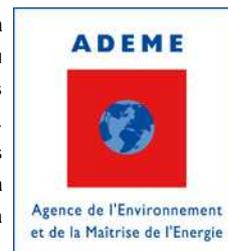


Synthèse d'études environnementales sur des plastiques de différentes origines (renouvelables et fossiles)

Décembre 2007



L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) est un établissement public sous la tutelle conjointe du ministère de l'Ecologie, du Développement et de l'Aménagement durables, et du ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche. Elle participe à la mise en oeuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable. L'agence met ses capacités d'expertise et de conseil à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public et les aide à financer des projets dans cinq domaines (la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, la qualité de l'air et la lutte contre le bruit) et à progresser dans leurs démarches de développement durable.



Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

Siège social : 20, avenue du Grésillé – BP 90406 – 49004 Angers Cedex 01

Téléphone : 02 41 20 41 20 – Télécopie : 02 41 87 23 50 – www.ademe.fr

1. Présentation des études

Les modes de production de notre société reposent depuis plus d'un siècle sur la consommation de matières premières d'origine fossile pour l'énergie et les produits. Il est devenu incontestable que l'utilisation massive de ces matières premières fossiles n'est pas durable. Les enjeux qui en découlent sont de taille : changement climatique, épuisement des réserves fossiles...

Les produits issus des filières végétales, figurent parmi les solutions possibles. Ils permettent la diversification des sources d'approvisionnement en matières premières et en énergie et présentent des avantages environnementaux potentiels tels que la réduction de la contribution à l'effet de serre. Par ailleurs, l'industrie des plastiques d'origine pétrochimique propose également des matériaux présentant de nouvelles caractéristiques de dégradation et de biodégradation.

Pour s'ancrer dans une **démarche de développement durable**, Eco-Emballages, avec le soutien financier de l'ADEME, a confié à BIO Intelligence Service la réalisation d'Analyses de Cycle de Vie (ACV) sur des plastiques d'origine renouvelables et fossiles. **Ces études permettent d'appréhender les enjeux écologiques de ces nouvelles matières plastiques de manière globale afin de garantir leur bien fondé environnemental dans une approche cycle de vie.**

Ces études ont été réalisées selon les normes ISO 14 040 et ISO 14 044 relatives aux ACV et ont fait l'objet de revues critiques par un Comité d'experts.

Ce document restitue les principaux résultats et enseignements issus des deux études menées.

Les études complètes et leur revue critique sont disponibles sur le site Internet d'Eco-Emballages (docothèque, rubrique études).

1.1. OBJECTIFS

Deux études complémentaires ont été menées :

- **une analyse comparative des polymères de différentes origines** visant à dresser le bilan des forces et faiblesses des différents polymères pour différentes applications d'emballages dans le contexte actuel moyen de la fin de vie des emballages.
- **une analyse comparative de la fin de vie des emballages** visant à analyser les atouts et faiblesses de différents scénarios, dans une vision prospective, et à évaluer pour chaque polymère la meilleure fin de vie.

Matière étudié et/ ou nom commercial	Polyéthylène haute et basse densité (PE)	Polyéthylène téréphtalate (PET)	Polyéthylène additivé : Symphony® , commercialisé par D2W	PolyButyrate Adipate Terephtalate (PBAT) : Ecoflex®, commercialisé par BASF	Poly lactate (PLA), commercialisé par NatureWorks	Association d'un polyester et de farines céréalières : Biolice®, commercialisé par ULICE
Origine	pétrochimique	pétrochimique	pétrochimique	pétrochimique	renouvelable	mélange pétrochimique renouvelable
Dégradabilité	non	non	Oxo-dégradable	biodégradable	biodégradable	biodégradable
Bouteilles d'eau						
Pots produits lactés						
Barquettes de fruits						
Films emballages						

Tableau 1 : Résines étudiées et applications (cases grisées)

1.2. CARACTERISTIQUES FIN DE VIE DES RESINES ETUDIES

Dans l'analyse des différents scénarios de fin de vie, un polymère complémentaire a été considéré : un mélange polycaprolactone – amidon, Mater-bi® commercialisé par Novamont¹.

