

Bioplastiques : le défi de la durabilité

Fiche **QUESTIONS SUR...** n° 06.06.Q07

avril 2023

Mots clés : durabilité - bioplastique - impact - recyclage - gaz à effet de serre - GES

Cette fiche conclut la série des fiches 06.06.Q03 à 06.06.Q07 dédiée aux bioplastiques.

Les enjeux de la durabilité

Les enjeux économiques des bioplastiques (voir fiche [06.06.Q03 Bioplastiques : cinquante nuances de bioplastiques](#)) portent sur la création de valeur, renforcée par l'atout de la propriété intellectuelle sous-jacente. Ces enjeux se combinent aisément aux enjeux sociaux, surtout pour des produits de grande diffusion.

L'acquisition d'une souveraineté dans la disponibilité de bioplastiques pour les différents pays est aussi une préoccupation partagée, d'autant plus que le marché du carbone fossile est soumis à des vicissitudes politiques importantes. Cette préoccupation est évidente pour le caoutchouc : les travaux conduits à partir de monomères biosourcés ont pour objectif d'élargir les sources d'élastomères au-delà du seul hévéa, dont la localisation des productions révèle des sensibilités à des variations climatiques et politiques.

Tout développement des bioplastiques s'accompagne d'impacts environnementaux : le problème repose d'abord sur la réduction de la consommation des matériaux. En effet, imaginer un monde sans matériaux plastiques n'est pas envisageable aujourd'hui tant leurs propriétés sont originales et les rendent incontournables. Dans les usages des matériaux qui perdureront, la pertinence des bioplastiques nécessite d'être évaluée, sachant que l'origine biologique du carbone n'apporte aucune garantie d'une neutralité environnementale. L'échelle de l'Union européenne des 27 est à privilégier en raison de la liberté de circulation des produits, en relation avec les similitudes de développement, le niveau élevé de consommation de plastiques et un corpus de règlements européens. La Commission a élaboré des exigences visant à garantir que tous les emballages présents sur le marché soient réutilisables ou recyclables d'une manière économiquement viable d'ici 2030, dans un cadre réglementaire pour les plastiques biodégradables et biosourcés, et les plastiques à usage unique (The European Green Deal, European Commission, 2019).

L'analyse de cycle de vie (ACV) : aspects méthodologiques

La durabilité environnementale comprend les impacts des différentes étapes de production, l'usage des objets, ensuite le taux de collecte des objets, la création de pollution(s) et l'épuisement du potentiel des ressources en biomasse engagée.

Les émissions de CO₂ ont fait l'objet de nombreux travaux. La méthode des analyses d'ACV est adaptée aux comparaisons entre les différentes sources de matériaux en les comparant à l'aune des unités fonctionnelles (y compris pour les usages dans l'automobile), les matériaux de construction qui sont des puits intéressants de carbone, à l'instar du bois d'œuvre. Il faut souligner que les évaluations par kilogramme de matériau sont parfois biaisées par les propriétés physiques propres à chaque formulation, induisant des masses différentes nécessaires pour remplir la même fonction.

L'analyse comparative des résultats nécessite une attention très rigoureuse, en raison des choix souvent non explicités d'échelles spatiales, temporelles et géographiques dans chaque analyse, et du choix méthodologique d'allocation pour les itinéraires technologiques comportant plusieurs produits de sortie.

La question des changements indirects d'usage des sols n'est pas souvent incluse dans les études d'ACV, en raison des difficultés méthodologiques et des cas d'espèce. Le changement du stock de carbone dans le sol dépend des techniques agronomiques mises en œuvre et des échelles de temps, d'ailleurs souvent discordantes dans les résultats, comme pour les biocarburants. Enfin, les matériaux ont des durées de vie comprises entre 1 et 50 ans, selon les applications.

