelée Mater-Bi. Les origines de cette compagnie italienne remonte à 1989 et sa capacité de production annuelle atteint les 60 000 tonnes de bioplastique compostable (Novamont, 2009e). La famille de produits Mater-Bi est variée et utilise comme matières premières de l'amidon, mais aussi des bioplastiques biodégradables provenant de ressources renouvelables ou d'origine fossile (Novamont, 2009d). Des films et des plateaux en bioplastique thermoformé, tels que ceux illustrés à la figure 4.2, sont des applications possibles pour l'emballage alimentaire. Certains grades peuvent aussi être combinés au papier ou au carton pour former entre autres des gobelets ou des contenants alimentaires compostables (Novamont, 2009a). Finalement, certains grades sont aptes au compostage domestique et sont certifiés *OK Compost HOME* (Novamont, 2009b).

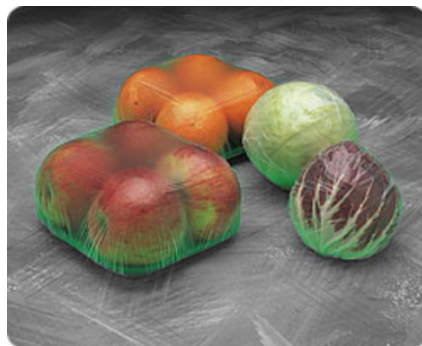


Figure 4.2 Applications du Mater-Bi de Novamont.
(Tiré de Novamont, 2009c)

Les bioplastiques à base de cellulose sont aussi utilisés de manière importante pour l'emballage avec une part de marché de 9 % selon Smithers Pira (Pierce, 2011). La compagnie Innovia Films fabrique par exemple des films à base de cellulose nommés NatureFlex provenant de pâte de bois (Innovia Films, 2012c). La compagnie emploie 1350 personnes à travers le monde et possède des sites de production au Royaume-Uni, aux États-Unis, en Belgique et en Australie (Innovia Films, 2012a). Ses bioplastiques NatureFlex proviennent de ressources renouvelables dans des proportions qui varient généralement entre 90 et 99% selon les grades (Innovia Films, 2012c). Ils sont également compostables dans des installations industrielles ou dans des unités de compostage domestique (Innovia Films, 2012b). Pour des applications comme les sacs à l'intérieur des boîtes de céréales, ils offrent une excellente barrière contre les huiles minérales comparativement aux plastiques d'origine fossile (Laird, 2011a).

4.2.2 Bioplastiques issus des microorganismes par fermentation microbienne

Ce groupe de bioplastiques est constitué de la famille des polyhydroxyalcanoates (PHA), dont le polyhydroxybutyrate (PHB) et le polyhydroxybutyrate-valérate (PHBV) qui sont les plus communs (Yezza, 2012a). Ces polyesters proviennent du mécanisme de survie de certains microorganismes qui les conservent et les accumulent comme source d'énergie et de carbone (Yu, 2009). Ces réserves sont de microscopiques inclusions à l'intérieur des cellules (*ibid.*). Une des propriétés intéressantes en lien avec les emballages alimentaires est le taux de transmission de la vapeur d'eau qui est bas et similaire au polyéthylène à basse densité (LDPE) (KVL, 2000). Des recherches ont aussi démontré que les propriétés des PHBV sont parfois similaires à celles du polypropylène (PP) (Yu, 2009). Ses bonnes propriétés barrières aux gaz peuvent entre autres mener à des applications pour les emballages alimentaires (*ibid.*).

Les bioplastiques issus des microorganismes n'occupent qu'une faible place dans le marché de l'emballage en ne représentant que 2.4 % des parts de marché selon Smithers Pira (Pierce, 2011). Un des grands fabricants de PHA est MetaboliX, compagnie fondée en 1992 et dont le siège social est au Massachusetts, avec sa gamme de bioplastiques compostables

Mirel (Metabolix, 2012a). Les ressources renouvelables nécessaires à leur production sont du sucre dérivé du maïs ou d'autres éléments de la biomasse comme des sucres lignocellulosiques provenant de cultures énergétiques (Metabolix, 2012c). Ses propriétés barrières seraient similaires au polypropylène (PP), sa résistance chimique serait similaire au polyéthylène téréphtalate (PET) et sa solidité dans l'ordre du polystyrène (PS) au PP ou mieux (Kelly, 2011). Des applications pour des emballages alimentaires thermoformés sont présentées à la figure 4.3. La compagnie met également de l'avant les certifications obtenues pour certains grades pour un compostage domestique, dans l'eau et dans le sol (*ibid.*).



Figure 4.3 Emballages alimentaires thermoformés avec les bioplastiques de Metabolix.
(Tiré de Kelly, 2011, p. 19)

4.2.3 Bioplastiques obtenus par synthèse à partir de monomères renouvelables

Les bioplastiques obtenus par synthèse à partir de monomères renouvelables peuvent être regroupés en deux sous-groupes. Les bioplastiques biodégradables comme l'acide polylactique (PLA) et les bioplastiques non biodégradables qui comprennent par exemple le polyéthylène biosourcé (BioPE).

Le PLA qui fait partie du premier sous-groupe est le bioplastique le plus utilisé pour l'emballage. Selon Smithers Pira, il représente 42.5 % du marché (Pierce, 2011). Le PLA est fabriqué à partir d'acide lactique qui provient de la fermentation du maïs, de la canne à sucre ou de la betterave (Yu, 2009). Bien que plusieurs sources de biomasse puissent être utilisées, le maïs a l'avantage de procurer le haut niveau de pureté d'acide lactique requis

(*ibid.*). Le PLA est donc un bioplastique biosourcé et il est biodégradable dans des installations industrielles ou municipales (Nature Works, 2012a).

Le potentiel de substitution du PLA aux plastiques traditionnels d'origine fossile tels que le polyéthylène (PE), le PP, le PS ou le PET est élevé dû à ses propriétés physiques et chimiques (Yezza, 2012a). Sa stabilité au niveau de la température et ses aptitudes de transformation sont similaires au PS tandis que sa résistance aux huiles et graisses ainsi que ses propriétés barrières aux saveurs sont comparables au PET (Kale *et al.*, 2007). Le PLA est bien adapté à plusieurs des méthodes conventionnelles de transformation des produits thermoplastiques telles que l'extrusion et l'injection (Yu, 2009).

NatureWorks est un fabricant majeur de PLA qui utilise le maïs comme matière première. Son usine de fabrication est située au Nebraska, aux États-Unis, et sa capacité de production est de 140 000 tonnes métriques de bioplastique appelé Ingeo (NatureWorks, 2012a). Le lactide est le monomère qui provient de l'acide lactique qui est utilisé pour produire le matériau. Les monomères s'unissent par polymérisation pour former le PLA (NatureWorks, 2012d). Il y a de nombreuses applications au niveau de l'emballage alimentaire pour ce bioplastique, dont des bouteilles et des contenants de toutes sortes (*ibid.*). Le couchage du PLA sur du carton permet également la fabrication de boîtes pliantes qui sont compostables et particulièrement utiles pour des applications où l'emballage est souillé par les aliments. L'ensemble produit/contenant peut ainsi être composté dans des installations industrielles ou municipales sans tri préalable.

Le deuxième sous-groupe est composé de bioplastiques biosourcés mais non biodégradables (Preventpack, 2012). Le BioPE, le polypropylène biosourcé (BioPP) ainsi que le polyéthylène téréphtalate biosourcé (BioPET) sont des exemples de ce type de bioplastiques (*ibid.*). Selon Smithers Pira, le BioPE ne représente que 0.3 % du marché de l'emballage (Pierce, 2011). L'utilisation de ces bioplastiques est donc marginale mais est en pleine expansion. De gros joueurs dans l'industrie de l'alimentation ont annoncé leur intention ou utilisent déjà ces bioplastiques biosourcés et non biodégradables. Le produit de Coca-Cola appelé PlantBottle qui est présenté au chapitre 5 et à la figure 5.1 est un exemple

de ce type de matériaux déjà commercialisés et provenant de ressources renouvelables. Le procédé de fabrication convertit la canne à sucre en monoéthylène glycol (MEG) qui est utilisé dans une proportion qui va jusqu'à 30 % du poids de la bouteille. Le bioplastique ainsi obtenu est du PET biosourcé qui a les mêmes caractéristiques et qui est recyclable tout comme les bouteilles en PET à 100 % d'origine fossile (The Coca-Cola, 2012a). Pepsi a également annoncé dernièrement la mise au point d'une bouteille en PET biosourcé entièrement fabriquée à partir de ressources renouvelables. Le projet pilote est prévu en 2012 et le bioplastique sera commercialisé rapidement si les résultats sont satisfaisants (Pepsico, 2011). Danone au Canada annonçait aussi en 2011 l'utilisation de polyéthylène haute densité (HDPE) fabriqué entièrement à partir de la canne à sucre pour tous ses contenants de yogourt à boire (DanActive, Danacol, Danino Go et Activia). Le bioplastique est recyclable à 100 % et réduirait l'empreinte de CO₂ des contenants de 55 % (Danone, 2011).

Braskem, qui est le plus important producteur de résine en Amérique, est un fabricant important de BioPE nommé GreenPE (Braskem, 2011d). Le bioplastique est entièrement fabriqué à partir de ressources renouvelables. Le procédé utilise la canne à sucre pour produire du bioéthanol qui est ensuite converti en bioéthane et finalement en BioPE (Yeza, 2012a). Le BioPE a les mêmes propriétés et est recyclable tout comme son pendant d'origine fossile (*ibid.*). Le HDPE et le polyéthylène à basse densité linéaire (LLDPE) biosourcés de Braskem, qui entrent tous les deux dans la gamme du GreenPE, ont obtenu la certification *OK biobased* d'AIB Vinçotte couverte à la section 3.4 (Braskem, 2011c). Rappelons que cette certification n'est pas pour la biodégradabilité et que le Green PE de Braskem ne se biodégrade pas. C'est une certification accordée pour l'utilisation de ressources renouvelables. La compagnie va produire sous peu du BioPP fabriqué également à partir de la canne à sucre et la production devrait débuter en 2013 (Braskem, 2011a). Le fabricant a plusieurs clients d'importance, dont Danone et Coca-Cola, qui ont été mentionnés précédemment et qui utilisent des bioplastiques biosourcés (Braskem, 2011b).

4.2.4 Bioplastiques pétrochimiques biodégradables

Les bioplastiques de cette catégorie sont fabriqués à partir d'origine fossile. Ils ne proviennent donc pas de ressources renouvelables mais sont biodégradables. On peut classer ces bioplastiques en trois groupes : les polycaprolactones (PCL), les polyesteramides (PEA) et différents copolyesters aromatiques ou aliphatiques (Avérous, 2007).

Les copolyesters aromatiques et aliphatiques représentent 6.7 % du marché de l'emballage selon Smithers Pira (Pierce, 2011). L'Écoflex produit par BASF, une immense compagnie du secteur chimique qui possède 370 unités de production à travers le monde, entre dans cette catégorie (BASF, 2012). C'est un copolyester biodégradable qui convient particulièrement bien à la fabrication de pellicules pour des secteurs comme l'emballage (BASF, 2010). Il peut également être couché sur du papier et parmi les applications citées par la compagnie, on retrouve des contenants à repas-minute, des gobelets et l'emballage d'aliments congelés ou de fruits et légumes (*ibid.*). La figure 4.4 contient des exemples d'applications.



Figure 4.4 Emballages de fruits et légumes avec l'Écoflex de BASF.
(Tiré de BASF, 2010, p. 8)

Les propriétés de l'Écoflex sont souvent favorables au LDPE. Selon le fabricant, la résistance à la traction et la résistance à la déchirure sont plus élevées que les valeurs de référence du LDPE. La perméabilité à l'oxygène est deux fois moins élevée que le LDPE mais la perméabilité à la vapeur d'eau est en revanche plus élevée que ce dernier (BASF,

2010). Contrairement à la majorité des catégories de polyester, le séchage préalable de l'Ecoflex est inutile avant son utilisation sur une ligne de production, car sa stabilité à l'hydrolyse est adéquate aux températures normales de traitement (*ibid.*).

4.3 Innovations

Une des critiques souvent formulées à l'endroit des bioplastiques biosourcés est l'utilisation de cultures destinées à l'alimentation humaine et animale. Plusieurs recherches sont effectuées présentement afin de trouver des solutions de remplacement et un grand nombre de fabricants ont des stratégies en ce sens dont Cereplast, qui est une compagnie américaine productrice de bioplastiques biosourcés. Ses résines sont produites à base d'amidon de maïs, de blé, de tapioca et de pommes de terre venant principalement de la région du Midwest des États-Unis (Cereplast, 2012a). Cereplast produit maintenant des bioplastiques à base d'algues qui sont conçus pour remplacer jusqu'à 50 % ou plus de la teneur en pétrole utilisé dans les résines en plastique traditionnel (Cereplast, 2012b). NatureWorks planifie également d'utiliser des matières cellulosiques, des matières résiduelles provenant de l'agriculture et des plantes non destinées à l'alimentation comme ressources renouvelables (NatureWorks, 2012e). Par ailleurs, plusieurs compagnies explorent aussi la possibilité de développer des bioplastiques à l'aide de dioxyde de carbone (Pierce, 2011). Cette tendance à chercher des solutions de rechange aux cultures destinées à l'alimentation devrait demeurer au cours des prochaines années (Laird, 2011b).

Des recherches qui captent aussi l'attention sont celles concernant les matériaux nanocomposites. L'un des axes de développement est relié à la perméabilité aux gaz qui est souvent le point faible des bioplastiques pour l'emballage d'aliments frais (Laird, 2012b). Des chercheurs norvégiens travaillent actuellement à la fabrication d'une barrière appelée cellulose microfibrillée créée à partir de plantes. Cette barrière est fabriquée à l'aide de fibres qui ont un diamètre de 100 nanomètres mais qui sont extrêmement longues. Elles viendraient renforcer les bioplastiques tout en diminuant leur perméabilité à certains gaz dont l'oxygène, augmentant leur intérêt pour l'emballage alimentaire. Ce projet de recherche appelé NanoBarrier durera 4 ans et représente seulement une des nombreuses

pistes présentement explorées afin d'améliorer les propriétés des bioplastiques (*ibid.*). L'intégration et le mélange de différents éléments aux bioplastiques existants sont aussi des options envisagées. Par exemple, l'incorporation d'argile au PLA afin d'améliorer ses propriétés thermomécaniques est l'un des axes de recherche du Centre de Technologie Minérale et de Plasturgie de Theford Mines (Vuillaume, 2011).

5 PERCEPTION ET CONFUSION DES CONSOMMATEURS

Un des problèmes majeurs liés aux bioplastiques est la confusion au niveau de la terminologie. Les définitions des bioplastiques biodégradables, compostables et biosourcés présentées au chapitre 2 permettent de constater que les distinctions entre les termes sont subtiles et augmentent la confusion chez les consommateurs. Savoir distinguer ces bioplastiques est par contre d'une importance majeure afin de bien disposer des emballages en fin de vie.