Parmi les applications choisies, seules les bouteilles en PE et PET sont dans les consignes de tri de la collecte sélective des ménages. Pour les autres polymères il n'existe pas de filière de recyclage des emballages en fin de vie, mais dans certains cas du recyclage des chutes de transformation, ou des films en PE (y compris additivés).

Seuls les emballages biodégradables² répondant à la norme EN 13 432 ont été considérés comme compostables³ (Ecoflex, Biolice, PLA, MaterBi). Le compostage du polymère oxo-dégradable⁴ (Symphony) n'a pas été étudié.

1.3. ELEMENTS METHODOLOGIQUES

1.2.1 - Unité fonctionnelle :

Pour l'analyse comparative des polymères de différentes origines, l'objectif étant de comparer les polymères entre eux dans différentes applications emballages, l'**unité fonctionnelle** retenue est :

- « Produire, collecter et traiter 1 000 unités emballages » pour les barquettes, les bouteilles et les pots de produits lactés.
- « Produire, collecter et traiter 1 000 m² de film » pour les applications types films alimentaires.

Pour l'analyse comparative de la fin de vie des emballages, l'objectif étant pour un polymère donnée de comparer les différentes fins de vie possibles, l'**unité fonctionnelle** retenue est :

- « Traiter une tonne d'emballages en plastique usagé ».

1.2.2 - Indicateurs :

Pour l'analyse comparative des polymères de différentes origines, quatre indicateurs d'impacts potentiels sur l'environnement ont été calculés. Ils ont été sélectionnés en fonction de leur pertinence environnementale et de leur solidité méthodologique au regard des données d'inventaire disponibles :

- **Consommation d'eau** : Somme de toutes les consommations d'eau (de refroidissement, de process, d'arrosage) directement puisées dans les réserves d'eau douce ou salée, en m³.
- **Energie primaire non renouvelable** : Somme de toutes les sources d'énergie qui sont directement puisées dans les réserves naturelles telles que le gaz naturel, le pétrole, le charbon, le minerai d'uranium, en MJ (l'énergie potentielle⁵ contenue dans les produits n'est pas prise en compte).
- **Effet de serre** : Augmentation de la température moyenne de l'atmosphère induite par l'augmentation de la concentration atmosphérique moyenne de diverses substances d'origine anthropique (CO₂, CH₄, CFC, etc.). L'indicateur retenu pour évaluer l'impact potentiel sur l'effet de serre d'une substance est le GWP (global warming potential), exprimé en kg d'équivalent CO₂.
- **Eutrophisation des eaux** : Introduction de nutriments, notamment sous la forme de composés azotés et phosphatés, qui conduisent à la prolifération d'algues. Ce phénomène peut conduire à la mort de la faune et la flore du milieu aquatique considéré (du fait de l'épuisement du milieu en oxygène). L'unité retenue pour évaluer l'eutrophisation est le kg d'équivalent phosphate - PO₄²⁻.

¹ Les données environnementales sur la production de cette résine n'ont pas été jugées adaptées par le comité de revue critique pour être utilisées dans le cadre de l'étude comparative des polymères de différentes origines.

² Biodégradable : potentiel d'un matériau à être dégradé par des micro organismes ; le résultat de cette dégradation se traduisant par la formation d'eau, de CO₂ et/ou de CH₄ et éventuellement des sous produits non toxiques pour l'homme et l'environnement ;

³ Compostable : potentiel d'un matériau à être dégradé dans un processus de compostage.

⁴ Oxo-dégradable : potentiel d'un polymère à se dégrader grâce à l'ajout d'additifs (dithiocarbamate de fer, nickel, manganèse, stéarate de nickel...) qui permettra un fractionnement du polymère par les rayons du soleil (rayons UV), la chaleur et/ou une action mécanique.

