

Les bioplastiques et les polymères verts

Proposition d'un top ten pour parler polymères biosourcés et biodégradables

Commission Enseignement du GFP

Résumé Les termes « bioplastiques » et « polymères verts » sont très souvent employés comme termes génériques pour parler des plastiques biosourcés et/ou biodégradables, à plus ou moins bon escient. Ils suggèrent que le préfixe « bio » implique un produit respectueux de l'environnement et que tout polymère biosourcé est biodégradable, voire compostable, et réciproquement. D'autre part, la compréhension des propriétés et des applications possibles de ces produits est rendue d'autant plus difficile par ces confusions. Ainsi, l'utilisation du terme bioplastique est fortement déconseillée. La Commission Enseignement du Groupe Français d'Études et d'Applications des Polymères (GFP) propose ici un « top ten » des principales définitions et nomenclatures relatives aux polymères biosourcés et biodégradables, qui constitue un minimum théorique requis pour comprendre et discuter de l'impact sociétal de ces polymères. D'un point de vue pédagogique, il est aujourd'hui indispensable d'enseigner les polymères dans le contexte plus général d'une économie circulaire en explicitant leurs cycles de vie.

Mots-clés **Bioplastiques, polymères biosourcés, polymères biodégradables, polymères compostables, microplastiques, normes.**

Abstract **Bioplastics and green polymers: proposal of a top ten for bio-based and biodegradable polymers**
The terms "bioplastics" and "green polymers" very often refer to bio-sourced and/or biodegradable plastics, which suggests that the prefix "bio" implies an environmentally friendly product, and that any bio-based polymer is biodegradable, even compostable, and vice versa. Furthermore, understanding both properties and applications of these products is made difficult by these confusions. Therefore, the use of the term bioplastic is strongly discouraged. The Teaching Commission of the French Polymers Group (GFP) offers a "top ten" of definitions and nomenclatures relating to these polymers. This top ten constitutes a theoretical minimum required to understand and discuss the societal impact of these polymers. From a pedagogical point of view, it is now essential to teach polymers in the more general context of a circular economy by explaining their life cycles.

Keywords **Bioplastics, bio-based polymers, biodegradable polymers, compostable polymers, microplastics, standards.**

<https://doi.org/10.63133/scf.act-chim.2025.504.06>

Bien que relevant de concepts fondamentalement opposés, à savoir l'origine et la fin de vie, les termes « bioplastiques » et « polymères verts » sont souvent utilisés de façon générique pour parler des polymères biosourcés et/ou biodégradables. Ces regroupements sont particulièrement ambigus car ils suggèrent que le préfixe « bio » implique un produit respectueux de l'environnement et que tout polymère biosourcé est biodégradable, voire compostable, et réciproquement. Ainsi, tant l'ADEME (Agence de la transition écologique) que la Commission européenne déconseillent d'utiliser le terme « bioplastique ». Ils conduisent aussi à de nombreuses confusions pour la compréhension des propriétés et des applications de ces produits, d'autant plus que l'appropriation de ces notions nécessite une connaissance *a minima* des polymères.

Ainsi, la Commission Enseignement du Groupe Français d'Études et d'Applications des Polymères (GFP) [1] propose, en les explicitant, un « top ten » des principales définitions et nomenclatures relatives aux polymères biosourcés et aux polymères biodégradables. La plupart des définitions sont issues de la nomenclature IUPAC (Union internationale de chimie pure et appliquée) [2] et du guide pour les monomères et les polymères de l'ECHA (Agence européenne des produits chimiques) [3]. Certaines définitions sont disponibles sur le site FranceTerme du ministère de la Culture, consacré aux termes recommandés par la Commission d'enrichissement de la langue française et publiés au *Journal officiel* [4],



Crédits : xmoob/iStock.

et ont été ajoutées de manière à faire apparaître les différences possibles.

Ce top ten nous semble requérir un minimum théorique pour comprendre, enseigner et discuter de l'impact sociétal de ces polymères. Un document plus large est disponible sur le site de la Commission Enseignement du GFP.

1. Polymères et macromolécules

Un polymère est une substance constituée d'un ensemble de macromolécules [4], caractérisées par la séquence d'unités monomère liées les unes aux autres par des liaisons

covalentes. Les différences de masses molaires de ces macromolécules sont principalement dues à la variation du nombre d'unités monomère [3], conduisant à une distribution des masses molaires. L'utilisation de la chromatographie d'exclusion stérique (SEC) est préconisée par l'OCDE (Organisation de coopération et de développement économiques) pour la détermination des masses molaires moyennes [5].