L'utilisation de l'ACV, sur des systèmes complexes de cultures ou forestiers et sur les aménagements du paysage rencontre une difficulté en particulier pour l'affectation des émissions de GES aux quantités des

différents produits d'un système de production. En revanche la partie transformation de la matière est très facile à appréhender par l'ACV. Les autres impacts environnementaux (acidification, eau, biodiversité, eutrophisation, acidification, externalités sociales) sont peu abordés dans la littérature.

L'analyse de cycle de vie : résultats actuels

De nombreuses bases de données par kilogramme de matière sont disponibles, telles :

- Ademe <http://www.base-impacts.ademe.fr> ;
- EcoInvent <https://www.ecoinvent.org> ;
- Life Cycle Initiative <https://www.lifecycleinitiative.org/>.

Il reste délicat de comparer des produits pétrosourcés à maturité technologique avec des équivalents biosourcés en développement, ainsi qu'avec des données extrapolées et des technologies pas nécessairement optimales.

Pour le polyéthylène téréphtalate (PET), l'acide polylactique (PLA), les polyhydroxyalcanoates (PHA) et les amidons thermoplastiques, les trois impacts majeurs sont la réduction des émissions de GES de 35 % à 65 %, comparativement à leurs équivalents fonctionnels pétrosourcés, à la réduction de consommation d'énergie fossile, et à l'émission de substances toxiques pour l'Homme. Les bioplastiques bien établis, en particulier les biopolymères (voir fiche [06.06.Q04 Bioplastiques : les premiers polymères étaient des biopolymères](#)), ont le plus souvent des segments d'usage propres où la comparaison avec des pétrosourcés n'a pas de sens.

Trois postes méritent une attention particulière :

- Le choix des biomasses ; en effet, à long terme, la mobilisation des ressources lignocellulosiques ou des déchets organiques aux dépens des plantes de grande culture (céréales, oléagineux) est préférable, rejoignant ainsi des logiques à l'œuvre pour les biocarburants.
- La fabrication des polymères biosourcés (voir fiche [06.06.Q05 Bioplastiques : les polymères biosourcés](#)) et leur mise en forme comme de forts consommateurs d'énergie, recommandent de privilégier l'emploi d'énergies peu émettrices de CO₂.
- La fin de vie (devenir post-usage) des bioplastiques est le facteur clé pour boucler le cycle du carbone. Les analyses publiées donnent des résultats variables en fonction des scénarios de fin de vie, rendant les classements très dépendants des conditions locales.

La fin de vie des bioplastiques

Plusieurs solutions s'offrent pour la fin de vie des bioplastiques : recyclage en cascade ou en boucle fermée (recyclage thermomécanique ou chimique), perte dans les milieux anthropisés (ville) ou naturels, enfouissement dans les centres d'enfouissements techniques, la biodégradation (voir fiche [06.06.Q06 Bioplastiques : l'imbroglia de la biodégradabilité](#)) avec le compostage domestique ou industriel, la méthanisation et l'incinération.

La fin de vie des bioplastiques est à considérer dans le cadre d'une gestion collective après usage, qui ne peut pas être envisagée indépendamment des solutions pour les polymères pétrosourcés. À l'échelle européenne (2028, PlasticsEurope), les 29,1 millions de tonnes de polymères pétrosourcés récoltés sont orientés à 42,6 % en énergie, 31,1 % en recyclage et 24,9 % en enfouissement ; cette solution est en cours de disparition. Aujourd'hui, la fin de vie de ces polymères pétrosourcés repose pratiquement sur leur incinération,