⁵ Cette énergie est autrement appelée « feedstock ».

Pour l'analyse comparative de la fin de vie des emballages le logiciel Wisard™ a été utilisé et a permis l'évaluation environnementale au travers de 10 indicateurs d'impacts potentiels⁶.

1.2.3 - Périmètre :

Pour l'analyse comparative des polymères de différentes origines, le cycle de vie pour chaque type d'emballage, a été découpé selon une structure commune, comprenant les trois étapes suivantes :

- Fabrication de l'emballage : production des granulés, transport, mise en œuvre des emballages
- Transport des emballages jusqu'au centre de remplissage puis jusqu'au centre de distribution
- Collecte et fin de vie des emballages usagés sur la base d'un scénario moyen de traitement des déchets en France.

Pour l'analyse comparative de la fin de vie des emballages, l'analyse se limite à l'étape de fin de vie, en comparant les différentes filières disponibles à ce jour : l'incinération avec valorisation énergétique, le recyclage, le compostage (pour les plastiques compostables) et l'enfouissement technique. Une simulation de recyclage a également été envisagée.

Dans les deux études, seule la résine a été prise en compte et non les autres éléments constitutifs de l'emballage global, ce qui a pour conséquence d'amoindrir l'impact total du cycle de vie. En effet, la prise en compte de l'opercule en plastique ou en aluminium sur un pot de produit lacté peut modifier le bilan environnemental de l'emballage (en altérant la qualité du compost final par exemple). Il en va de même pour les charges et pigments pouvant entrer dans la composition des emballages.

Par ailleurs, les répercussions sur les emballages secondaires et tertiaires n'ont pas été prises en compte.

1.2.4 – Données et représentativité :

Les données relatives à la production des matières plastiques ont été transmises par les producteurs des résines. Les bases types éco-profil ont également été utilisées. Les données de production des résines sont représentatives des procédés industriels actuels.

Les données de fin de vie sont représentatives des filières actuelles et des procédés de traitement utilisés en France actuellement. Pour les films, barquettes de fruits, pots de produits lactés et bouteilles en PLA, le scénario correspond au traitement des ordures ménagères non collectées sélectivement (incinération avec valorisation énergétique : 51%, enfouissement en CSDU : 44%, compostage : 5%)⁷. Pour les bouteilles, l'hypothèse retenue est que 50% des bouteilles en PE et PET sont collectées sélectivement à l'heure actuelle. Le reste suit un scénario moyen de traitement des déchets en France (incinération avec valorisation énergétique : 27%, enfouissement en CSDU : 23%).

Les inventaires de cycle de vie des bennes de collecte, et les modules d'incinération avec récupération d'énergie, de compostage, de tri et recyclage et de stockage ont été extraits du logiciel Wisard 4.0. logiciel d'ACV spécifique au traitement des déchets ménagers :

- L'incinération avec valorisation énergétique est prise en compte sur la base d'une unité de cogénération représentative de la moyenne française (rendement de 32% sur PCI).
- la séquestration du carbone est comptabilisée pour le compostage (30%) et le stockage (20%),

Remarque : Pour le compostage les données de Wisard sont moins fiables que pour les autres traitements, notamment sur les bénéfices liés au retour au sol de la matière organique.

⁶ Epuisement des ressources abiotiques, énergie primaire non renouvelable, potentiel de réchauffement climatique, acidification de l'air, oxydation photochimique, eutrophisation, écotoxicité aquatique, toxicité humaine écotoxicité sédimentaire écotoxicité terrestre. Les facteurs de caractérisation utilisés pour quantifier chaque indicateur proviennent de CML (université de Leiden), 2002. Ils sont considérés comme les plus consensuels par la communauté internationale des experts en ACV

⁷ Cette modélisation des filières de traitement des déchets en France est basée sur la répartition des traitements en tonnages fournis par l'ADEME (ITOM données 2002) Les filières représentant moins de 3% en tonnage n'ont pas été intégrées pour simplifier l'analyse. Cela concerne le tri des ordures ménagères brutes (1% des tonnages traités en France), la méthanisation (1%) et l'incinération sans récupération d'énergie (3%).