Le terme polymère est couramment employé en lieu et place de macromolécule. Une macromolécule individuelle est parfaitement définie en termes de structure chimique et de masse molaire, tandis qu'un polymère ne peut être défini que par des valeurs moyennes (masses molaires moyennes en nombre et en masse, composition chimique moyenne dans le cas des copolymères statistiques...).

2. Plastique, matière plastique

Plastique est un terme générique qui désigne un matériau polymère auquel des additifs (plastifiants, ignifugeants, stabilisants, colorants, charges...) ont été ajoutés pour augmenter la performance et/ou réduire les coûts [2,6]. L'utilisation de ce terme à la place de *polymère* est une source de confusion et n'est donc pas recommandée.

À noter aussi que ces additifs sont très difficiles, voire impossibles à éliminer après utilisation du plastique, parfois incompatibles avec l'évolution de législation, et peuvent constituer une gêne majeure pour le recyclage ultérieur de ces plastiques.

3. Polymères verts

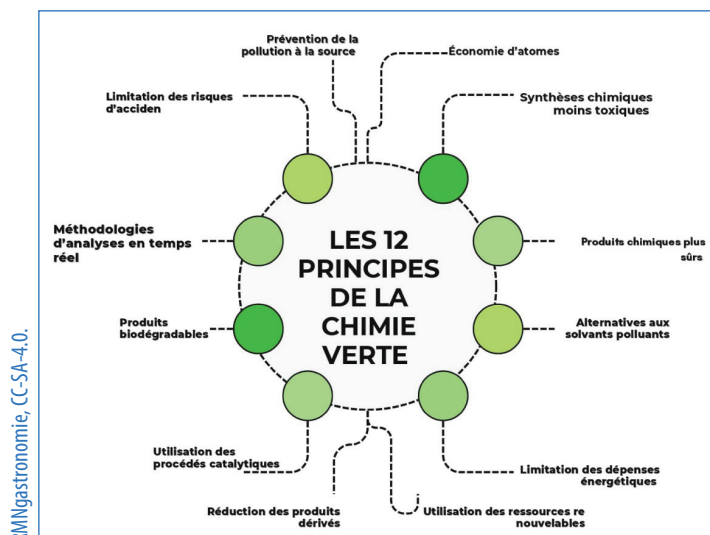
On peut définir un polymère vert comme un polymère qui répond aux douze principes de la chimie verte énoncés en 1998 [7-8], qui reposent sur les concepts de prévention de la pollution et de zéro déchet aux échelles du laboratoire et de l'industrie. Elle encourage l'utilisation de techniques économiques et *écocompatibles*, qui augmentent le rendement et réduisent le coût de l'élimination des déchets à la fin d'un processus chimique.

Un polymère vert ne signifie pas nécessairement *polymère respectueux de l'environnement*, ou *polymère biosourcé*, ou *compostable*, bien que la confusion soit souvent faite dans de nombreux médias. D'autre part, l'appellation polymère vert peut être un argument écologique qui, mal employé, induit le public en erreur sur la qualité ou la démarche écologique réelle et conduit au « green washing » [9]. À noter que la notion de « polymère vert » n'est pas définie en normalisation française, européenne ou internationale. En pratique, on essaye de tenir compte du maximum de ces principes, car il est impossible de tous les respecter.

4. Polymères et plastiques biosourcés

Un polymère biosourcé est extrait de la biomasse ou issu, en totalité ou partiellement, de monomères dérivés de la biomasse. On parle de polymère naturel lorsque celui-ci est obtenu à partir de la biomasse, dans lequel le polymère conserve sa structure chimique d'origine et la composition présente dans la biomasse (amidon, cellulose...). En général, les matières d'origine biologique font l'objet d'un ou de plusieurs traitements physiques, chimiques ou biologiques au cours du processus de fabrication.

La biomasse est d'origine biologique, à l'exception de celles de formation géologique ou fossile. C'est une ressource



naturelle dont les réserves sont *a priori* inépuisables. Elle se reproduit en continu, contrairement aux substances fossiles, telles que le pétrole et le charbon, qui résultent d'une longue transformation de substances. Il faut donc insister sur le temps nécessaire pour renouveler la biomasse consommée.