Selon le BPI, 85 % des consommateurs pensent que les termes « biosourcé » et « renouvelable » veulent aussi dire « biodégradable » (Verespej, 2011). Cette confusion entre l'origine de la ressource (biosourcé) et la gestion de fin de vie du bioplastique peut entraîner une erreur lorsque le consommateur se défait du produit après utilisation. Toujours selon le BPI, 60 % des consommateurs croient qu'un produit biodégradable disparaît comme par magie quand on le jette. Cette fois-ci, une mauvaise connaissance du terme biodégradable crée l'ambiguïté, car comme exposé au chapitre 2, biodégradable et compostable sont différents l'un de l'autre. Un bioplastique biodégradable n'est pas nécessairement compostable car il pourrait se dégrader trop lentement ou selon des conditions démesurées qui ne sont pas atteintes lors d'un compostage industriel. Rappelons que la compostabilité est définie selon des normes.

La difficulté à distinguer les différents types de bioplastiques et la façon de commercialiser certains produits de la part des fabricants sont les deux facteurs qui créent une mauvaise perception auprès du consommateur. Les deux emballages alimentaires de la figure 5.1 ont été achetés au Canada et illustrent bien la facilité avec laquelle cette mauvaise perception du public peut être engendrée.



Figure 5.1 PlantBottle® de Coca-Cola (à gauche) et emballage à sandwich de PLA (à droite).

La bouteille d'eau Dasani utilisée ici comme exemple provient de Calgary et est commercialisée sous le nom de PlantBottle par Coca-Cola. Comme son étiquette l'indique, jusqu'à 30 % des ressources ayant servi à sa fabrication sont d'origine végétale (The Coca-Cola Company, 2012a). Le procédé de fabrication utilise de l'éthanol provenant de cannes à sucre du Brésil comme matières premières et c'est donc un bioplastique biosourcé mais non biodégradable (The Coca-Cola Company, 2012c). Rappelons qu'au terme du procédé de fabrication, on obtient une bouteille en PET qui a les mêmes propriétés et qui est recyclable tout comme les bouteilles traditionnelles en PET fabriquées entièrement à partir de ressources d'origine fossile. Avec la confusion de beaucoup de consommateurs entre les bioplastiques biosourcés et biodégradables et avec un nom comme PlantBottle, plusieurs acheteurs feront l'erreur de disposer de cette bouteille dans un bac à compostage. Au lieu d'être recyclées comme il se doit, ces bouteilles finiront alors au LET car elles seront rejetées du procédé de compostage municipal. C'est la confusion entre l'origine de la ressource (biosourcé) et la gestion de fin de vie.

En ce qui a trait à l’emballage à sandwich, il provient d’un supermarché de Sherbrooke. Le bioplastique utilisé est de l’acide polylactique (PLA) nommé Ingeo provenant du fabricant NatureWorks. Le chiffre à l’intérieur d’un triangle composé de trois flèches sur l’emballage indique la catégorie de résines qui a été utilisée pour fabriquer le produit. Le PLA entre dans la catégorie de résines no.7, qui inclut toutes les résines qui ne font pas partie des six premiers groupes qui comptent pour 90 % de la production totale des emballages domestiques (Gervais, 2010). Les sept classes de plastiques, leurs utilisations courantes et des exemples de produits à contenu recyclé se trouvent à l’annexe 1 pour plus de détails. Le document provient de Recyc-Québec (*ibid.*).

Le PLA Ingeo de NatureWorks est un bioplastique compostable dans des installations municipales et industrielles selon les standards ASTM D6400, ISO 17088 et EN 13432 (NatureWorks, 2012b). La courbe de minéralisation du PLA est présentée à la figure 5.2 où l’on constate qu’il faut environ 40 jours pour que le produit se biodégrade complètement. À titre indicatif, la figure 5.3 présente également des photos prises sur un intervalle de 30 jours lors d’un test de compostage effectué sur une bouteille fabriquée avec du PLA. Les résultats sont semblables avec une biodégradation complète après 30 jours.

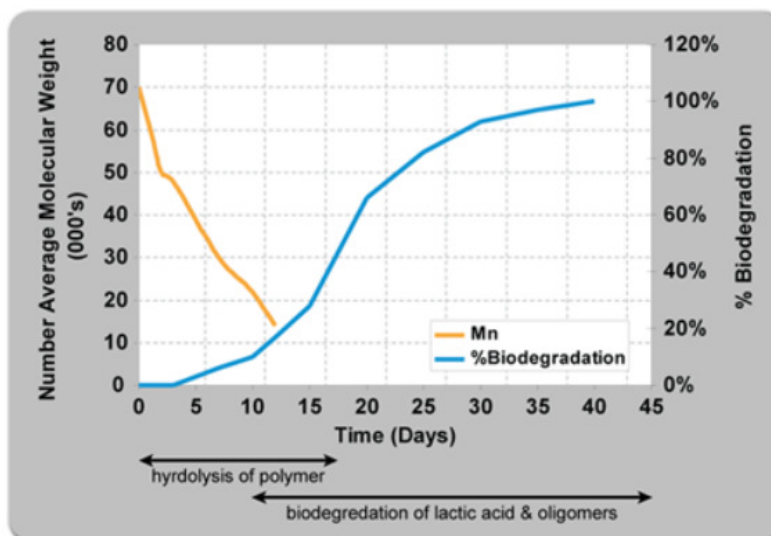


Figure 5.2 Minéralisation du PLA Ingeo de NatureWorks.
(Tiré de NatureWorks, 2012b)

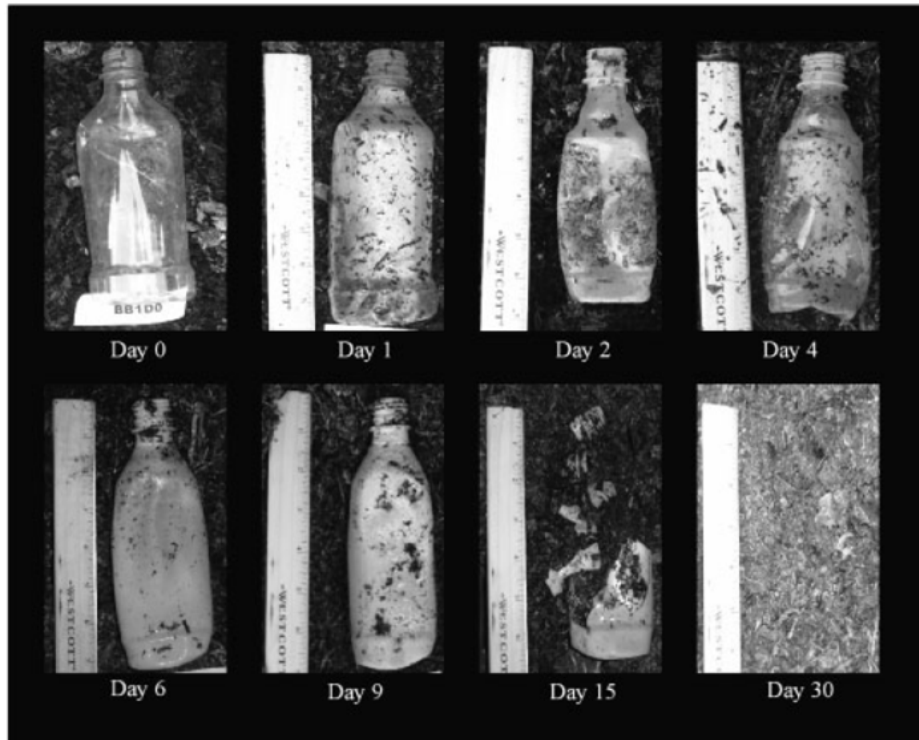


Figure 5.3 Bouteille au PLA soumise à un test de compostage (à $58 \pm 5^\circ\text{C}$ et à $60 \pm 5\%$ HR).

(Tiré de Kale *et al.*, 2007, p. 264)

Comme observable à la figure 5.1, l'inscription « biodégradable » est indiquée sur un adhésif vert sur l'emballage à sandwich choisi dans cet exemple. Il y a plusieurs problématiques liées à la biodégradabilité du contenant et à la façon de communiquer l'information aux consommateurs. Le principal problème est que la ville de Sherbrooke n'accepte pas ce type de bioplastiques dans son procédé de compostage municipal. Cette information a été confirmée par le Chef de section de la gestion des matières résiduelles de la ville de Sherbrooke (Lepage, 2012). Les seuls bioplastiques acceptés sont les sacs d'empettes qui sont certifiés par le BNQ. Les emballages au PLA comme celui de la figure 5.1 qui seront déposés dans les bacs de compostage de la municipalité seront donc détournés du procédé de compostage et finiront au LET. Le second problème est lié à la confusion au niveau de la terminologie. Comme soulevé précédemment, 60 % des consommateurs croient que les produits biodégradables disparaissent lorsqu'on les jette. Ces personnes pourraient être enclines à se débarrasser des emballages dans leur compost domestique ou pire encore, à les jeter dans la nature en pensant qu'ils se biodégraderont

facilement. La courbe de minéralisation du PLA de la figure 5.2 correspond aux conditions de compostage prévues dans les standards à 58 °C (ASTM, 2011b). Les composts domestiques n'atteignent pas ces conditions. Notons également que l'apposition d'un logo destiné aux bioplastiques compostables après un processus de certification conduirait à la même problématique. En apercevant le terme compostable et dû à une méconnaissance sur sa signification, plusieurs consommateurs seraient portés à disposer des contenants vides dans des bacs de compost domestique ou à les jeter dans la nature. Rappelons que ces logos qui ont été présentés à la section 3.2 sont destinés à un compostage industriel. La troisième et dernière problématique est reliée à l'adhésif qui sert de support à l'inscription « biodégradable » car on doit le décoller pour ouvrir le contenant. Il y a donc de fortes chances que le collant ne soit plus à portée de main lorsque le consommateur se débarrassera de l'emballage et que le contenant se retrouve alors dans un bac de recyclage. Le PLA affecte la filière de recyclage des bouteilles en PET. Malgré une apparence similaire, les deux matériaux ne sont pas compatibles au niveau du recyclage (ÉÉQ, 2012b). Ce point sera couvert plus en détail au chapitre 7. En plus de la confusion des consommateurs concernant le mode de disposition des emballages au PLA comme celui présenté dans ce chapitre, aucune méthode de valorisation n'est adaptée à ce type de bioplastiques à Sherbrooke. La seule option au niveau du traitement en fin de vie pour cet emballage est malheureusement l'élimination.

Enfin, l'« écomarketing » ou le « marketing vert » représente une autre source de confusion pour les consommateurs. On retrouve présentement une grande variété de descripteurs, logos, vignettes et autres représentations servant à décrire ou à énoncer les caractéristiques environnementales des produits de consommation (CSA, 2008). Ces différentes représentations visuelles ajoutent à la confusion en renseignant parfois sur une caractéristique de l'emballage et parfois en donnant des informations sur le produit lui-même.

6 PERFORMANCE ENVIRONNEMENTALE DES EMBALLAGES ALIMENTAIRES EN BIOPLASTIQUE

L'analyse environnementale du cycle de vie nommée plus simplement ACV dans la suite du texte est un moyen efficace pour évaluer la performance environnementale d'un produit. Les notions principales rattachées à l'ACV sont tout d'abord expliquées et introduisent deux études récentes qui comparent différents emballages alimentaires présentées à la section 6.2. Le présent chapitre a pour objectif de démontrer toute la complexité derrière l'évaluation des impacts environnementaux potentiels des emballages alimentaires sur l'ensemble de leur cycle de vie.

6.1 La performance environnementale par l'analyse du cycle de vie

L'ACV permet d'évaluer les performances environnementales d'un produit ou d'un procédé à partir de l'extraction des matières premières jusqu'à la fin de vie (Quantis, 2011). L'évaluation des impacts environnementaux potentiels est donc effectuée sur tout le cycle de vie du produit qui est illustré à la figure 6.1 et diffère de l'approche traditionnelle qui ne prenait en considération que les activités de l'entreprise (Ellipsos, 2007). Il faut spécifier qu'il s'agit d'impacts potentiels du fait que leurs conséquences réelles dépendent fortement des caractéristiques du milieu récepteur et des effets de synergie ou d'antagonisme entre les polluants (ADEME, 2005).

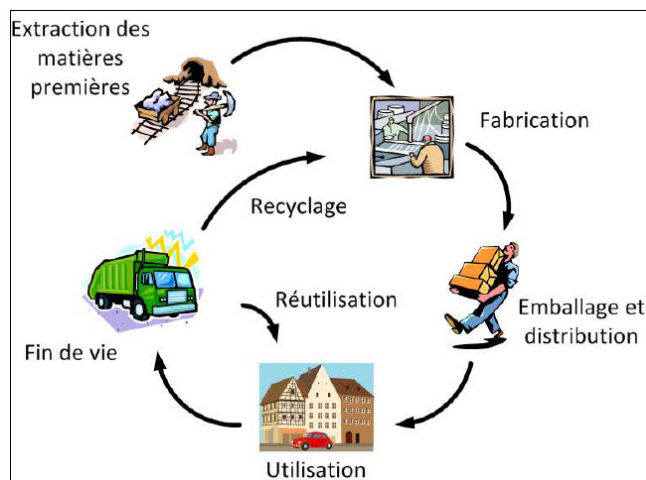


Figure 6.1 Portée de l'analyse du cycle de vie.
(Tiré de Gagnon, 2010, p. 40)

L'ACV fait partie des outils utilisés au niveau de la gestion du cycle de vie qui est un concept beaucoup plus large et qui vise à minimiser le fardeau environnemental et socio-économique d'un produit ou d'une gamme de produits (Gagnon, 2010). Parmi les autres techniques employées dans une démarche de gestion du cycle de vie, on retrouve entre autres l'analyse des coûts sur le cycle de vie (ACCV) et l'analyse sociale du cycle de vie (ASCV) (Gagnon, 2010) (Ellipsos, 2007). Comparativement à ces deux dernières, l'analyse environnementale du cycle de vie ou plus simplement l'ACV est la méthode la plus connue (Gagnon, 2010). Elle est internationalement reconnue et encadrée par les normes 14040 et les suivantes de l'Organisation Internationale de normalisation (ISO) (Quantis, 2011). La norme ISO 14040 :2006 définit par exemple les quatre étapes à suivre lors d'une ACV qui sont : la définition des objectifs et du champ de l'étude, l'analyse de l'inventaire, l'évaluation des impacts et l'interprétation des résultats (Gagnon, 2010). Éviter ou mieux comprendre les transferts de pollution entre les différentes options étudiées est l'un des avantages de l'ACV, car elle donne un portrait global sur tout le cycle de vie (ADEME, 2005). Par exemple, un changement de matériau visant à diminuer l'utilisation de ressources non renouvelables lors de la production pourrait causer la pollution de l'eau lors de l'élimination du produit (*ibid.*). Les nombreuses applications de l'ACV sont présentées au tableau 6.1 ainsi que des exemples concrets dans le domaine de l'emballage alimentaire.

Tableau 6.1 Applications de l'analyse du cycle de vie.