2. Résultats

2.1. Selon les emballages, quels polymères plastiques, d'origine renouvelable ou pétrochimique, présentent le meilleur bilan environnemental ?

Le tableau suivant présente les points d'équilibre massiques des différents emballages pour atteindre le même niveau de performance environnemental que les emballages en plastiques d'origine pétrochimique de référence (PE ou PET) qui sont en base 100. En effet, les masses des emballages sont très variables selon les produits emballés et il est donc plus aisé de donner des équivalences massiques à impact égal.

	Energie primaire non renouvelable	Consommation d'eau	Effet de serre à 100 ans	Eutrophisation
--	-----------------------------------	--------------------	--------------------------	----------------

Bouteilles d'eau (g)				
► PE	100	100	100	100
PLA	106	5	79	69
► PET	100	100	100	100
PLA	107	7	79	113
Films (g/m ²)				
► PE	100	100	100	100
Symphony	93	92	93	93
Biolice	146	6	146	120
Ecoflex	80	1	59	61
Barquettes (g)				
► PE	100	100	100	100
PLA	128	7	105	80
► PET	100	100	100	100
PLA	140	10	115	140
Pots de produits lactés (g)				
► PE	100	100	100	100
PLA	131	5	106	79
Biolice	146	5	144	116
► PET	100	100	100	100
PLA	142	8	117	141
Biolice	158	8	156	203

Les bouteilles en PLA doivent être plus légères d'environ 20% que celles en PE ou PET pour avoir un bilan équivalent en termes d'effet de serre. En revanche, elles peuvent tolérer un surpoids de 6 à 7% avant de présenter un bilan énergétique défavorable.

Les emballages (film ou pot) en BIOLICE peuvent tolérer une masse supérieure au PE ou PET pour les indicateurs d'énergie primaire non renouvelable, effet de serre et eutrophisation. Ce n'est pas le cas pour la consommation d'eau.

Les films en Ecoflex ou en Symphony nécessitent pour tous les indicateurs une diminution de leur épaisseur pour être équivalents à ceux en PE.

Les barquettes ou les pots en PLA peuvent supporter un surpoids de 5% à 6% pour avoir un bilan effet de serre équivalent à celui des barquettes en PE et de 15% à 17% pour avoir un bilan équivalent à celui des barquettes en PET.

Les résultats font apparaître un bilan nuancé en fonction du type d'emballage, de polymère et d'indicateur, et qui dépend de l'état actuel des connaissances et du développement du recyclage.

Les plastiques issus de ressources renouvelables (PLA et Biolice) présentent un intérêt en terme d'effet de serre et de consommation d'énergie non renouvelable, si les masses supérieures des emballages correspondants sont suffisamment limitées. Pour ces plastiques la consommation d'eau apparaît comme un enjeu environnemental de forte ampleur : pour atteindre sur cet indicateur les performances des emballages en PE et PET, il faudrait des réductions de masse des emballages correspondants très importantes.

A masse équivalente, les plastiques d'origine pétrochimique biodégradables (Ecoflex) ou oxo-dégradables (Symphony) d'origine pétrochimique présentent un bilan environnemental défavorable par rapport au PE et au PET.

2.2. Quelle étape du cycle de vie des emballages plastiques est la plus impactante sur le bilan environnemental ?

Les graphiques en base 100 suivants illustrent, sur l'exemple des bouteilles d'eau et pour les quatre indicateurs considérés, les contributions environnementales de chacune des trois étapes du cycle de vie des polymères à leur bilan global. Ces tendances se retrouvent sur les autres types d'emballages étudiés.