Une matière plastique est dite « biosourcée » dès lors que sa production est issue, au moins partiellement, de la biomasse. Le terme « polymère biosourcé » ou « produit biosourcé » est souvent utilisé pour faire référence à un produit qui n'est que partiellement biosourcé. Il est donc essentiel de caractériser et d'indiquer la teneur en matière biosourcée. La teneur en matière biosourcée ou la teneur en carbone biosourcé peut se faire par dosage du carbone 14, selon les normes ASTM D6866 [10], NF EN 16640 [11] et ISO 16620 [12]. La certification OKTUV permet d'attester de la teneur en composant biosourcé du produit considéré [13]. Tous les produits issus totalement ou partiellement de bioplastiques ou de matériaux d'origine naturelle sont susceptibles d'être certifiés « OK biobased ». Les exigences de base sont une teneur minimale en carbone total de 30 % et une teneur minimale en carbone biosourcé de 20 %, conformément à la norme EN 16640.

À noter aussi que la norme ASTM D6866 exprime la teneur en carbone biosourcé par rapport au carbone organique présent dans le produit considéré. La norme européenne EN 16640 tient compte des éventuels additifs et charges minérales renfermant du carbone, notamment le carbonate de calcium CaCO_3 , et exprime la teneur en carbone biosourcé par rapport au carbone total présent.

Les méthodes permettant de déterminer la caractéristique « biosourcé » et de transmettre toute information en la matière sont détaillées dans des normes spécifiques du CEN/TC 411 [14]. La norme ISO 16620-2 figure sur le marquage obligatoire des sacs en matières plastiques biosourcées et aptes au compostage domestique en application du décret n° 2016-379 du 30 mars 2016 relatif aux modalités de mise en œuvre de la limitation des sacs en matières plastiques à usage unique (application de l'article 75 de la loi n° 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte). On rencontre couramment ces sacs dans les rayons des fruits et légumes et aussi pour l'emballage du pain. Selon la Commission européenne, le terme « biosourcé » « ne devrait être utilisé que si la teneur exacte et mesurable en plastique biosourcé dans le produit est précisée, afin que les consommateurs sachent quelle quantité de biomasse a effectivement été utilisée dans ce produit » [15].

Le lecteur intéressé trouvera en *encadré* deux exemples de calcul de la teneur en carbone biosourcé relatifs à un PET partiellement biosourcé et à un mélange de polymères et de charges minérales (voir p. 4 et 5).

5. Bioplastique

On utilise souvent le terme bioplastique par opposition à polymère dérivé des ressources fossiles. L'IUPAC définit un bioplastique comme un polymère biosourcé dérivé de la biomasse ou issu de monomères dérivés de la biomasse et qui, à un stade donné de la mise en œuvre en produits finis, peut être mis en forme par écoulement [2]. Le *Journal officiel* du 22 décembre 2016 définit un bioplastique comme un polymère biosourcé et biodégradable, en soulignant qu'un bioplastique est généralement compostable [4]. Pour l'association European Bioplastics, les bioplastiques constituent une grande famille regroupant les matériaux biosourcés et/ou biodégradables [16]. L'Association Française des Compostables Biosourcés (AFCB), créée en 2006 sous le nom de Club Bio-plastiques, définit les bioplastiques comme des plastiques d'origine végétale et 100 % biodégradables [17].

Ce terme est donc particulièrement ambigu, car il regroupe plusieurs concepts totalement différents. Il suggère notamment que tout bioplastique est dérivé de la biomasse et biodégradable, donc écoresponsable. Son utilisation est déconseillée par l'ADEME. À noter aussi que la définition issue de l'IUPAC, qui stipule une mise en forme par écoulement, exclut les polymères thermodurs et les élastomères réticulés biosourcés.

6. Dégradation, polymère dégradable

La dégradation d'une substance ou d'un objet fait référence à la perte progressive de la performance et/ou des caractéristiques de celui-ci. Il s'agit d'un processus généralement irréversible entraînant une modification significative de la structure moléculaire du matériau, accompagnée d'une variation de propriétés (intégrité, résistance mécanique, par exemple) et/ou par une fragmentation ; la dégradation est influencée par la morphologie du matériau et la forme de la pièce, et par les conditions environnementales, selon des mécanismes comprenant une ou plusieurs étapes.