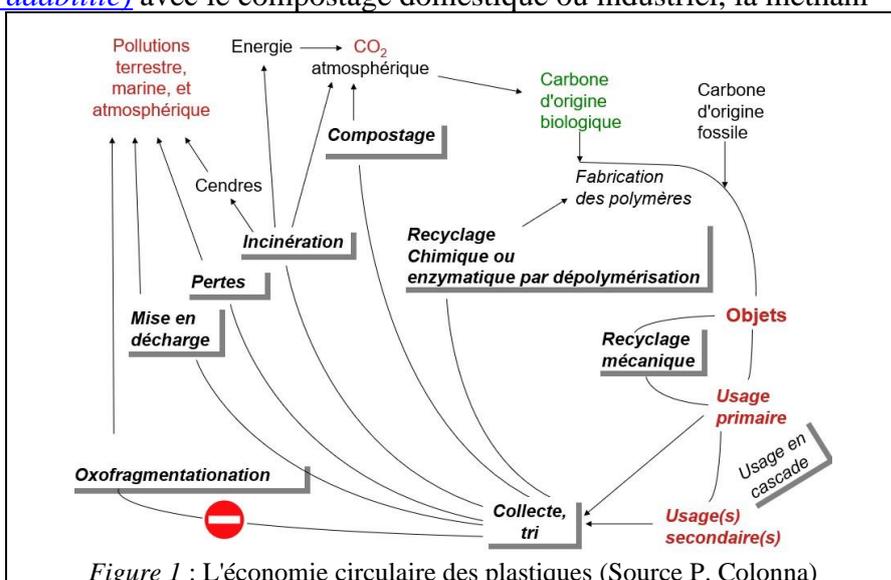


Figure 1 : L'économie circulaire des plastiques (Source P. Colonna)

avec une récupération d'énergie (contenu énergétique 23-41 MJ/kg de pétrosourcés versus 16-19 MJ/kg de biopolymères).

Le mirage du recyclage

Le recyclage est fondé sur une boucle fermée où la consommation des matières premières et la production de déchets se trouvent diminuées ; cette logique est bien adaptée aux métaux et au verre.

Le recyclage est pratiqué à environ 31,1 % pour les plastiques usagés, à comparer aux 72,5 % pour les papier-cartons (chiffres 2014 pour l'Union européenne à 28) ; le recyclage est facile à mettre en œuvre chez les opérateurs de la chaîne de transformation qui disposent de lots importants de matière homogène. Les limites au recyclage des polymères sont multiples : l'accumulation des additifs dans les formulations successives, l'accumulation de substances polluantes issues des contenus successifs pour les emballages, la diminution de la masse molaire du recyclat affaiblissent les propriétés d'usage et la complexité des matériaux finaux (alliages, structure multi-lamellaire).

La recyclabilité des plastiques nécessite un tri préalable par voie mécanique, qui repose principalement sur le maintien de la structure macromoléculaire, avec un broyage, puis une nouvelle formulation et mise en forme finale. Ainsi le matériau *Tétrapak* comprend trois couches : le carton est recyclé séparément, tandis que le polyéthylène et l'aluminium sont recyclés ensemble dans d'autres matériaux, en cascade.

La durée de vie est un paramètre clé. Les matériaux pour l'automobile, les équipements électriques et électroniques présentent des possibilités d'usages en cascade différentes de celles des emballages. Les matériaux pour l'agriculture se répartissent dans ces deux familles selon leurs fonctions et leur durée de vie. Le recyclage des monomères est en plein développement avec l'usage de biotechnologies enzymatiques.

Le recyclage est délicat pour les bioplastiques usagés, pour deux raisons complémentaires :

- Les emballages sont récupérés en vrac, induisant la nécessité d'un tri. Un inconvénient du PLA est que les séparateurs optiques des tapis de tri ne sont pas toujours capables de le différencier du PET, alors que son recyclage est généralement incompatible avec le recyclage du PET sans adaptation technique coûteuse.
- Les filières de bioplastiques sont émergentes, avec des flux limités, rendant la collecte, le tri et le recyclage coûteux. Les nouveaux types biochimiques PLA et polyhydroxyalkanoate n'ont pas d'équivalent pétrosourcé et des propriétés spécifiques. Ils ne peuvent pas être intégrés directement dans les installations classiques de recyclage.