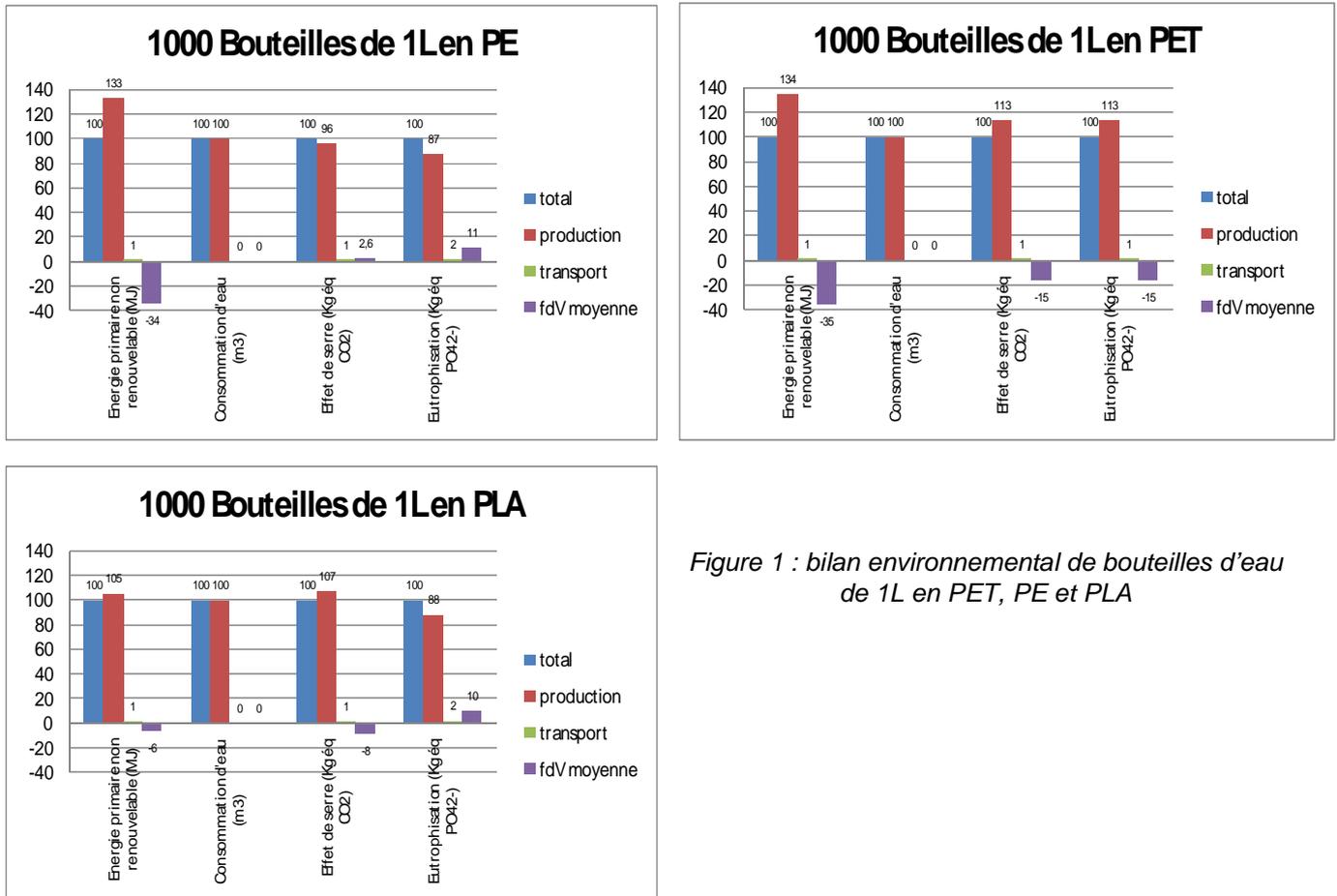


Figure 1 : bilan environnemental de bouteilles d'eau de 1L en PET, PE et PLA

Pour les différentes catégories d'emballages, l'étape de production de la résine ressort comme prédominante en termes d'impact généré, pour tous les indicateurs suivis.