APPLICATIONS DE L'ACV (Gagnon, 2010)	EXEMPLES DANS LE DOMAINE DE L'EMBALLAGE ALIMENTAIRE
Aide à la décision pour un choix de procédé.	Favoriser le recyclage ou le compostage du PLA?
Aide à la décision pour l'optimisation de procédés existants après l'identification des points faibles.	Optimisation de la consommation d'eau pour la production de granules de résines de PLA.
Décision sur la conception de produits ou services nouveaux.	Écoconception des emballages alimentaires.
Décision sur l'organisation des opérations.	Choix des modes de transport pour la distribution des emballages.
Décision sur l'efficacité d'une réglementation.	Interdiction des sacs en plastique d'origine fossile à usage unique ou non?
Décision sur l'orientation d'une politique publique.	Subventions aux bioplastiques biosourcés ou plutôt aux bioplastiques compostables?

Éco Entreprises Québec (ÉEQ) et le Conseil de la transformation agroalimentaire et des produits de consommation (CTAC) ont récemment lancé le 28 février 2012 les *Lignes directrices pour la réalisation d'analyses du cycle de vie environnementales — Secteur des emballages au Québec* (ÉEQ, 2012a). Le document a été réalisé par la firme Quantis et les lignes directrices fournissent des balises méthodologiques aux consultants qui réalisent des ACV sur les emballages dans le secteur de la transformation alimentaire au Québec (Quantis, 2011). Plusieurs études d'ACV portant sur différents types d'emballages alimentaires sont recensées dans la littérature mais il est souvent difficile de les comparer car les systèmes à l'étude varient. Le choix du cadre de l'analyse, de la définition des frontières du système, de l'unité fonctionnelle, du contexte géographique et industriel ainsi que le choix de la méthode d'évaluation des impacts sont parmi les différences qui compliquent les comparaisons des résultats (*ibid.*). Palier à ces difficultés en standardisant la méthodologie et en amenant une cohérence entre les études est l'un des bénéfices visés par les lignes directrices (ÉEQ, 2012a). L'unité fonctionnelle, les frontières du système ainsi que les types d'impacts environnementaux sont parmi les points définis par le document afin de standardiser la méthodologie. En ce qui a trait aux frontières du système du cycle de vie des emballages, ils comprennent au minimum les sous-systèmes schématisés à l'annexe 2. Ils illustrent toute la complexité derrière la réalisation d'études d'ACV car de nombreuses données doivent être recueillies pour chacun des processus et sous-processus. Les résultats d'inventaire doivent par la suite être liés à différentes catégories d'impacts environnementaux afin de quantifier leurs contributions à affecter l'environnement.

6.2 Deux exemples d'ACV traitant des emballages alimentaires à base de bioplastique

Les deux études d'ACV présentées dans ce chapitre comparent des emballages alimentaires conçus en bioplastique avec certains autres fabriqués à partir de matériels recyclés ou conçus avec des plastiques traditionnels d'origine fossile. Elles ont été choisies à cause de leurs conclusions qui diffèrent quant aux performances des emballages en bioplastique. Une

analyse des résultats des deux ACV ainsi que les principaux points à considérer lors de l'interprétation des conclusions de telles études sont finalement présentés à la section 6.2.3.

6.2.1 PLA Ingeo de NatureWorks comparé au PET pour des contenants alimentaires

L'ACV présentée dans cette section a été effectuée par *l'Institute for Energy and Environmental Research* (IFEU), centre d'excellence indépendant dans le domaine de l'environnement qui a plus de 30 années d'expérience (IFEU, 2012).

L'ACV réalisée en 2009 a été demandée par le fabricant de bioplastiques NatureWorks présenté à la section 4.3.3. L'étude est en fait un complément à une ACV plus ancienne qui date de juillet 2006 et qui a également été effectuée par l'IFEU. Des contenants conçus avec du PLA Ingeo de NatureWorks, comme celui illustré à la figure 6.2, étaient comparés avec des emballages en plastique d'origine fossile, plus spécifiquement le polypropylène (PP), le polystyrène (PS) et le polyéthylène téréphtalate (PET) (Krüger *et al.*, 2009).



Figure 6.2 Emballage étudié lors de l'ACV comparant le PLA de NatureWorks.
(Tiré de Detzel and Krüger, 2006, p. 2)

En 2009, l'objectif de l'étude est plutôt de comparer la performance environnementale du même type d'emballage en PLA, mais cette fois-ci, avec des contenants de PET vierge et recyclé (Krüger *et al.*, 2009).

L'unité fonctionnelle est 1000 unités de 500 ml d'emballage servant à contenir des aliments froids, par exemple de la salade pour emporter, et disponibles aux consommateurs aux

points de vente. L'étude est applicable pour des contenants de dimensions similaires ayant une résistance de charge verticale de 22 Newtons (Detzel et Krüger, 2006).

Au niveau des scénarios, les poids des emballages suivants font partie des cas étudiés : 15 et 19.9 g pour le PLA et 19.9 g pour le PET. Le contenant de 15 g de PLA est considéré comme comparable au contenant de 19.9 g de PET car la rigidité du PLA est plus élevée et sa densité plus faible. Les améliorations au procédé de fabrication du PLA ont été considérées et les scénarios comprennent la nouvelle technologie de fermentation de NatureWorks intégrée à leur procédé en 2008 de même que l'ancien procédé de fabrication de 2005. Les États-Unis et l'Europe font partie du contexte géographique étudié mais les résultats présentés ici ne tiendront compte que des scénarios reliés à la situation propre aux États-Unis, car le contexte nord-américain est plus près de la situation canadienne (Krüger *et al.*, 2009).

Pour chacun des scénarios, les catégories d'impacts environnementaux suivantes ont été évaluées : les ressources d'origine fossile, le changement climatique, le smog estival (pollution photochimique), l'acidification, l'eutrophisation aquatique, l'eutrophisation terrestre, la toxicité humaine associée aux effets cancérigènes, la toxicité humaine associée aux particules fines, l'utilisation des terres et la consommation d'énergie renouvelable et non renouvelable (Krüger *et al.*, 2009).

Certains des impacts environnementaux sont présentés à la figure 6.3, qui illustre comment sont compilés les résultats. Comme l'indique la légende, les impacts environnementaux sont catégorisés selon leurs sources : la production du plastique (granules de résine), le transport, la production des emballages et le traitement en fin de vie. Pour ce qui est du PET recyclé, les impacts supplémentaires qui sont considérés sont ceux reliés au procédé de recyclage et aux charges environnementales du cycle de vie du PET vierge qui a été récupéré. Par ailleurs, « Ingeo 5 » en abscisse des graphiques fait référence au PLA fabriqué selon le procédé de NatureWorks de 2005 tandis que « Ingeo NGT » fait plutôt référence au PLA fait selon leur nouvelle technologie de fermentation.

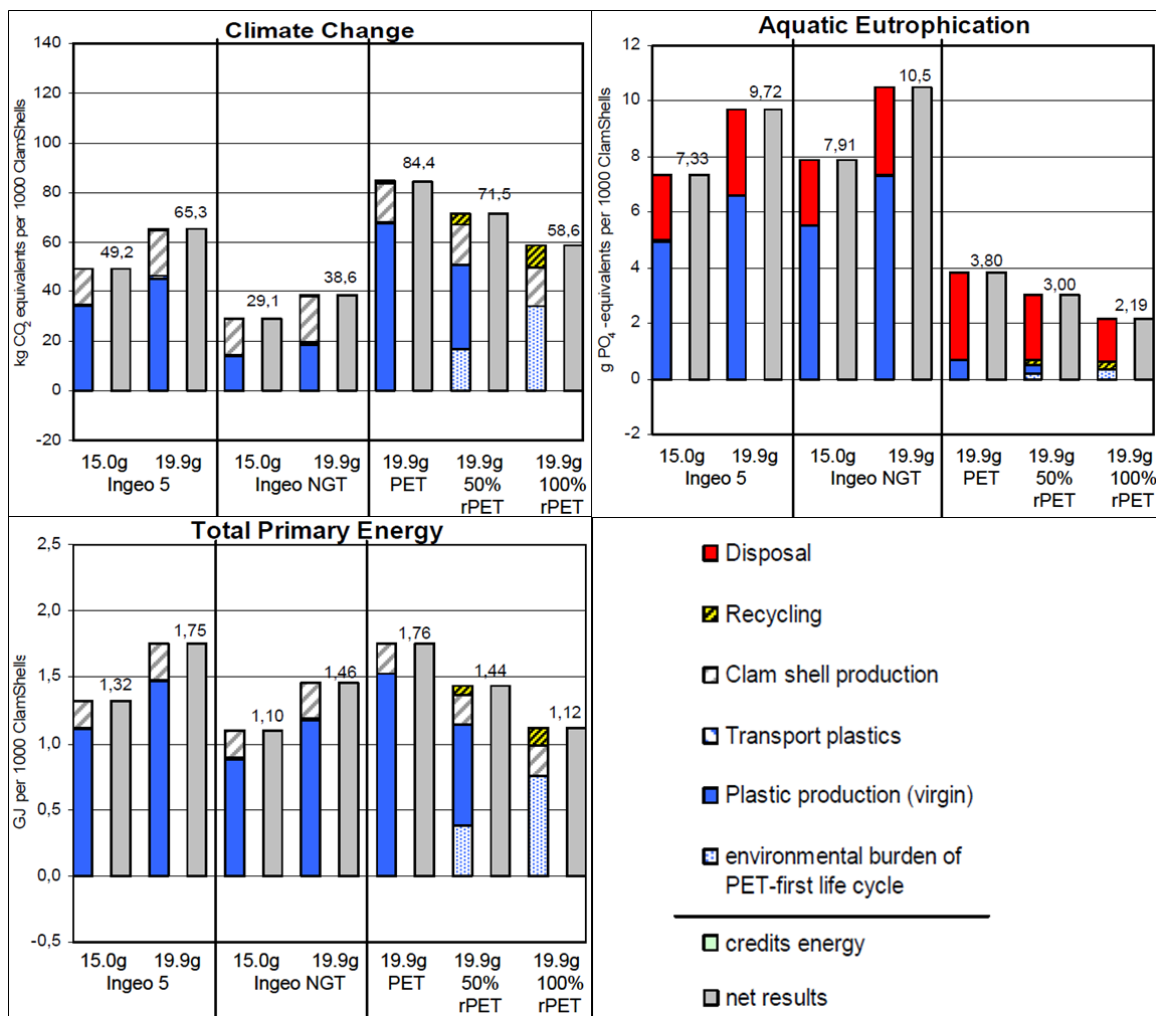


Figure 6.3 Impacts environnementaux des scénarios se déroulant aux États-Unis.
(Tiré de Krüger *et al.*, 2009, p. 19 à 21)

La figure 6.3 est représentative des résultats plus globaux de l'ACV, car pour certaines catégories d'impacts environnementaux, les emballages en bioplastique (PLA) sont plus performants par rapport aux contenants en PET tandis que parfois, c'est l'inverse. Par exemple, les emballages en PLA contribuent moins aux changements climatiques car les kilogrammes de CO₂ équivalents sont moins élevés que tous les contenants en PET étudiés. Par contre, l'ACV ne favorise pas le PLA en ce qui concerne l'eutrophisation aquatique, car pour tous les scénarios, les impacts environnementaux sont plus élevés que les emballages en PET. Il est aussi intéressant de constater que l'énergie totale utilisée ne départage pas les deux types de matériaux. Le PET recyclé à 100 % utilise 1.12 GJ pour mille unités, tandis que pour le PLA, sa meilleure performance est de 1.10 GJ par mille unités.

En résumé, le tableau 6.2 compare les performances environnementales des emballages en bioplastique versus les emballages en plastique traditionnel. Seulement leur meilleure option respective a été retenue, c'est-à-dire l'emballage de 15 g de PLA fabriqué avec la nouvelle technologie de fermentation et l'emballage de 19.9 g de PET entièrement recyclé (Krüger *et al.*, 2009).

Tableau 6.2 Comparaison de la performance environnementale du PLA versus le PET.

Indicateurs environnementaux pour lesquels le type de matériaux a obtenu la meilleure performance environnementale.	
BIOPLASTIQUE : PLA Scénario : emballage de 15 g et nouvelle technologie de fermentation.	PLASTIQUE D'ORIGINE FOSSILE : PET Scénario : emballage de 19.9 g et recyclé à 100 %.
Utilisation de ressources d'origine fossile	Acidification
Changement climatique	Eutrophisation aquatique
Smog estival	Eutrophisation terrestre
Toxicité humaine associée aux effets cancérigènes	Toxicité humaine associée aux particules fines
La consommation d'énergie non renouvelable	

6.2.2 Comparatif de différentes barquettes fabriquées par Cascades

L'ACV présentée ci-dessous a été réalisée par le Centre interuniversitaire de recherche sur le cycle de vie des produits, procédés et services (CIRAIG), qui est un centre d'expertise en cycle de vie basé à Polytechnique Montréal. Établi depuis 2001, le CIRAIG est reconnu mondialement pour ses travaux et initiatives bâtis sur de solides assises scientifiques et ses dix années d'expérience appliquée (CIRAIG, 2012).

C'est une ACV récente qui date de 2011. Cascades a mandaté le CIRAIG pour effectuer une analyse comparative du cycle de vie de différents contenants pour l'emballage alimentaire (Cascades, 2011a). Les barquettes fabriquées avec les sept matériaux pris en considération, sont présentées à la figure 6.4. Elles sont toutes fabriquées par Cascades, Groupe Produits Spécialisés, où l'étaient jusqu'à tout récemment (CIRAIG, 2012).



Figure 6.4 Barquettes étudiées lors de l'ACV des produits de Cascades.
(Tiré de Cascades, 2011b, p. 3)

Les objectifs de l'étude sont (CIRAIG, 2011) :

- Comparer les profils environnementaux des cycles de vie des différentes options d'emballage à l'étude;
- Déterminer les paramètres environnementaux clés dans le cycle de vie des options étudiées;
- Comparer les systèmes afin d'établir ceux qui génèrent les impacts environnementaux les plus faibles.

L'unité fonctionnelle est un contenant de 52 po³ permettant l'empilage et la vente au détail de fruits ou de légumes aux consommateurs au Québec en 2010. Le volume réfère à un contenant de 8 ⅜ pouces de long, 5 ⅞ pouces de large et 1 pouce de profondeur, mieux connu dans l'industrie comme un contenant no 3 (Cascades, 2011a).

Le tableau 6.3 contient les différents scénarios où plus de détails sont présentés sur chacun des contenants étudiés.

Tableau 6.3 Différents scénarios étudiés lors de l'ACV des produits de Cascades.

(Tiré de Cascades, 2011a, p. 1)

	XPS* Polystyrène Expandé	OPS Polystyrène Orienté	PET Polyéthylène Téréphthalate	RPET PET à 60% de contenu recyclé	PLA Polylactide	PP Polypropylène	MP Pâte Moulée
Poids	10,5g	20,9g	27,2g	27,2g	25,2g	19,2g	20,0g
Contenu recyclé	0%	10%	10%	60%	0%	10%	100%
Extrusion	Quebec	Ontario	Ontario	Ontario	USA	USA	-
Formage	Quebec	Quebec	Quebec	Quebec	Quebec	Quebec	Quebec
Taux de recyclage	0%	15%	38%	38%	0%	17%	41%

* Le XPS considéré dans cette étude est de grade transformateur. Le XPS de grade épicerie est environ 30% plus léger.