Le défi de la gestion collective de la fin de vie des bioplastiques

Deux verrous sont à résoudre :

- l'incivisme conduisant à des pertes de matériaux,
- la variabilité des structures traitantes (déchets ménagers ou industriels) selon les situations locales.

Le premier nécessite un meilleur apprentissage des règles, ce que certains pays ont su atteindre (Japon, Singapour, Suisse). Le second est renforcé par la densité de l'habitat (rural *versus* urbain), avec des coûts de collecte différents.

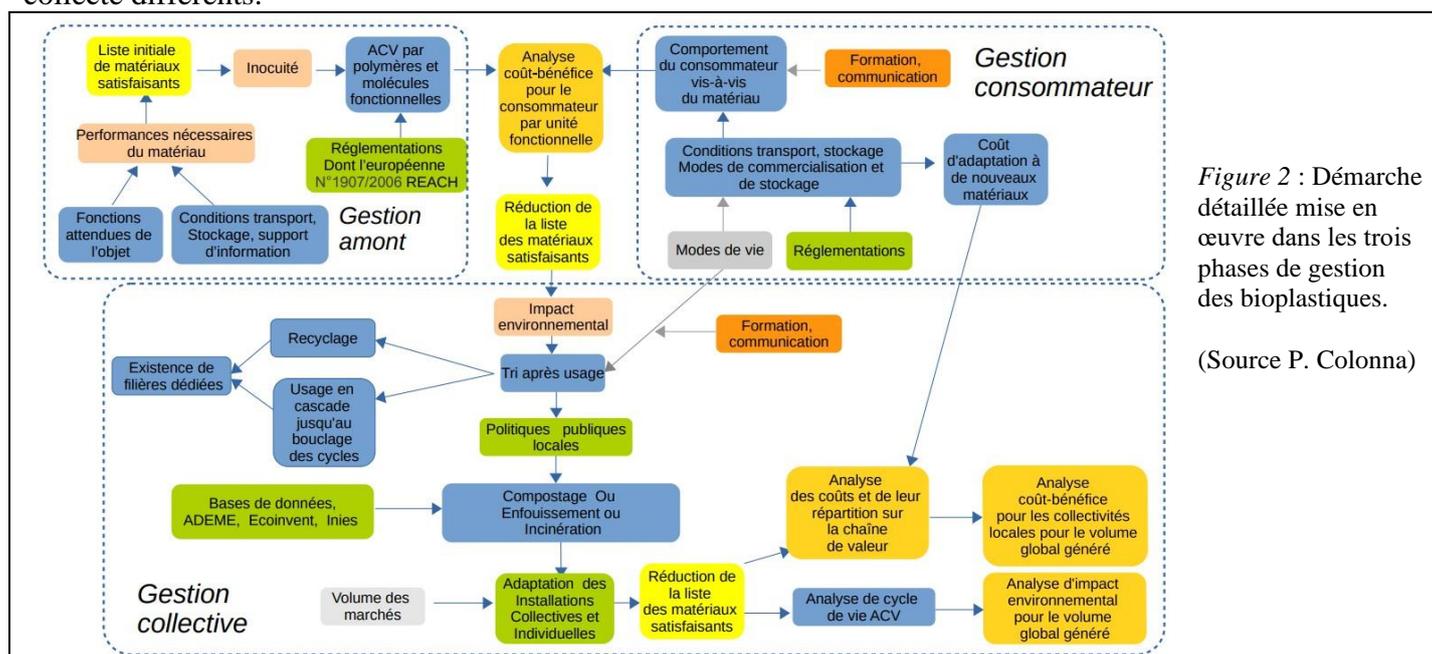


Figure 2 : Démarche détaillée mise en œuvre dans les trois phases de gestion des bioplastiques.

(Source P. Colonna)

La complexité des normes induit des schémas de traitement des déchets compliqués et variables localement, et *in fine* affectant une grande responsabilité au consommateur. Les capacités d'investissement de traitement des déchets par les collectivités locales peuvent être le facteur limitant.