Comparativement à l'étape de production, le scénario actuel de traitement des déchets contribue assez peu au bilan environnemental des emballages sur leur cycle de vie. Cependant l'évolution des traitements des déchets peut rendre cette étape de fin de vie plus influente.

L'analyse comparative de la fin de vie des emballages montre par ailleurs que pour les bouteilles en PE et PET c'est le recyclage qui permet d'améliorer sensiblement le bilan environnemental pour l'énergie et l'effet de serre.

Pour les bouteilles en PLA, il n'a pas été pris en compte de recyclage. Comme actuellement 5% des emballages seulement suivent une filière de compostage, l'impact de la compostabilité n'apparaît pas significativement dans le bilan environnemental.

2.3. Quelle est la meilleure filière de traitement des emballages en plastique ?

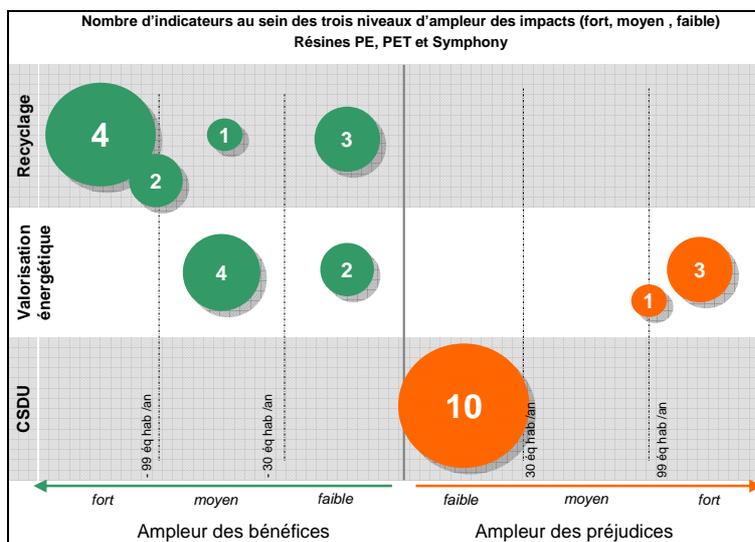
■ Pour les résines PE, PET et Symphony :

Pour ces résines, le recyclage, l'incinération avec valorisation énergétique et le stockage ont été étudiés. Les résultats sont équivalents pour les 3 résines.

Le recyclage est la seule filière présentant pour tous les indicateurs des bénéfices pour l'environnement, le plus souvent de forte ampleur. Le recyclage permet d'éviter les impacts environnementaux liés à la production de résines vierges.

L'incinération avec valorisation énergétique présente selon les indicateurs des bénéfices ou des préjudices. Elle se substitue à la production d'énergie à partir de ressources fossile et évite donc les impacts associés

L'enfouissement en CSDU des plastiques d'origine pétrochimique ne présente pas de bénéfice environnemental.



Le diamètre des cercles est proportionnel au nombre d'indicateurs dans les trois niveaux d'amplitude (fort, moyen, faible).

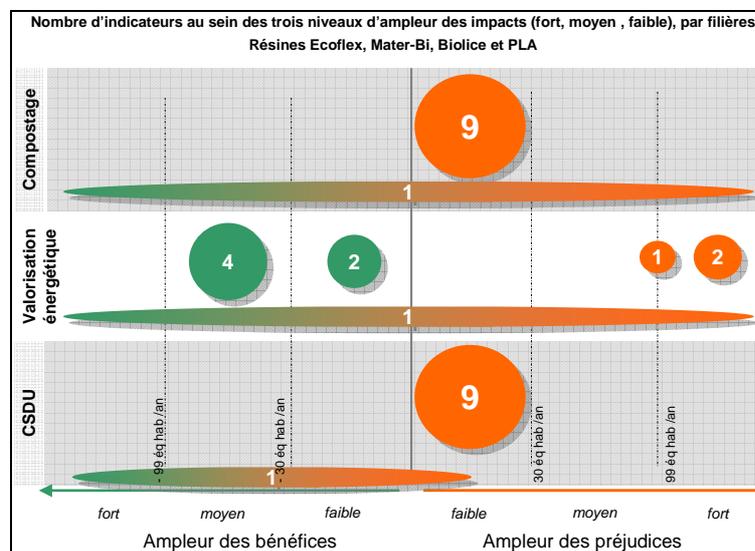
■ Pour les résines : Ecoflex, Materbi, Biolice et PLA :