Quinze impacts environnementaux ont été évalués et regroupés dans les cinq catégories suivantes : santé humaine, écosystèmes, changements climatiques, épuisement des ressources, acidification aquatique et eutrophisation aquatique (CIRAIG, 2011). Le sommaire des résultats est présenté au tableau 6.4. Les résultats sont rapportés relativement à la matière ayant le plus grand impact dans chaque catégorie (100 %) (Cascades, 2011a).

Tableau 6.4 Impact environnemental relatif des contenants.

(Tiré de Cascades, 2011a, p. 2)

	XPS Polystyrène expandé	OPS Polystyrène orienté	PET Polyéthylène téréphthalate	RPET* PET à 60% de contenu recyclé	PLA Polylactide	PP Polypropylène	MP Pâte moulée
Santé humaine	13 %	32 %	85 %	48 %	100 %	62 %	7 %
Écosystèmes	5 %	15 %	26 %	20 %	100 %	29 %	10 %
Changements climatiques	26 %	72 %	85 %	65 %	100 %	88 %	34 %
Épuisement des ressources	33 %	82 %	100 %	72 %	87 %	84 %	27 %
Acidification	19 %	44 %	52 %	39 %	100 %	90 %	10 %
Eutrophisation	18 %	23 %	59 %	36 %	100 %	71 %	26 %

* Dans l'étude du CIRAIG, le RPET était recyclé à 100%. Les valeurs d'impact du RPET contenant 60% de PET recyclé sont des moyennes pondérées du PET vierge et du RPET contenant 100% de PET recyclé.

Les résultats clés relatifs à l'ACV et pour les contenants et les procédés de fabrication spécifiques à Cascades sont les suivants (Cascades, 2011a) :

- La pâte moulée (MP) et le polystyrène expansé (XPS) sont les choix avec l'impact environnemental le plus faible;
- Les étapes de production des matières premières et de fabrication sont celles contribuant le plus aux impacts;
- L'emplacement choisi pour la fabrication a un impact significatif dû aux différences dans la distribution énergétique (l'hydroélectricité ayant significativement moins d'impact environnemental que l'électricité produite à partir de la combustion d'huile ou de charbon);
- La fin de vie a très peu d'impacts dans le cycle de vie total;
- Dans le contexte de cette étude, le PLA s'avère le pire choix environnemental.

6.2.3 Analyse et interprétation des résultats

Les résultats des deux ACV présentées ci-dessus sont intéressants à plusieurs égards et certaines similitudes sont notables. Les processus qui génèrent le plus d'impacts pour la presque totalité des indicateurs sont les étapes de production des matières premières et de fabrication des contenants. La revue de la littérature incluse dans les lignes directrices sur les ACV rédigées par Quantis fait état du même constat : « *l'étape de production et de mise en forme des contenants apparaît généralement comme l'étape ayant la contribution la plus importante pour la majorité des catégories d'impact* » (Quantis, 2011, p. 36). Les poids des contenants sont donc primordiaux et influenceront grandement les performances environnementales résultantes. Les deux études confirment cette tendance, car pour le PLA de NatureWorks, une réduction d'environ 25 % du poids du contenant réduit d'autant les impacts environnementaux pour tous les indicateurs (Krüger *et al.*, 2009). Il en va de même pour l'ACV du CIRAIG réalisée pour Cascades, car pour plusieurs des indicateurs, les impacts environnementaux les moins élevés sont associés au contenant le moins lourd fabriqué avec du polystyrène expansé (Cascades, 2011b).

Plusieurs différences sont par contre notables entre les deux études. Premièrement, au niveau de l'unité fonctionnelle, une spécification de résistance que doivent avoir les

contenants a été précisée pour l'ACV de l'IFEU concernant le PLA de NatureWorks. Au niveau de l'ACV du CIRAIG, l'unité fonctionnelle a pu être limitée aux dimensions du contenant dû à la fonction que doit remplir l'emballage. L'étude précise que certaines propriétés peuvent ne pas être équivalentes dont la résistance à l'eau ou la rigidité. Cette différence a une incidence sur la marge de manœuvre pouvant être utilisée lors de la détermination des caractéristiques des produits des différents scénarios, les poids des contenants par exemple.

Un autre point majeur qui distingue les deux études a trait aux performances environnementales des emballages en bioplastique (PLA). L'étude du CIRAIG pour les produits de Cascades identifie le PLA comme le pire choix environnemental, car comparativement aux autres matériaux, les impacts environnementaux potentiels sont les plus élevés pour cinq catégories d'indicateurs sur six. Au niveau de l'étude de l'IFEU sur le PLA de NatureWorks, les performances environnementales entre les emballages en PLA et PET sont beaucoup plus partagées. Ces résultats de l'IFEU démontrent qu'il est généralement difficile de comparer différentes options ou produits entre eux. Un produit peut démontrer des avantages sur quelques impacts potentiels et des désavantages sur certains autres (ADEME, 2005). Le tableau 6.2 démontre cette difficulté d'interprétation des résultats car les deux scénarios présentent des impacts potentiels qui sont moindres selon les différents indicateurs. L'IFEU indique d'ailleurs que la préférence entre l'un ou l'autre des matériaux pour les emballages, c'est-à-dire entre les scénarios du tableau 6.2, dépendra du jugement personnel et individuel porté sur les différents indicateurs (Krüger *et al.*, 2009).

Il aurait été intéressant de prendre en considération des scénarios ou des indicateurs supplémentaires. Par exemple, pour ce qui est de l'ACV de l'IFEU, la disposition dans des sites d'enfouissement est le seul mode de traitement en fin de vie qui a été analysé pour les États-Unis. Évaluer la disposition des emballages en PLA par compostage aurait permis d'analyser les impacts de ce mode de traitement sur les différents indicateurs. D'autre part, l'ajout de la ressource en eau comme indicateur supplémentaire aurait été digne d'intérêt pour les deux études. La production du PLA requiert une consommation d'eau au niveau du

procédé de fabrication et de la culture du maïs qui constitue sa matière première. Une étude relate que cette consommation est concurrentielle avec celle des plastiques traditionnels d'origine fossile (Álvarez-Chávez *et al.*, 2012) mais la comparaison aurait été intéressante pour tous les scénarios.

Finalement, ce chapitre démontre toute la complexité reliée à non seulement la réalisation d'une ACV, mais aussi à l'analyse et à l'interprétation des résultats. Malgré l'existence de standards ISO, le degré de liberté relié à l'élaboration d'une ACV demeure important (European Bioplastics, 2008). Les auteurs doivent faire plusieurs choix et hypothèses et la collecte de données fiables est souvent complexe. Il est important de garder à l'esprit les limites et le caractère partiellement subjectif de l'ACV (*ibid.*). D'ailleurs, l'*European Bioplastics* considère que l'ACV est un bon outil pour évaluer les performances environnementales d'un produit, mais qu'il est trop complexe pour servir d'outil de communication aux consommateurs (*ibid.*). En bref, c'est une excellente méthode d'analyse et d'optimisation pour les fabricants, mais elle ne devrait pas être utilisée comme outil de marketing, trop de variables entrent en ligne de compte.

Puisque l'ACV prend en considération tout le cycle de vie, les résultats de l'étude ne seront applicables qu'aux produits ou procédés qui ont été analysés. Par exemple, le type de matières premières, la technologie de fabrication, les modes de transport, l'unité fonctionnelle choisie et les traitements en fin de vie sont quelques exemples des particularités uniques au système étudié. Les généralisations sur la meilleure performance environnementale d'un groupe de produits par rapport à un autre, les bioplastiques versus les plastiques traditionnels par exemple, ne sont donc pas possibles (European Bioplastics, 2008).

7 ANALYSE CRITIQUE SUR L'AVENIR DES BIOPLASTIQUES ET RECOMMANDATIONS

Une analyse sur l'avenir des bioplastiques utilisés pour les emballages alimentaires est tout d'abord effectuée aux deux premières sections de ce chapitre qui dressent un portrait des contraintes et facteurs de succès liés à leur essor. L'analyse est effectuée en intégrant plusieurs éléments des chapitres antérieurs. Quelques recommandations sont par la suite proposées afin de faciliter l'intégration des bioplastiques sur le marché québécois et améliorer les bénéfices reliés à leur utilisation.

7.1 Contraintes qui limitent l'essor des bioplastiques

La confusion au niveau de la terminologie, des coûts trop élevés, des propriétés qui ne sont pas toujours favorables, une problématique de gestion en fin de vie et une image négative au niveau des pratiques en agriculture représentent des freins à l'essor des bioplastiques.

La terminologie utilisée dans le domaine des bioplastiques est complexe dû aux différences dans l'utilisation des termes qui sont souvent délicates. Comme démontré au chapitre 5, ces subtilités engendrent la confusion des consommateurs qui peuvent aisément confondre la gestion en fin de vie des bioplastiques (biodégradable et compostable) avec l'origine des ressources utilisées pour concevoir le matériau (biosourcé). La différence entre les termes « biodégradable » et « compostable » est également subtile, car rappelons qu'un bioplastique doit satisfaire les exigences de certaines normes afin d'être considéré comme compostable. Ces distinctions et mécompréhensions, jumelées aux pratiques commerciales ou au marketing vert des entreprises, peuvent facilement conduire à des erreurs lorsque les consommateurs disposent des produits en fin de vie des emballages. *La caractérisation des matières résiduelles du secteur résidentiel au Québec 2010*, met en lumière ces risques d'erreurs puisque 22.4 % des contenants et emballages en PLA ont été récupérés par les citoyens par les bacs de recyclage (Recyc-Québec et Éco Entreprises Québec, 2010). Ces matières ne sont généralement pas acceptées dans la collecte sélective (*ibid.*) et peuvent contaminer la filière de recyclage du PET (ÉÉQ, 2012b). Un consensus sur la signification

des termes est également problématique auprès de la communauté scientifique et de l'industrie même. Par exemple, le manque d'uniformité dans l'utilisation du terme bioplastique est manifeste.

Les coûts sont également un frein majeur à l'essor des bioplastiques. Plusieurs sources sont assez unanimes sur les différences de prix et les bioplastiques seraient de 1.5 à 4 fois plus chers que les plastiques traditionnels (Mulot, 2007) (DiGregorio, 2009) (Doukhy-DeBoissoudy, 2011). Ce constat est confirmé par des données de 2012 récentes qui indiquent que le coût pour des granules de résine de PLA est environ 2.5 fois plus élevé que des granules de LDPE (Yezza, 2012c). Pour les mêmes applications, ces différences de prix rendent les bioplastiques peu concurrentiels et ont de la difficulté à convaincre les acheteurs potentiels. Au colloque québécois sur les bioplastiques compostables, qui s'est tenu à Sherbrooke en juin 2011, une responsable de Sobeys indiquait d'ailleurs que l'une des conditions pour que la compagnie soit intéressée par les bioplastiques compostables était que le prix global (emballage, opérations, contribution) soit sensiblement égal au coût des produits actuels (Paradis, 2011). Par ailleurs et comme mentionné au chapitre 4, les propriétés ne jouent pas toujours en faveur des bioplastiques. Par exemple, l'affinité avec l'eau et les faibles propriétés mécaniques de l'amidon thermoplastique constitue des limitations à son usage (Yu, 2009).

La gestion de fin de vie des emballages alimentaires au Québec n'est actuellement pas en faveur des bioplastiques biodégradables et compostables. L'exemple de l'emballage conçu avec du PLA présenté au chapitre 5 est représentatif de cette situation et démontre qu'aucune méthode de valorisation n'est adaptée à ce type de bioplastiques à Sherbrooke. Premièrement, les bioplastiques biodégradables peuvent avoir des impacts négatifs sur les filières de recyclage. Par exemple, les bouteilles de PLA ont une apparence similaire à celles qui sont fabriquées en PET et elles risquent donc d'être mal triées et d'affecter la filière de recyclage de ce matériau, spécialement si le tri est manuel (ÉÉQ, 2012b). Cette problématique est applicable à la ville de Sherbrooke car aucun système de tri optique n'est présentement utilisé au centre de tri (Sépahsafari, 2012). La présence de PLA lors des opérations de recyclage du PET, et plus spécifiquement lors de la mise en forme, cause

certaines problématiques. Une agglomération du PLA lors du séchage et de la mise en forme du PET ainsi qu'un jaunissement et opacification du PET recyclé sont entre autres deux des impacts observés (ÉEQ, 2012b). La fiche complète des problématiques ainsi répertoriées se trouve à l'annexe 3 et provient d'Éco Entreprises Québec (*ibid.*). Une étude du Centre de recherche industriel du Québec (CRIQ) a également démontré des impacts similaires reliés à la présence de sacs en bioplastique compostable dans la filière de recyclage des sacs de plastique traditionnel (Recyc-Québec, 2007). Les problèmes de compatibilité au niveau du recyclage sont présentement limités dû à la faible part de marché des bioplastiques biodégradables. L'augmentation de la demande pour les bioplastiques prévue au cours des prochaines années par les études de marché pourrait par contre accentuer la problématique. Deuxièmement, plusieurs municipalités n'acceptent pas la très grande majorité des bioplastiques compostables au niveau de leur processus de compostage, même s'ils sont certifiés. Au niveau de la ville de Sherbrooke par exemple, les seuls bioplastiques compostables acceptés actuellement sont les sacs compostables certifiés par le BNQ (Ville de Sherbrooke, 2008). Le ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) a par ailleurs resserré très récemment ses lignes directrices pour l'encadrement des activités de compostage applicables aux lieux de compostage industriel. Elles indiquent qu'un sac compostable « *est considéré au même titre que les sacs de plastique, puisqu'il est tout aussi susceptible d'engendrer des conditions anaérobies* » (MDDEP, 2012, p. 12). Pour se prévaloir du droit d'exclusion administrative ou en d'autres mots, pour ne pas avoir à demander de certificat d'autorisation, les sacs compostables ne doivent pas être acceptés comme intrants. Seuls les sacs de papier sont acceptés (MDDEP, 2012). Les explications précédentes démontrent toute la problématique derrière les emballages ou produits conçus avec des bioplastiques compostables, car bien souvent, la seule option de fin de vie pour ces matériaux est le LET. On perd alors de la matière qui n'est pas valorisée et l'on va à l'encontre des objectifs de la *Politique québécoise de gestion des matières résiduelles* (MDDEP, 2011). La solution de traitement en fin de vie sur laquelle était originalement basée la promotion des bioplastiques compostables est malheureusement devenue un problème.