Dans l'Union européenne à 27, ces différences sont exacerbées et freinent la commercialisation des biens. La même difficulté se retrouve aux États-Unis entre la politique fédérale, celles des États (Californie en particulier) et celles des municipalités.

Les politiques en matière de bioplastiques ont jusqu'à présent accordé une grande importance aux problèmes simplifiés et gérables par des solutions binaires d'interdiction. En fait, l'opportunité d'insérer des bioplastiques dans les flux physiques de matériaux nécessite de considérer le contexte sociotechnique : les modes de commercialisation et de consommation, l'existence d'industriels et de distributeurs, les politiques des collectivités locales (communes, villes...), qui organisent le tri et la collecte des matériaux pour qu'ils soient recyclés, compostés ou incinérés, mais jamais mis en décharge.

Retenir les bioplastiques s'inscrit alors dans un raisonnement progressif : choix initial du matériau, gestion amont et gestion collective. Une démarche systémique (*sustainable by design*) permet alors de construire une analyse coûts-bénéfices et d'éclairer les choix. La biodégradabilité devient un atout. Les bioplastiques présentent d'ores et déjà un intérêt en tant que sacs de collecte de déchets fermentescibles, lorsqu'il existe une filière de traitement des déchets organiques (méthanisation). La fermentescibilité permet, dans ce cadre, d'éviter l'étape de séparation des sacs et des déchets lors du traitement, ce qui peut générer des économies de fonctionnement.

Un autre domaine original est celui des films agricoles qui ont révolutionné les pratiques en élevage, en cultures maraîchères, en horticulture, apportant une réduction de l'érosion des sols par la pluie, de l'ensoleillement, la limitation de la concurrence des adventices, une facilitation de la manipulation (pot horticole) et un confinement thermique et biologique. Actuellement, le marché agricole ne représente que 3,3 % des polymères. La biodégradabilité des films de paillage agricole présente un intérêt environnemental, technique et économique : ces films peuvent se dégrader dans le champ, dispensant l'utilisateur de leur ramassage et des coûts de collecte. Cette fin de vie s'inscrit dans un encadrement strict (norme NFU 52001).

Le domaine médical a aussi fait évoluer des dispositifs médicaux en verre et métal au profit des plastiques. Ces derniers, avec les polymères biosourcés, peuvent être moulés dans des formes très originales inaccessibles pour le verre ou le métal. Les résines les plus employées en plastiques médicaux sont le polychlorure de vinyle (PVC), le polyéthylène (PE), le polypropylène (PP), le polystyrène (PS). Les polycarbonates (PC), acrylonitrile-butadiène-styrène (ABS), polyuréthanes (PU), polyamides (PA), polyétheréthercétone (PEEK) sont en train d'être développés pour des applications spécialisées en produits sanitaires.

Paul COLONNA, membre de l'Académie d'Agriculture de France

Ce qu'il faut retenir :

Le volet des impacts doit être abordé par une double analyse d'impacts, la première environnementale du berceau à la tombe, de manière générique ; et la seconde contextualisée en analyse coût-bénéfice, pour chaque collectivité locale, à l'aune du volume global à traiter dans ses domaines d'action.

Pour en savoir plus :

- SYSTEMIQ : *ReShaping Plastics: Pathways to a Circular, Climate Neutral Plastics System in Europe*, 2022
- JP. HARRISON, C. BOARDMAN, K. O'CALLAGHAN, A-M. DELORT, J. SONG : *Biodegradability standards for carrier bags and plastic films in aquatic environments: a critical review*, 2018, R. Soc. open sci. 5: 171792. <http://dx.doi.org/10.1098/rsos.171792>
- BAOTONG ZHU, DONG WANG et NA WEI : *Enzyme discovery and engineering for sustainable plastic recycling?* Trends in Biotechnology, January 2022, Vol. 40, No. 1 <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2021.02.008>