Pour ces résines, le compostage, l'incinération avec la valorisation énergétique et le stockage ont été étudiés

Les résultats sont équivalents pour les 3 résines sauf pour l'effet de serre. Pour tous les traitements, le bilan effet de serre est variable selon les polymères : il décroît avec le taux de carbone d'origine végétale contenu dans le polymère.

Le compostage ne présente de bénéfice environnemental que pour le bilan effet de serre (sauf pour Ecoflex), en prenant en compte la séquestration du carbone.

La valorisation énergétique apparaît comme la filière la plus favorable pour ces polymères à l'heure actuelle.



Le diamètre des cercles est proportionnel au nombre d'indicateurs dans les trois niveaux d'amplitude (fort, moyen, faible).

Le classement des filières actuelles de traitement est :

♦ pour les polymères PE, PET et Symphony :

Recyclage > Incinération avec valorisation énergétique > CSDU

♦ pour les polymères Ecoflex, Materbi, Biolice et PLA :

Incinération avec valorisation énergétique > compostage ou CSDU

2.4. Comment évolue le bilan environnemental des emballages en plastique en fonction de la filière de traitement en fin de vie ?

La fin de vie des bioplastiques a une influence marginale sur le cycle de vie lorsque l'on considère le scénario actuel de traitement des déchets en France (cf. chapitre 2.2). Les évolutions des filières de traitement à court ou moyen terme, pourraient avoir des répercussions sur les tendances observées actuellement.

Le tableau suivant illustre, pour l'impact effet de serre, les évolutions des bilans environnementaux des différents polymères selon le traitement en fin de vie appliqué.

Le recyclage des plastiques d'origine renouvelable a été modélisé dans le cadre de cette analyse spécifique en prenant en compte le même procédé de recyclage que pour les emballages en PE (recyclage mécanique).

1 000 BOUTEILLES d'eau de 1L - EFFET DE SERRE (100 ans) [kg CO2 éq.]				
	PE	PET	PLA	
Total (sc. moy traitement des déchets cf. 1.2.4)	100	100	100	
100% valorisation énergétique	167	178	95	
100% CSDU	98	115	105	
100% recyclage	65	51	21*	
100% compostage (PLA uniquement)			79	
1 000 m ² de film - EFFET DE SERRE (100 ans) [kg CO2 éq.]				
	PE	Symphony	Biolice	Ecoflex
Total (sc. moy traitement des déchets cf. 1.2.4)	100	100	100	100
100% valorisation énergétique	125	140	110	112
100% CSDU	71	81	89	84
100% recyclage	44	53	21*	84
100% compostage (BIOLICE, Ecoflex uniquement)			89	100
1 000 barquettes - EFFET DE SERRE (100 ans) [kg CO2 éq.]				
	PE	PET	PLA	
Total (sc. moy traitement des déchets cf. 1.2.4)	100	100	100	
100% valorisation énergétique	122	118	96	
100% CSDU	74	79	105	
100% recyclage	50*	38*	27*	
100% compostage (PLA uniquement)			80	
1 000 pots de produits lactés - EFFET DE SERRE (100 ans) [kg CO2 éq.]				
	PE	PET	PLA	Biolice
Total (sc. moy traitement des déchets cf. 1.2.4)	100	100	100	100
100% valorisation énergétique	124	120	95	110
100% CSDU	71	77	105	89
100% recyclage	46*	33*	20*	24*
100% compostage (PLA, BIOLICE uniquement)			79	90

* : Ces données sont modélisées, les procédés correspondants n'existant pas à l'heure actuelle.