Les bioplastiques biosourcés sont tributaires de l'agriculture d'où ils tirent leurs matières premières, dont le maïs et la canne à sucre. L'emploi de ressources détournées des filières alimentaires est l'une des critiques souvent formulées à l'égard de ces pratiques. Afin de relativiser cette problématique, les fabricants de bioplastiques biosourcés mentionnent des statistiques intéressantes. Selon NatureWorks, leur procédé de fabrication du PLA ne requiert que 0.11 % des cultures fourragères de maïs disponibles comparativement à 25 à 40 % pour produire l'éthanol destiné aux carburants (Deligio, 2011). Un autre fabricant de bioplastiques biosourcés, Novamont, souligne des statistiques similaires. Les bioplastiques utiliseront 0.29 % de la surface agricole européenne en 2015 si l'augmentation des parts de marché anticipée se concrétise (Doukhy-DeBoissoudy, 2011). Par contre, les ressources agricoles utilisées pour la production de bioplastiques biosourcés sont généralement cultivées selon des méthodes de production industrielles et une quantité significative d'énergie, d'eau, de terre, d'OGM, de pesticides et de fertilisants sont nécessaires. Ces méthodes épuisent donc les ressources naturelles et risquent de polluer l'eau, l'air et le sol (Álvarez-Chávez *et al.*, 2012).

7.2 Facteurs favorisant la croissance du marché occupé par les bioplastiques

Malgré les freins liés à l'essor des bioplastiques, les prévisions de croissance sont excellentes au cours des prochaines années. La demande globale pour les bioplastiques devrait doubler entre 2013 et 2018 pour atteindre près de 2 millions de tonnes métriques (Lachance, 2011). Aux États-Unis, une tendance similaire est prévue et la demande pour les bioplastiques devrait grimper de 16 % par année jusqu'en 2016 (Converting Quarterly, 2012). Les innovations technologiques qui augmentent les propriétés de ce type de matériaux et qui diminuent leurs prix devraient conduire à cette croissance (*ibid.*).

Une réglementation plus restrictive à l'égard de l'utilisation des plastiques d'origine fossile non biodégradables a assurément une influence positive sur la demande des bioplastiques compostables. Plusieurs pays ont mis en place des réglementations interdisant, limitant ou taxant les sacs jetables qui dans certains cas favorisent les bioplastiques. Par exemple, depuis janvier 2011, l'Italie interdit les sacs d'emplettes à usage unique non compostables

d'origine fossile tout en permettant les sacs en bioplastiques compostables (Laird, 2011c). Les consommateurs sont également plus soucieux de se procurer des produits respectueux de l'environnement et les caractères biosourcés et compostables des bioplastiques constituent des atouts que les fabricants mettent en valeur à l'aide d'un marketing vert. La compagnie Coca-Cola affirme par exemple que l'utilisation de ressources renouvelables pour produire ses bouteilles en PET biosourcées a permis de diminuer les émissions de dioxyde de carbone de 30 000 tonnes métriques en 2010 (The Coca-Cola Company, 2012b). Cette réduction est comparée à un scénario où toutes les bouteilles en PET pour la même période auraient été produites à 100 % de ressources non renouvelables (*ibid.*). Dans le même ordre d'idée, NatureWorks avance que la production de son PLA génère 60 % moins d'émissions de gaz à effet de serre que les plastiques traditionnels comme le PET ou le PS (NatureWorks, 2012c). Comme souligné au chapitre 6, une prudence est de mise lors de l'interprétation des gains environnementaux avancés par les compagnies. Les analyses du cycle de vie (ACV), qui servent souvent de références pour la promotion de ces gains, indiquent dans la majorité des cas des impacts environnementaux qui sont favorables tandis que certains autres ne le sont pas (ADEME, 2005).

L'Association canadienne de l'industrie des plastiques souligne que la production totale de plastique ne requiert que 4 % des réserves mondiales de pétrole (Gervais, 2010). Malgré ces statistiques, une moins grande dépendance aux hydrocarbures dont les prix fluctuent considérablement est un facteur qui favorise grandement la demande pour les bioplastiques biosourcés. Comme signalé précédemment, la gestion en fin de vie est problématique pour les bioplastiques compostables, mais il en est autrement des bioplastiques biosourcés non biodégradables. Plusieurs entreprises importantes dans l'industrie de l'alimentation utilisent ou prévoient utiliser ce type de bioplastiques. Comme souligné au chapitre 4, c'est le cas notamment des entreprises Coca-Cola et Pepsi pour leurs bouteilles en PET ainsi que Danone pour certains de ses pots fabriqués en HDPE. Ces contenants biosourcés mais non biodégradables sont transparents et parfaitement compatibles avec les filières de recyclage actuelles. Une étude de marché de Smithers Pira prévoit d'ailleurs une croissance très marquée pour ces matériaux (Pierce, 2011). La croissance prévue au niveau de la demande de polyéthylène biosourcé est estimée à 83 % entre 2010 et 2020 (*ibid.*) et d'après une autre

étude du Freedonia Group, l'augmentation de la capacité de production devrait réduire ses coûts (Converting Quarterly, 2012).

7.3 Recommandations

En se basant sur le portrait des bioplastiques qui a été dressé dans les chapitres précédents ainsi que sur les freins limitant leur essor, plusieurs recommandations peuvent être avancées afin de faciliter leur intégration sur le marché québécois et améliorer les bénéfices liés à leur utilisation. La sensibilisation, la réduction à la source, le développement de marchés de niche, la certification et l'utilisation de ressources qui ne concurrencent pas le domaine alimentaire sont les recommandations décrites ci-dessous.

7.3.1 Sensibilisation et éducation

Puisque la confusion au niveau de la terminologie des bioplastiques est l'un des principaux problèmes liés à leur essor, la sensibilisation et l'éducation de la population sont essentielles. Par exemple, une bonne compréhension du terme « compostable » est primordiale car comme expliqué au chapitre 2, les processus de certification et leurs logos respectifs réfèrent à un compostage industriel ou municipal dans la très grande majorité des cas. Ces bioplastiques ne sont pas conçus pour le compostage domestique et ne se dégraderont pas dans la nature. La sensibilisation doit non seulement provenir des municipalités et des sociétés d'État comme Recyc-Québec, mais aussi des compagnies mêmes afin de rendre les messages plus clairs. Le message véhiculé par les fabricants devrait mettre de l'avant des concepts faciles à comprendre et les bénéfices de l'emballage qui interpellent les consommateurs (Verespej, 2011). Selon un expert du Biodegradable Products Institute, un exemple d'un tel message est : « *Recyclable avec les bouteilles en PET, réduit l'empreinte carbone, réduction de 3 millions de gallons d'hydrocarbures* » (*ibid.*). Cette façon de faire représente un défi pour les compagnies car le message doit être concis sur les étiquettes (*ibid.*). L'augmentation des parts de marché des bioplastiques qui est anticipée durant les prochaines années est un signal quant à l'urgence d'agir afin de mieux sensibiliser la population.

Plusieurs exemples démontrent l'importance d'une bonne sensibilisation nécessaire au succès d'un projet ou d'une réglementation visant les bioplastiques. Par exemple, une longue période de préparation a précédé l'implantation de la réglementation concernant le bannissement des sacs d'emplettes d'origine fossile non compostables en Italie (Laird, 2011c). Le cadre légal a été mis en place dès 2007 et une campagne a été lancée afin d'éduquer le public avant l'entrée en vigueur complète du bannissement en 2011 (*ibid.*). Qui plus est, il est permis de disposer des sacs compostables avec la matière organique sous la réglementation italienne, renforçant ainsi l'importance du processus de sensibilisation préalable (*ibid.*). Par ailleurs, la ville du Lac Mégantic signale la grande importance qu'a eue la sensibilisation lors de l'implantation de la collecte à trois voies à cause de la confusion entre les plastiques biodégradables, compostables et oxo-biodégradables (Mercier, 2011).

7.3.2 La réduction à la source

Cette recommandation est applicable à tous les emballages et non seulement aux emballages en bioplastique. Elle s'appuie entre autres sur le *Code volontaire pour l'optimisation des contenants, emballages et imprimés* développé par Éco Entreprise Québec. Le code est une première initiative volontaire de l'industrie, à l'échelle du Canada, dans un cadre de responsabilité élargie des producteurs (REP) (ÉEQ, 2011).

La réduction à la source entre dans une démarche d'écoconception qui vise à minimiser l'impact du couple contenu-contenant sur l'environnement tout au long du cycle de vie (Yeza, 2012b). Elle respecte également les principes de la *Politique québécoise de gestion des matières résiduelles* basée sur la hiérarchie des 3RV-E. Selon la politique :

« *La réduction à la source, le réemploi, le recyclage, y compris par traitement biologique ou épandage sur le sol, les autres formes de valorisation de la matière, la valorisation énergétique et l'élimination doivent être privilégiés dans cet ordre dans le domaine de la gestion des matières résiduelles* » (MDDEP, 2011, p. 8).

La réduction à la source vise à éliminer une problématique importante, le suremballage. Il faut cependant garder à l'esprit les rôles de l'emballage qui sont de protéger, transporter,

conserver et stocker le produit qu'il contient tout en informant sur ce dernier (Yezza, 2012b). Afin d'éliminer le suremballage, la notion de point critique qui est illustré à la figure 7.1 est importante. C'est l'optimum à atteindre qui correspond au poids ou au volume de l'emballage où l'impact environnemental est minimum. Il est intéressant de constater qu'avec une réduction de poids ou volume supplémentaire, l'impact environnemental devient rapidement plus élevé que celui relié au suremballage. Ce phénomène est lié à la perte du produit alimentaire que l'emballage renferme.

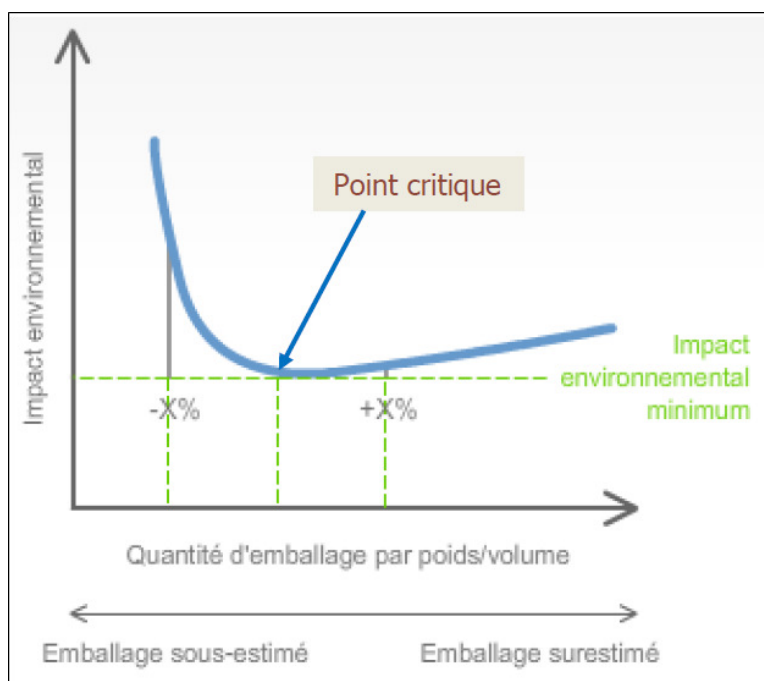


Figure 7.1 Point critique des emballages.
(Tiré du Conseil National de l'emballage, 2012, p. 9)

La démarche est profitable aux fabricants à cause des gains reliés à la diminution des matières premières, de l'énergie et des coûts de transport (Yezza, 2012b). C'est une approche également bénéfique au niveau des ventes, car l'image de l'entreprise est rehaussée et les produits plus attrayants aux yeux des consommateurs. Pour les fabricants, les coûts à payer pour compenser les coûts nets des services municipaux de collecte sélective sont moindres car les tarifs sont fixés au poids (ÉEQ, 2012e). Moins de matières résiduelles sont également produites et les gains environnementaux sont donc attribuables à l'ensemble des produits mis sur le marché. Cet aspect est important lorsqu'on prend en

considération que seulement 32.6 % des matières plastiques sont récupérées par les ménages québécois par la collecte sélective municipale (Recyc-Québec et Éco Entreprises Québec, 2010).

7.3.3 Développement de marchés de niche

Le développement de marchés de niche présente d'excellentes opportunités pour les produits bioplastiques biodégradables et compostables. Les industries, commerces et institutions (ICI) sont entre autres des endroits favorables à l'utilisation d'emballages et de vaisselles conçus en bioplastique compostable. Le contrôle sur la gestion en fin de vie de ces derniers est plus élevé et ils facilitent le compostage dû à la possibilité de disposer des résidus alimentaires en même temps que les produits compostables sans tri préalable. Le compostage à l'université de Sherbrooke est un bon exemple de ce potentiel. L'université utilise sa propre unité de compostage depuis 2010 et la vaisselle de styromousse ou non récupérable a été remplacée par de la vaisselle compostable depuis 2008 (Cordeau, 2011). Le compost est utilisé sur les terrains de l'université et le projet de 75 tonnes métriques par année permet de réduire les gaz à effet de serre de 120 tonnes métriques annuellement (*ibid.*). Le caractère compostable de certains bioplastiques dans le sol rend également possible leur utilisation pour des applications agricoles. La résine Mirel du fabricant Metabolix peut par exemple servir de films de paillage, qui peuvent par la suite être labourés dans le sol permettant d'économiser les coûts de disposition (DiGregorio, 2009).

7.3.4 Certifications et attestations derrière les allégations environnementales

Les processus de certification et les logos « compostables » passés en revue au chapitre 3 servent à garantir que le bioplastique se biodégradera selon des standards rigoureux. Les processus sont laborieux et demandent des ressources financières et humaines considérables, mais ils devraient être privilégiés par les fabricants de bioplastiques afin de donner de la crédibilité aux allégations de compostabilité de leurs produits. Ils procurent l'assurance aux composteurs que les bioplastiques n'affecteront pas les activités de compostage, qu'ils n'altéreront pas la qualité du compost et qu'ils se biodégraderont dans des délais raisonnables. L'image des bioplastiques compostables s'en trouverait améliorée

tout en facilitant leur accessibilité aux installations municipales et industrielles de compostage.

Par ailleurs, certains programmes de certification ont trait aux pratiques agricoles et sont intéressants au niveau des bioplastiques. Par exemple, le *Working Landscapes Certificate* (WLC) promeut des pratiques agricoles plus durables pour la production de biomasse destinée aux matériaux biosourcés (SBC, 2012b). Ne pas utiliser de cultures génétiquement modifiées, ne pas utiliser de produits chimiques connus comme cancérigènes chez les humains et certaines mesures afin de minimiser l'érosion du sol sont parmi les critères de production inclus dans le programme (*ibid.*). La compagnie NatureWorks a annoncé dernièrement qu'elle avait obtenu cette certification pour les emballages fabriqués avec son PLA qui sont vendus en Allemagne par Danone (Laird, 2012a). Elle a également obtenu une autre certification du même type pour les mêmes produits, *l'International Sustainability & Carbon Certification* (ISCC) (*ibid.*).

7.3.5 Matières premières qui n'entrent pas en concurrence avec les produits alimentaires

Produire des bioplastiques de deuxième génération issus de ressources qui ne font pas concurrence à l'alimentation humaine et animale est une autre importante recommandation qui améliorerait l'image des bioplastiques considérablement. Comme soulevé au chapitre 4.3, plusieurs compagnies cherchent présentement à produire des bioplastiques à l'aide de solutions de rechange. Utiliser des matières premières comme des algues, des matières résiduelles provenant de l'agriculture et même du dioxyde de carbone sont parmi les options envisagées.