L'évolution du scénario de traitement des déchets peut rendre l'étape de fin de vie influente.

- **Le recyclage** des emballages en fin de vie est la filière permettant potentiellement la plus grande amélioration du bilan environnemental d'un emballage sur son cycle de vie.

- **Le compostage améliore le bilan effet de serre** du fait de la séquestration du carbone biomasse pour les bioplastiques. L'effet de serre décroît avec le taux de carbone d'origine végétale contenu dans le polymère.

Le positionnement des emballages les uns par rapport aux autres est donc susceptible de varier en fonction du traitement de fin de vie.

Les hypothèses prises sur la fin de vie, et en particulier sur le rendement de l'incinération et sur la séquestration du carbone (cf chapitre 1.2.4), constituent des éléments influents sur les résultats.

3. CONCLUSION

⇒ **L'origine renouvelable des plastiques n'apparaît pas aujourd'hui, en l'état actuel des connaissances et du développement des filières en fin de vie, comme un atout environnemental fortement affirmé comparativement aux résines d'origine pétrochimique.**

Cette conclusion doit être précisée par le fait que :

- les procédés de production et de recyclage des plastiques pétrochimiques sont optimisés depuis de très nombreuses années alors que les procédés mettant en œuvre des plastiques d'origine renouvelable et les filières de traitement correspondantes ne le sont pas encore. Du fait de leur nouveauté et d'un contexte concurrentiel pressant, **les développements observés sur ces nouveaux matériaux amèneront à faire évoluer rapidement leurs bilans environnementaux.**
- **les connaissances environnementales sur les nouveaux polymères, ne sont pas encore assez stabilisées à l'heure actuelle** et parfois incomplètes, du fait même de leur nouveauté et des développements toujours en cours. La prise en compte des effets environnementaux liés à la consommation de surface et à l'utilisation de produits phytosanitaires pour la production des polymères d'origine végétale devra notamment être améliorée pour garantir le bien fondé de ces nouvelles matières.

⇒ **Comparativement à l'étape de production, le scénario actuel de traitement des déchets contribue assez peu au bilan environnemental des emballages en plastique d'origine renouvelable sur leur cycle de vie.**

- Cependant l'évolution des traitements des déchets peut rendre cette étape de fin de vie plus influente,

⇒ **En l'état actuel des connaissances et du développement des filières en fin de vie, la valorisation énergétique ressort comme la filière de traitement la plus adaptée d'un point de vue environnemental, pour les polymères d'origine renouvelable.**

- le compostage des polymères d'origine renouvelable présente un bénéfice uniquement en termes d'effet de serre du fait de la séquestration du carbone biomasse. Le bénéfice du compostage progresse avec le taux de carbone d'origine végétale dans le polymère.

⇒ **Pour autant, c'est le recyclage qui permettrait la plus grande amélioration du bilan environnemental d'un emballage plastique.**

Cette conclusion doit être précisée par le fait que :

- **si le recyclage n'est pas encore effectif pour les déchets d'emballages non collectés sélectivement, cette filière ressort comme un levier d'amélioration environnementale important, quelle que soit la résine employée.** Le développement des filières de recyclage des polymères d'origine renouvelable pourrait contribuer à leur apporter un avantage environnemental par rapport aux plastiques issus de la pétrochimie.
- **les connaissances environnementales ne sont pas encore assez robustes pour tous les traitements**, en particulier le compostage et le recyclage des polymères d'origine renouvelable.
- **la hiérarchisation des filières de traitement devra également tenir compte des aspects économiques pour déterminer les filières présentant la meilleure éco-efficacité.**