CONCLUSION

Les bioplastiques sont souvent présentés comme des solutions plus écologiques que les plastiques traditionnels. Les emballages alimentaires non biodégradables à usage unique conçus à l'aide de plastique d'origine fossile ont mauvaise presse dû entre autres, à la quantité de matières résiduelles qu'ils génèrent. Ce type d'emballages est un créneau convoité par les bioplastiques qui projettent une image positive grâce à leur caractère souvent biodégradable ou parce qu'ils proviennent de ressources renouvelables. Le marché qu'ils occupent est par contre marginal et ils doivent faire face à plusieurs problématiques qui limitent leur essor.

Deux étapes ont permis de satisfaire l'objectif principal de l'essai consistant à analyser l'usage actuel des bioplastiques biodégradables, compostables et biosourcés pour les emballages alimentaires. Dans un premier temps, le portrait des bioplastiques a été dressé afin d'apporter une compréhension suffisante du sujet et des enjeux environnementaux. Ces informations servent d'assises et sont essentielles aux sections subséquentes du rapport qui posent un diagnostic sur l'usage actuel des bioplastiques dans le domaine des emballages alimentaires.

Concernant la première étape, la mise en contexte, la terminologie, les processus de certification et la classification des bioplastiques ont été décrits et ont permis de dresser un portrait complet de ces matériaux. La terminologie liée aux bioplastiques est complexe et représente une des causes qui expliquent la confusion des consommateurs. Les bioplastiques peuvent être biosourcés, biodégradables ou les deux à la fois. Cette distinction entre l'origine de la ressource et la gestion en fin de vie du matériau est importante, tout comme la différence entre les termes biodégradable et compostable. Pour être considéré comme compostable, un bioplastique doit satisfaire les conditions de certains standards européens ou américains. Des processus de certification sont liés à ces standards et permettent l'utilisation de différents logos lorsque le bioplastique répond aux nombreuses exigences de compostabilité. Les quatre groupes de bioplastiques ainsi que des exemples d'applications ont finalement été présentés au chapitre 4 et viennent clore le portrait des

bioplastiques. Il y a plusieurs moyens pour regrouper les bioplastiques mais une classification par procédé de fabrication a été privilégiée.

Pour ce qui est de la deuxième étape de l'essai reliée à l'analyse critique de l'usage actuel des bioplastiques, les raisons qui mènent à la confusion des consommateurs ont tout d'abord été cernées. La terminologie jumelée aux méthodes de commercialisation et à une méconnaissance des bioplastiques conduisent facilement à des erreurs lors de la disposition des emballages. Par ailleurs, l'analyse du cycle de vie est un outil souvent utilisé pour comparer la performance environnementale des emballages alimentaires en bioplastique avec leurs pendants conçus en plastique traditionnel. Deux études récentes ont été analysées au chapitre 6 et démontrent qu'il est essentiel de considérer la complexité liée à non seulement la réalisation de telles études mais aussi à l'interprétation des résultats. Une analyse sur l'avenir des bioplastiques a conclu le diagnostic posé sur ces matériaux. Les principaux freins à leur essor sont la confusion au niveau de la terminologie, des coûts trop élevés, des propriétés qui ne sont pas toujours favorables, une problématique de gestion en fin de vie et une image négative au niveau des pratiques en agriculture. D'autre part, une réglementation favorable, une moins grande dépendance au pétrole pour les bioplastiques biosourcés et des innovations qui auront une incidence positive sur les prix sont des facteurs qui contribueront à une croissance des ventes.

Plusieurs études de marché indiquent une augmentation très importante de la demande globale des bioplastiques au cours des prochaines années. Ils viennent intensifier l'urgence de mieux éduquer et sensibiliser la population envers ces matériaux encore relativement nouveaux sur le marché. Mieux structurer la gestion de fin de vie des bioplastiques sera également essentiel afin de répondre à l'accroissement des matières résiduelles associées à leur plus grande présence sur les marchés.

RÉFÉRENCES

- Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME) (2005). Introduction à l'Analyse de Cycle de Vie (ACV). In ADEME. *Site de l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie*, [En ligne]. <http://www.precodd.fr/servlet/KBaseShow?sort=-1&cid=96&m=3&catid=12908> (Page consultée le 19 août 2012).
- AIB Vinçotte (2012a). À propos de Vinçotte. In AIB Vinçotte. *Site du AIB Vinçotte*, [En ligne]. <http://www.vincotte.com/fr/a-propos-de-vincotte/a-propos-de-vincotte/> (Page consultée le 5 septembre 2012).
- AIB Vinçotte (2012b). Certification OK Compost de produits finis : A quoi faut-il être attentif? In AIB Vinçotte. *Site du AIB Vinçotte*, [En ligne]. <http://www.okcompost.be/data/pdf-document/Doc-13f-a-Certification-de-produits-finis.pdf> (Page consultée le 2 août 2012).
- AIB Vinçotte (2012c). Produits déjà certifiés. In AIB Vinçotte. *Site du AIB Vinçotte*, [En ligne]. <http://www.okcompost.be/fr/produits-deja-certifies/> (Page consultée le 5 septembre 2012).
- AIB Vinçotte (2012d). Signification de OK biobased. In AIB Vinçotte. *Site du AIB Vinçotte*, [En ligne]. <http://www.okcompost.be/data/pdf-document/Doc-30f-a-Signification-de-OK-biobased.pdf> (Page consultée le 5 août 2012).
- Allard, S. (2012). Discussion au sujet du programme de certification des plastiques compostables CAN/BNQ/ISO 0017-088. Communication orale. *Entrevue téléphonique menée par Richard Lapointe avec Sylvain Allard, Normalisateur au Bureau de Normalisation du Québec (BNQ)*, 7 août 2012, Calgary.
- Allsopp, M., Walters, A., Santillo, D. and Johnston, P. (2006). Plastic Debris in the World's Oceans. In Greenpeace. *Site de Greenpeace*, [En ligne]. http://www.greenpeace.org/international/Global/international/planet-2/report/2007/8/plastic_ocean_report.pdf (Page consultée le 14 août 2012).
- Álvarez-Chávez, C.R., Edwards, S., Moure-Eraso, R. and Geser, K. (2012). Sustainability of bio-based plastics: general comparative analysis and recommendations for improvement. *Journal of Cleaner Production*, vol. 23, n° 1, p. 47-56.
- American Society for Testing and Materials (ASTM) (2004). *Standard Practice for Evaluating and Reporting Environmental Performance of Biobased Products*. West Conshohocken, ASTM International, 9p. (D7075-4).
- American Society for Testing and Materials (ASTM) (2011a). *Standard Specification for Labeling of End Items that Incorporate Plastics and Polymers as Coatings or*

- Additives with Paper and Other Substrates Designed to be Aerobically Composted in Municipal or Industrial Facilities*. West Conshohocken, ASTM International, 3p. (D6868-11).
- American Society for Testing and Materials (ASTM) (2011b). *Standard Test Method for Determining Aerobic Biodegradation of Plastic Materials Under Controlled Composting Conditions. Incorporating Thermophilic Temperatures*. West Conshohocken, ASTM International, 6p. (D5338-11).
- American Society for Testing and Materials (ASTM) (2012). *Standard Specification for Labeling of Plastics Designed to be Aerobically Composted in Municipal or Industrial Facilities*. West Conshohocken, ASTM International, 3p. (D6400-12).
- Association canadienne de normalisation (CSA) (2008). PLUS 14021 - Déclarations environnementales : Guide pour l'industrie et les publicitaires. In Bureau de la concurrence du Canada. *Site du Bureau de la concurrence du Canada*, [En ligne]. <http://www.bureaudelaconcurrence.gc.ca/eic/site/cb-bc.nsf/fra/02701.html> (Page consultée le 2 août 2012).
- Avérous, L. (2007). Les Polymères Biodégradables : quelles finalités, quelles opportunités? In Luc Avérous. *Site de Luc Avérous*, [En ligne]. <http://averousl.free.fr/biodegradable.html> (Page consultée le 9 août 2012).
- BASF (2010). Polymères biodégradables - inspirés par la nature - Ecoflex®, Ecovio®. In BASF. *Site de BASF*, [En ligne]. <http://www.bioplastics.basf.com/pdf/Ecoflex-EcovioBrochure-FR.pdf> (Page consultée le 9 août 2012).
- BASF (2012). BASF at a glance. In BASF. *Site de BASF*, [En ligne]. <http://www.basf.com/group/corporate/en/about-basf/index?mid=0> (Page consultée le 5 septembre 2012).
- Biodegradable Products Institute (BPI) (2011a). BPI-NSF Certification Process. In BPI. *Site du Biodegradable Products Institute*, [En ligne]. <http://www.bpiworld.org/Resources/Documents/BPI%20Certification%20Process%20V5%20May%202012.pdf> (Page consultée le 2 août 2012).
- Biodegradable Products Institute (BPI) (2011b). Recommended Labeling Guidelines for “Compostable” Products and Packaging. In BPI. *Site du Biodegradable Products Institute*, [En ligne]. <http://www.bpiworld.org/Resources/Documents/Recommended%20BPI%20Labeling%20Guidelines%20Jan%202011.pdf> (Page consultée le 2 août 2012).
- Biodegradable Products Institute (BPI) (2012a). The Compostable Label. In BPI. *Site du Biodegradable Products Institute*, [En ligne]. <http://www.bpiworld.org/BPI-Public/Program.html> (Page consultée le 5 septembre 2012).

- Biodegradable Products Institute (BPI) (2012b). Find Certified Compostable Products. *In* BPI. *Site du Biodegradable Products Institute*, [En ligne]. <http://www.bpiworld.org/BPI-Public/Approved/1.html> (Page consultée le 5 septembre 2012).
- Biodegradable Products Institute (BPI) (2012c). Welcome to BPI World. *In* BPI. *Site du Biodegradable Products Institute*, [En ligne]. <http://www.bpiworld.org/> (Page consultée le 5 septembre 2012).
- Braskem (2011a). Green products. *In* Braskem. *Site de Braskem*, [En ligne]. <http://www.braskem.com.br/site.aspx/green-products> (Page consultée le 9 août 2012).
- Braskem (2011b). Innovative and sustainable partnerships. *In* Braskem. *Site de Braskem*, [En ligne]. http://www.braskem.com.br/plasticoverde/eng/parcerias_cases.html (Page consultée le 9 août 2012).
- Braskem (2011c). Line of renewable products. *In* Braskem. *Site de Braskem*, [En ligne]. <http://www.braskem.com.br/plasticoverde/eng/Produto.html> (Page consultée le 9 août 2012).
- Braskem (2011d). The strength of chemicals focused on business sustainability. *In* Braskem. *Site de Braskem*, [En ligne]. <http://www.braskem.com.br/plasticoverde/eng/braskem.html> (Page consultée le 5 septembre 2012).
- Bureau de normalisation du Québec (BNQ) (s. d.). Certification. *In* BNQ. *Site du Bureau de normalisation du Québec*, [En ligne]. <http://www.bnq.qc.ca/fr/certif/index.html> (Page consultée le 5 septembre 2012).
- Bureau de normalisation du Québec (BNQ) (2010). Aperçu du document - programme de certification CAN/BNQ/ISO 0017-088 Plastiques compostables. *In* BNQ. *Site du Bureau de normalisation du Québec*, [En ligne]. http://www-es.criq.qc.ca/pls/owa_es/bnqw_norme.detail_norme?p_lang=fr&p_id_norm=12671&p_code_menu=CERTIF (Page consultée le 1 août 2012).
- Bureau de normalisation du Québec (BNQ) (2011). Avis de modification au programme de certification 9011-911. *In* BNQ. *Site du Bureau de normalisation du Québec*, [En ligne]. http://www.bnq.qc.ca/fr/certif/detail_programme/detail_9011-911.html (Page consultée le 1 août 2012).
- Cascades (2011a). Analyse du cycle de vie de divers contenants alimentaires. *In* Cascades. *Site de Cascades*, [En ligne]. http://www.cascades.com/client_file/upload/pdf/acv/ACV_Emballages_Survol_Technique.pdf (Page consultée le 26 août 2012).

- Cascades (2011b). Analyse du cycle de vie d’emballages alimentaires - De la perception à la réalité scientifique! *In Cascades. Site de Cascades*, [En ligne]. http://www.cascades.com//client_file/upload/pdf/acv/ACV_Emballages_Resume.pdf (Page consultée le 26 août 2012).
- Centre interuniversitaire de recherche sur le cycle de vie des produits, procédés et services (CIRAIG) (2011). Final assessment report – Comparative life cycle assessment report of food packaging products. *In Cascades. Site de Cascades*, [En ligne]. http://www.cascades.com//client_file/upload/pdf/acv/LCA_Food_Packaging_Products.pdf (Page consultée le 26 août 2012).
- Centre interuniversitaire de recherche sur le cycle de vie des produits, procédés et services (CIRAIG) (2012). Que sommes-nous? *In CIRAIG. Site du Centre interuniversitaire de recherche sur le cycle de vie des produits, procédés et services*, [En ligne]. <http://www.ciraig.org/fr/presentation.php> (Page consultée le 26 août 2012).
- Cereplast (2012a). Cereplast Compostables®. *In Cereplast. Site de Cereplast*, [En ligne]. <http://www.cereplast.fr/products/compostables/> (Page consultée le 9 août 2012).
- Cereplast (2012b). RezInnovation™. *In Cereplast. Site de Cereplast*, [En ligne]. <http://www.cereplast.fr/innovation/> (Page consultée le 9 août 2012).
- Comité européen de normalisation (CEN) (2001). Référence de la norme EN 13432 :2000. *In CEN. Site du Comité Européen de Normalisation*, [En ligne]. <http://www.cen.eu/cen/pages/default.aspx> (Page consultée le 1 août 2012).
- Conseil National de l’Emballage (2012). Éco-conception & Emballages - Guide méthodologique. *In Conseil National de l’Emballage. Site du Conseil National de l’Emballage*, [En ligne]. http://www.conseil-emballage.org/Img/Publications/84_0.pdf (Page consultée le 24 août 2012).
- Converting Quarterly (2012). US bioplastics demand to exceed 550M lbs in 2016. *In Converting Quarterly. Site de Converting Quarterly*, [En ligne]. <http://www.convertingquarterly.com/industry-news/articles/id/4440/us-bioplastics-demand-to-exceed-550m-lbs-in-2016.aspx> (Page consultée le 24 août 2012).
- Cordeau, P. (2011). L’intégration des bioplastiques dans un processus de gestion globale des matières organiques. *Colloque québécois sur les bioplastiques compostables*, Sherbrooke, 2 juin 2011.
- Danone (2011). Danone adopte des technologies vertes pour ses emballages. *In Danone. Danone*, 19 avril, [En ligne]. http://www.danone.ca/sites/default/files/press-pdfs/Communique_projet%20Green_19-04-2011.pdf (Page consultée le 27 août 2012).

- Deligio, T. (2011). Can PLA take the next big step? *In* *Plastics Today*. *Site de Plastics Today*, [En ligne]. <http://www.plasticstoday.com/articles/can-pla-take-next-big-step> (Page consultée le 23 août 2012).
- Detzel, A. and Krüger, M. (2006). Life Cycle Assessment of polylactide (PLA). *In* IFEU. *Site de l'Institute for Energy and Environmental Research*, [En ligne]. [http://www.ifeu.org/oekobilanzen/pdf/LCA%20of%20clam%20shells%20from%20PLA%20and%20traditional%20polymers%20\(Oct%202006\).pdf](http://www.ifeu.org/oekobilanzen/pdf/LCA%20of%20clam%20shells%20from%20PLA%20and%20traditional%20polymers%20(Oct%202006).pdf) (Page consultée le 20 août 2012).
- DiGregorio, B.E. (2009). Biobased Performance Bioplastic: Mirel. *Chemistry & Biology*, vol. 16, n° 1, p. 1-2.
- Din Certco (s. d.a). About us. *In* Din Certco. *Site du Din Certco*, [En ligne]. http://www.dincertco.de/en/about_us.html (Page consultée le 5 septembre 2012).
- Din Certco (s. d.b). Search for certificates via branches. *In* Din Certco. *Site du Din Certco*, [En ligne]. http://www.dincertco.de/en/search_for_certificates_via_branches.html (Page consultée le 5 septembre 2012).
- Doukhy-DeBoissoudy, C. (2011). Développement des bioplastiques en Europe et cadre législatif. *Colloque québécois sur les bioplastiques compostables*, Sherbrooke, 2 juin 2011.
- Éco Entreprises Québec (ÉEQ) (2011). Sommaire du Code volontaire pour l'optimisation des contenants, emballages et imprimés. *In* ÉEQ. *Site de Éco Entreprises Québec*, [En ligne]. <http://www.ecoentreprises.qc.ca/entreprises/bonnes-pratiques/code-volontaire-contenants-emballages-et-imprimés> (Page consultée le 24 août 2012).
- Éco Entreprises Québec (ÉEQ) (2012a). Analyses du cycle de vie - Lignes directrices pour la réalisation d'analyses du cycle de vie visant les emballages. *In* ÉEQ. *Site de Éco Entreprises Québec*, [En ligne]. <http://www.ecoentreprises.qc.ca/entreprises/bonnes-pratiques-des-entreprises/analyses-du-cycle-de-vie/lignes-directrices-pour-la-realisation-danalyses-du-cycle-de-vie-visant-les-emballages> (Page consultée le 19 août 2012).
- Éco Entreprises Québec (ÉEQ) (2012b). Fiche technique - Impacts des emballages sur la collecte sélective et le recyclage. *In* ÉEQ. *Site de Éco Entreprises Québec*, [En ligne]. http://www.ecoentreprises.qc.ca/documents/pdf/applications/fiche3_tech_impact_emballage_fr.pdf (Page consultée le 5 août 2012).
- Éco Entreprises Québec (ÉEQ) (2012c). Qui sommes-nous? *In* ÉEQ. *Site de Éco Entreprises Québec*, [En ligne]. <http://www.ecoentreprises.qc.ca/qui-sommes-nous> (Page consultée le 14 août 2012).
- Éco Entreprises Québec (ÉEQ) (2012d). Le Québec dépasse son objectif et réduit son utilisation de sacs d'ampoules uniservices (à usage unique) de 52 %. *In* ÉEQ. *Site*

- de *Éco Entreprises Québec*, [En ligne]. <http://www.ecoentreprises.qc.ca/nouvelles-et-evenements/nouvelles/le-quebec-depasse-son-objectif-et-reduit-son-utilisation-de-52> (Page consultée le 14 août 2012).
- Éco Entreprises Québec (ÉEQ) (2012e). Tarifs de ÉEQ - Grilles de contributions par matière? In *ÉEQ. Site de Éco Entreprises Québec*, [En ligne]. <http://www.ecoentreprises.qc.ca/entreprises/tarifs/grilles-de-contributions-par-matiere> (Page consultée le 14 août 2012).
- Ellipsos (2007). Du concept à la pratique. In *Ellipsos. Site de Ellipsos*, [En ligne]. <http://www.ellipsos.ca/modules/content/index.php?id=25> (Page consultée le 17 août 2012).
- Environnement Canada (2010). Pétrole. In *Environnement Canada. Site d'Environnement Canada*, [En ligne]. <http://www.ec.gc.ca/energie-energy/default.asp?lang=fr&n=804660DC-1> (Page consultée le 14 août 2012).
- European Bioplastics (2008). Position paper – Nov 2008 – Life cycle assessment of bioplastics. In *European Bioplastics. Site de l'European Bioplastics*, [En ligne]. http://en.european-bioplastics.org/wp-content/uploads/2011/04/pp/LCA_PositionPaper.pdf (Page consultée le 22 août 2012).
- European Bioplastics (2009). Position paper – July 2009 – "Oxo-biodegradable" plastics. In *European Bioplastics. Site de l'European Bioplastics*, [En ligne]. http://en.european-bioplastics.org/wp-content/uploads/2011/04/pp/Oxo_PositionPaper.pdf (Page consultée le 5 août 2012).
- European Bioplastics (2011). Fact sheet-What are bioplastics? In *European Bioplastics. Site de l'European Bioplastics*, [En ligne]. http://en.european-bioplastics.org/wp-content/uploads/2011/04/fs/Bioplastics_eng.pdf (Page consultée le 31 juillet 2012).
- European Bioplastics (s. d.). Bioplastics - What differentiates bioplastics from conventional plastics? In *European Bioplastics. Site de l'European Bioplastics*, [En ligne]. <http://en.european-bioplastics.org/bioplastics/> (Page consultée le 10 août 2012).
- Gagnon, B. (2010). Gestion du cycle de vie et écoconception. *Présentation dans le cadre du cours ENV805-Application du développement durable de l'université de Sherbrooke*, Sherbrooke, 14 septembre 2010.
- Gervais, H. (2010). Les plastiques - Fiche informative. In *Recyc-Québec. Site de Recyc-Québec*, [En ligne]. <http://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/Upload/Publications/Fiche-plastiques.pdf> (Page consultée le 30 juillet 2012).
- Horvath, L. (2011). Evolution des Prix du Baril de Pétrole. In *2000 Watts.org. Site de 2000 Watts.org*, [En ligne].

- <http://www.2000watts.org/index.php/energytrend/petrole/prix/596-evolution-des-prix-du-baril-de-petrole.html> (Page consultée le 14 août 2012).
- Huneault, M. (2011). Une industrie émergente : de la matière première aux plasturgistes et composteurs. *Colloque québécois sur les bioplastiques compostables*, Sherbrooke, 2 juin 2011.
- Innovia Films (2012a). About us. *In Innovia Films. Site de Innovia Films*, [En ligne]. <http://www.innoviafilms.com/About.aspx> (Page consultée le 5 septembre 2012).
- Innovia Films (2012b). End of life. *In Innovia Films. Site de Innovia Films*, [En ligne]. <http://www.innoviafilms.com/bopp-film-packaging-film-environmental/End-of-Life.aspx> (Page consultée le 5 septembre 2012).
- Innovia Films (2012c). Renewability. *In Innovia Films. Site de Innovia Films*, [En ligne]. <http://www.innoviafilms.com/bopp-film-packaging-film-environmental/Renewability.aspx> (Page consultée le 5 septembre 2012).
- Kale, G., Kijchavengkul, T., Auras, R., Rubino, M., Selke, S.E. and Singh, S.P. (2007). Compostability of Bioplastic Packaging Materials: An Overview. *Macromolecular Journals*, vol. 7, n° 3, p. 255-277.
- Kelly, P. (2011). Innovation Today: Biobased Plastics with Performance and Biodegradability. *In Society of Chemical Industry. Site du Society of Chemical Industry*, [En ligne]. <http://www.soci.org/News/bioresources-bioplastics-2011a> (Page consultée le 8 août 2012).
- Krüger, M., Kauertz, B. and Detzel, A. (2009). Life Cycle Assessment of food packaging made of IngeoTM biopolymer and (r)PET. *In NatureWorks. Site de NatureWorks*, [En ligne]. http://www.natureworkslc.com/~media/The_Ingeo_Journey/Ingeo_vs_rPET/IFEU_LCA_Ingeo_Full_Report_012709_FINAL_pdf.pdf (Page consultée le 20 août 2012).
- Lachance, M. (2011). Les bioplastiques : marchés et opportunités d'affaires. *Colloque québécois sur les bioplastiques compostables*, Sherbrooke, 2 juin 2011.
- Laird, K. (2011a). European Bioplastics report: The end of the oil age and rise of bioplastics. *In Plastics Today. Site de Plastics Today*, [En ligne]. <http://www.plasticstoday.com/articles/european-bioplastics-report-end-oil-age-and-rise-bioplastics-1128201101> (Page consultée le 8 août 2012).
- Laird, K. (2011b). Green Matter, 2012 Predictions: Bioplastics no longer here today, gone tomorrow. *In Plastics Today. Site de Plastics Today*, [En ligne]. <http://www.plasticstoday.com/blogs/green-matter-2012-predictions-bioplastics-no-longer-here-today-gone-tomorrow-1227201102> (Page consultée le 8 août 2012).

- Laird, K. (2011c). Green Matter: Little Green Bags. *In* *Plastics Today*. *Site de Plastics Today*, [En ligne]. <http://www.plasticstoday.com/blogs/green-matter-little-green-bags-1207201105> (Page consultée le 23 août 2012).
- Laird, K. (2012a). Green Matter: Growing sustainable feedstocks. *In* *Plastics Today*. *Site de Plastics Today*, [En ligne]. <http://www.plasticstoday.com/blogs/green-matter-growing-sustainable-feedstocks> (Page consultée le 24 août 2012).
- Laird, K. (2012b). Green Matter: Bioplastics out of the woods? *In* *Plastics Today*. *Site de Plastics Today*, [En ligne]. <http://www.plasticstoday.com/articles/green-matter-bioplastics-out-woods-0206201203> (Page consultée le 9 août 2012).
- Legros, N., Chapleau, N. et Li, H. (2011). La plasturgie et les matériaux biosourcés. *Colloque québécois sur les bioplastiques compostables*, Sherbrooke, 2 juin 2011.
- Lepage, F. (2 août 2012). *Activités de compostage à la ville de Sherbrooke*. Courrier électronique à Richard Lapointe, adresse destinataire : lapointe_ri@yahoo.fr
- Mercier, R. (2011). Problématique des plastiques dans la chaîne de compostage; Expérience de Lac-Mégantic. *Colloque québécois sur les bioplastiques compostables*, Sherbrooke, 2 juin 2011.
- Metabolix (2012a). Corporate Profile. *In* *Metabolix*. *Site de Metabolix*, [En ligne]. <http://www.metabolix.com/docs/Metabolix%20Corporate%20Profile.pdf> (Page consultée le 5 septembre 2012).
- Metabolix (2012b). Glossary of terms. *In* *Metabolix*. *Site de Metabolix*, [En ligne]. <http://www.metabolix.com/knowledge/default.aspx?ID=772> (Page consultée le 31 juillet 2012).
- Metabolix (2012c). Knowledge Centre – PHA primer. *In* *Metabolix*. *Site de Metabolix*, [En ligne]. <http://www.metabolix.com/knowledge/default.aspx?ID=775> (Page consultée le 9 août 2012).
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des parcs (MDDEP) (2011). Politique québécoise de gestion des matières résiduelles. *In* MDDEP. *Site du Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des parcs*, [En ligne]. <http://www.mddep.gouv.qc.ca/matieres/pgmr/presentation.pdf> (Page consultée le 23 août 2012).
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des parcs (MDDEP) (2012). Lignes directrices pour l'encadrement des activités de compostage. *In* MDDEP. *Site du Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des parcs*, [En ligne]. <http://www.mddep.gouv.qc.ca/matieres/valorisation/lignesdirectrices/compostage.pdf> (Page consultée le 23 août 2012).

- Mulot, R. (2007). La vérité sur les plastiques biodégradables. *Sciences et avenir*, n° 725, p. 8-17.
- NatureWorks (2012a). About NatureWorks LLC. *In NatureWorks. Site de NatureWorks*, [En ligne]. <http://www.natureworkslc.com/About-NatureWorks-LLC.aspx> (Page consultée le 5 septembre 2012).
- NatureWorks (2012b). Composting. *In NatureWorks. Site de NatureWorks*, [En ligne]. <http://www.natureworkslc.com/The-Ingeo-Journey/End-of-Life-Options/Composting#certifications> (Page consultée le 5 août 2012).
- NatureWorks (2012c). Eco-Profile. *In NatureWorks. Site de NatureWorks*, [En ligne]. <http://www.natureworkslc.com/The-Ingeo-Journey/Eco-Profile-and-LCA/Eco-Profile> (Page consultée le 24 août 2012).
- NatureWorks (2012d). From plants to plastics. *In NatureWorks. Site de NatureWorks*, [En ligne]. http://www.natureworkslc.com/~media/The_Ingeo_Journey/EcoProfile_LCA/How_ItsMade/NatureWorks_How_Ingeo_is_Made_poster_pdf.pdf (Page consultée le 9 août 2012).
- NatureWorks (2012e). Sourcing Ingeo: Raw Materials. *In NatureWorks. Site de NatureWorks*, [En ligne]. <http://www.natureworkslc.com/The-Ingeo-Journey/Raw-Materials> (Page consultée le 9 août 2012).
- Novamont (2009a). Film. *In Novamont. Site de Novamont*, [En ligne]. <http://www.novamont.com/default.asp?id=512> (Page consultée le 8 août 2012).
- Novamont (2009b). Mater-Bi : biodegradability and compostability certificates. *In Novamont. Site de Novamont*, [En ligne]. <http://www.novamont.com/default.asp?id=1043> (Page consultée le 8 août 2012).
- Novamont (2009c). Thermoformed articles. *In Novamont. Site de Novamont*, [En ligne]. <http://www.novamont.com/default.asp?id=513> (Page consultée le 8 août 2012).
- Novamont (2009d). What is Mater-Bi. *In Novamont. Site de Novamont*, [En ligne]. <http://www.novamont.com/default.asp?id=1038> (Page consultée le 8 août 2012).
- Novamont (2009e). 15 years that have changed chemistry world-wide. *In Novamont. Site de Novamont*, [En ligne]. <http://www.novamont.com/default.asp?id=465> (Page consultée le 5 septembre 2012).
- Organisation internationale de normalisation (ISO) (2008). Résumé - norme 17088 :2008 Spécifications pour les plastiques compostables. *In ISO. Site de l'organisation internationale de normalisation*, [En ligne]. http://www.iso.org/iso/fr/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=43373 (Page consultée le 1 août 2012).








- Paradis, G. (2011). Le défi des emballages dans les supermarchés. *Colloque québécois sur les bioplastiques compostables*, Sherbrooke, 2 juin 2011.
- Pepsico (2011). Packaging & Waste. In Pepsico. *Site de pepsico*, [En ligne]. <http://www.pepsico.com/Purpose/Environmental-Sustainability/Packaging-and-Waste.html> (Page consultée le 9 août 2012).
- Pierce, L.M. (2011). PHA and bio-derived PE to drive bioplastic packaging market to 2020: study. In Packaging Digest. *Site de Packaging Digest*, [En ligne]. http://www.packagingdigest.com/article/517396-PHA_and_bio_derived_PE_to_drive_bioplastic_packaging_market_to_2020_study.php (Page consultée le 31 juillet 2012).
- Preventpack (2012). Dossier Biopackaging. In Preventpack. *Site de Preventpack*, [En ligne]. <http://www.preventpack.be/tpl/publications/pdf/fr/201206-14-Dossier.pdf> (Page consultée le 31 juillet 2012).
- Quantis (2011). Lignes directrices pour la réalisation d'analyses du cycle de vie environnementales – Secteur des emballages au Québec. In ÉEQ. *Site de Éco Entreprises Québec*, [En ligne]. http://www.ecoentreprises.qc.ca/documents/pdf/entreprises/lignesdirectrices_emballages_fr.pdf (Page consultée le 17 août 2012).
- Recyc-Québec (2005). Sacs dégradables-Propriétés et allégations environnementales. In Recyc-Québec. *Site de Recyc-Québec*, [En ligne]. http://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/upload/Publications/zzSacs_d915.pdf (Page consultée le 1 août 2012).
- Recyc-Québec (2007). Avis sur les sacs d'emptyes-Évaluation de leur impact environnemental. In Recyc-Québec. *Site de Recyc-Québec*, [En ligne]. <http://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/Upload/Publications/MICI/Avis-SacsEmptyes-RQ-2007.pdf> (Page consultée le 31 juillet 2012).
- Recyc-Québec (2009). Bilan 2008 de la gestion des matières résiduelles au Québec. In Recyc-Québec. *Site de Recyc-Québec*, [En ligne]. <http://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/Upload/Publications/MICI/Rendez-vous2009/Bilan2008.pdf> (Page consultée le 30 juillet 2012).
- Recyc-Québec et Éco Entreprises Québec (2010). La caractérisation des matières résiduelles du secteur résidentiel au Québec 2010. In Recyc-Québec. *Site de Recyc-Québec*, [En ligne]. http://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/Upload/publications/Carac_res_EEQ_RQ.pdf (Page consultée le 13 août 2012).
- Sépahsalari, T. (2012). Fonctionnement du centre de tri de Sherbrooke. Communication orale. *Visite du centre de tri de Sherbrooke*, 29 juin 2012, Sherbrooke.

- Smith, R. (2005). *Biodegradable polymers for industrial applications*. Cambridge, Woodhead Publishing Limited, 531p.
- Sustainable Biomaterials Collaborative (SBC) (2012a). Guidelines for Sustainable Bioplastics. In SBC. *Site du Sustainable Biomaterials Collaborative* [En ligne]. <http://www.sustainablebiomaterials.org/criteria.guidelines.overview.php> (Page consultée le 9 août 2012).
- Sustainable Biomaterials Collaborative (SBC) (2012b). Working Landscape Certificates. In SBC. *Site du Sustainable Biomaterials Collaborative*, [En ligne]. <http://www.sustainablebiomaterials.org/criteria.landscape.php> (Page consultée le 24 août 2012).
- Taillefer, S. (2010). Les matières organiques Fiche informative. In Recyc-Québec. *Site de Recyc-Québec*, [En ligne]. <http://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/Upload/Publications/Fiche-compost.pdf> (Page consultée le 15 août 2012).
- The Coca-Cola Company (2012a). PlantBottle® Basics. In The Coca-Cola Company. *Site de Coca-Cola Company*, [En ligne]. http://www.thecoca-colacompany.com/citizenship/plantbottle_basics.html (Page consultée le 5 août 2012).
- The Coca-Cola Company (2012b). PlantBottle® Benefits. In The Coca-Cola Company. *Site de Coca-Cola Company*, [En ligne]. http://www.thecoca-colacompany.com/citizenship/plantbottle_benefits.html (Page consultée le 24 août 2012).
- The Coca-Cola Company (2012c). Sourcing. In The Coca-Cola Company. *Site de Coca-Cola Company*, [En ligne]. http://www.thecoca-colacompany.com/citizenship/plantbottle_sourcing.html (Page consultée le 5 août 2012).
- The Institute for Energy and Environmental Research (IFEU) (2012). About IFEU. In IFEU. *Site de l'Institute for Energy and Environmental Research* [En ligne]. <http://www.ifeu.org/english/index.php?seite=dasinstitut> (Page consultée le 20 août 2012).
- The Royal Veterinary and Agricultural University (KVL) (2000). *Biobased Packaging Materials for the Food Industry – Status and perspectives*. Frederiksberg, Claus J Weber, 136 p.
- Timm, J. (2012). Bioplastics in 2012 : Time for a reality check. In Food & Beverage Packaging. *Site de Food & Beverage Packaging*, [En ligne]. http://www.foodandbeveragepackaging.com/Articles/Blog/BNP_GUID_9-5-2006_A_1000000000001147842 (Page consultée le 14 août 2012).

- United-States Environmental Protection Agency (EPA) (2011). Municipal Solid Waste Generation, Recycling, and Disposal in the United States: Facts and Figures for 2010. In EPA. *Site du United-States Environmental Protection Agency*, [En ligne]. http://www.epa.gov/waste/nonhaz/municipal/pubs/msw_2010_rev_factsheet.pdf (Page consultée le 13 août 2012).
- Verespej, M. (2011). Expert : Consumers confused by terms like 'bio-based' and 'renewable'. In *Plastics News. Site du Plastics News*, [En ligne]. <http://www.plasticsnews.com/headlines2.html?id=22616> (Page consultée le 5 août 2012).
- Ville de Sherbrooke (2008). Matières compostables acceptées. In Ville de Sherbrooke. *Site de la ville de Sherbrooke*, [En ligne]. http://www.ville.sherbrooke.qc.ca/fr/ext/service.prt?sveid=VS_PAGE_GENERIQUE_CATEGORIES14&iddoc=101112&page=details.jsp (Page consultée le 23 août 2012).
- Vuillaume, P. (2011). Stratégies pour l'amélioration des propriétés d'usage du PLA. *Colloque québécois sur les bioplastiques compostables*, Sherbrooke, 2 juin 2011.
- Yezza, I. (2012a). Biodegradable Plastics – PaperBoard Applications, Innovations and Trends. *Présentation à Cascades Sonoco*, Kingsey Falls, 10 octobre 2010.
- Yezza, I. (2012b). Peut-on survivre sans emballage? In Scribd. *Site du Scribd*, [En ligne]. <http://www.scribd.com/doc/82137706/Peut-on-survivre-sans-emballage> (Page consultée le 24 août 2012).
- Yezza, I. (14 août 2012c). *Question sur le prix des résines*. Courriel électronique à Richard Lapointe, adresse destinataire : lapointe_ri@yahoo.fr
- Yu, L. (2009). *Biodegradable Polymers Blends and Composites from Renewable Resources*. New Jersey, John Wiley & Sons, Inc., 487p.
- Zins Beuchesne et associés (2008). Emballage alimentaire : enjeux et opportunités. In Agri-Réseau. *Site d'Agri-Réseau*, [En ligne]. http://www.agrireseau.qc.ca/Transformation-Alimentaire/documents/CTAC_emballage_alimentaire.pdf (Page consultée le 30 juillet 2012).

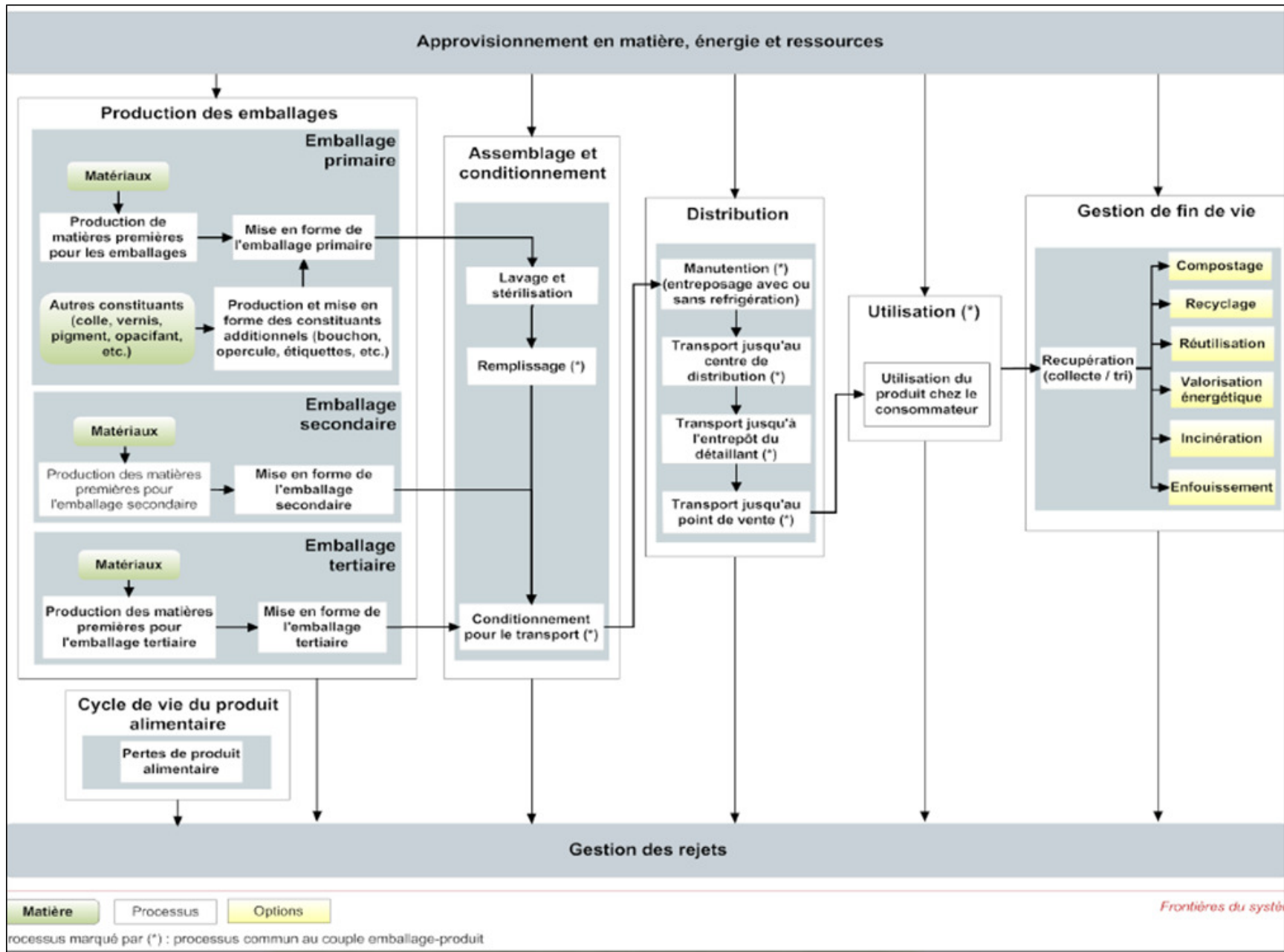
**ANNEXE 1 - LES PRINCIPALES RÉSINES, LEURS UTILISATIONS
COURANTES ET LES PRODUITS À CONTENU RECYCLÉ**

(Tiré de Gervais, 2010, p. 1)

Code	Nom	Utilisations courantes	Exemples de produits à contenu recyclé
	Polyéthylène téréphtalate (PET)	Bouteilles de boissons gazeuses et d'eau de source, pots de beurre d'arachide, contenants d'œufs.	Tapis, fibres de polyester, vêtements de tissu polaire (polar), feuilles de PET, bouteilles.
	Polyéthylène haute densité (PEhd)	Bouteilles de savon à lessive et de shampoing, contenants de lait ou de jus, sacs d'emplettes.	Bacs de récupération, tuyaux de drainage, mobilier urbain (ex.: bancs de parc, tables de pique-nique), planches de plastique (ex.: patio).
	Polychlorure de vinyle (PVC)	Cadres de fenêtres, tuyaux, stores, boyaux d'arrosage, certaines bouteilles.	Revêtements, tuyaux, cônes de déviation, tuiles de plancher.
	Polyéthylène basse densité (PEbd)	Sacs d'emplettes, à ordures et à pain, pellicules d'emballage, pellicules extensibles.	Planches de plastique, sacs d'emplettes et à ordures.
	Polypropylène (PP)	Contenants de yogourt et de margarine, bouchons pour bouteilles.	Bacs à fleurs, palettes de manutention, planches de plastique, caisses de lait.
	Polystyrène (PS)	Expansé: Verres à café, barquettes pour viandes et poissons, matériel de protection ou d'isolation. Non expansé: Ustensiles, verres de bière, barquettes de champignons, petits contenants de lait et de crème pour le café.	Moules et cadres décoratifs, accessoires de bureau, boîtiers pour disques compacts, contenants horticoles, panneaux isolants.
	Autres: variété de résines, matériaux composites	Bouteilles d'eau de 18 l réutilisables, bouteilles de polycarbonate, contenants d'acide polylactique (PLA).	Planches de plastique.

**ANNEXE 2 - FRONTIÈRES DU SYSTÈME DU CYCLE DE VIE DES
EMBALLAGES**

(Tiré de Quantis, 2011, p. 11)



**ANNEXE 3 – IMPACTS DES BOUTEILLES DE PLA SUR LE RECYCLAGE DU
PET**

(Tiré de ÉEQ, 2012b, p. 1)

Tableau synthèse

	ÉTAPES	NIVEAU D'IMPACT	IMPACTS RÉPERTORIÉS	CONSÉQUENCES RÉPERTORIÉES
COLLECTE SÉLECTIVE	Collecte et transport	○	Aucun	Aucune
	Opérations du centre de tri	○	Aucun	Aucune
	Tri			
	- manuel	●	<ul style="list-style-type: none"> • Augmentation du pourcentage de bouteilles mal identifiées par les trieurs et incluses dans les mauvaises filières 	<ul style="list-style-type: none"> • Contamination de certaines matières recyclables, en particulier les bouteilles de PET
	- mécanique	○	Aucun	Aucune
	- optique	○	Aucun	Aucune
CONDITIONNEMENT ET RECYCLAGE	Broyage et lavage	○	Aucun	Aucune
	Tri supplémentaire	◐	<ul style="list-style-type: none"> • Tri par flottaison et tri manuel inefficaces pour séparer le PLA du PET 	<ul style="list-style-type: none"> • Besoin d'équipements de tri optique
	Mise en forme	●	<ul style="list-style-type: none"> • Agglomération du PLA lors du séchage et de la mise en forme du PET • Jaunissement et opacification du PET recyclé en raison de la présence de PLA 	<ul style="list-style-type: none"> • Problèmes d'opération des équipements • Diminution de la qualité de la résine de PET recyclée obtenue à partir des bouteilles

LÉGENDE : ○ Pas d'impact ◐ Attention (incertitude ou complication) ● Problématique