La coupure des macromolécules conduisant à une diminution de la masse molaire moyenne (hydrolyse des polyesters par exemple) ou la modification de la structure moléculaire (dégradation du PVC) constituent les modifications les plus courantes subies par les polymères lors des réactions de dégradation.

Le processus de dégradation, s'il est connu, peut être précisé par un préfixe ou un adjectif suivant le terme dégradation : dégradation hydrolytique ou hydrolyse, photodégradation, dégradation oxydative ou photo-oxydative, dégradation thermique ou thermochimique, dégradation thermo-oxydative, dégradation enzymatique.

7. Biodégradabilité, polymère biodégradable

La biodégradabilité désigne la capacité d'un matériau ou d'une molécule à être dégradé biologiquement, par l'action d'organismes biologiques (microorganismes tels que bactéries, cellules, champignons...), selon un processus enzymatique résultant de l'action de cellules.

Un polymère biodégradable peut être dégradé sous l'action de microorganismes en CO_2 ou CH_4 , en sels minéraux, avec apparition d'une nouvelle biomasse, en présence (milieu aérobie) ou non d'oxygène (milieu anaérobie).

La biodégradabilité des polymères nécessite une étape préliminaire de dégradations physico-chimiques abiotiques (hydrolyse, oxydation, photodégradation...) du matériau, car les microorganismes ne peuvent assimiler que des fragments « suffisamment » petits, hydrosolubles et pouvant traverser leur membrane.

La détermination du taux de biodégradabilité nécessite des mesures en milieu naturel ou en laboratoire dans des conditions reproduisant le milieu naturel. La biodégradabilité des matériaux plastiques est mesurée par la détermination de la demande en oxygène dans un respiromètre fermé [18] et par l'analyse du CO_2 libéré [19].

À noter qu'une substance peut être dégradée par les enzymes *in vitro* sans jamais l'être *in vivo* ou dans l'environnement en raison d'un manque d'enzyme(s) appropriée(s) *in situ* (ou simplement par manque d'eau). C'est la raison pour laquelle l'usage du terme biodégradation est limité à une dégradation résultant d'une activité cellulaire.

Un polymère biodégradable est dégradable alors qu'un polymère dégradable n'est pas nécessairement biodégradable. Le terme biodégradation ne doit pas être utilisé quand le mécanisme de coupure de chaîne n'est pas connu ou démontré comme étant le résultat d'une activité cellulaire. On parlera alors de dégradation. Bien que biodégradables, il convient de stipuler que ces polymères ne doivent pas être jetés dans la nature car les cinétiques de biodégradation dépendent de l'environnement (sol, eau, etc.) [15].

8. Polymères compostables

La confusion est courante entre les termes biodégradabilité et compostabilité. Un polymère biodégradable n'est pas toujours compostable. Pour être compostable, un polymère doit répondre aux normes en vigueur relatives à la vitesse de biodégradation et de taille de particules résiduelles, ainsi qu'à une absence d'écotoxicité. La Commission européenne préconise que seuls les plastiques compostables industriels soient étiquetés comme « compostables ». En général, les conditions de compostage domestique ne conduisent pas à une biodégradation complète des plastiques compostables [15].

La norme NF EN 13432:2000 définit le programme d'essais et les critères d'évaluation applicables en vue de l'acceptation d'un emballage comme compostable. Elle impose une fragmentation et perte totale de visibilité dans le compost final (totalité des résidus supérieurs à 2 mm inférieure à 10 % de la masse initiale, après douze semaines max. dans les conditions de compostage) et 90 % de biodégradation aérobie en moins de six mois à 58 °C. Enfin, un test de croissance des plantes (test OECD 208 modifié) effectué sur des échantillons de compost ne doit montrer aucune différence avec un compost témoin.

L'identification des matériaux non compatibles avec le compostage (plastiques traditionnels, verre, matériaux contaminés par des métaux lourds, etc.) est indispensable, car ceux-ci affectent la qualité finale du compost et le rendent inapte pour une utilisation agricole, ce qui est inacceptable d'un point de vue environnemental et commercial.

Exemples de calculs de teneur en carbone biosourcé

• Définitions

On définit (avec les symboles utilisés dans la norme ISO 16620-3:2015) la teneur en polymère synthétique biosourcé (PSB) :

$$m_{PSB} = \frac{\text{masse de polymère synthétique biosourcé}}{\text{masse totale}} \times 100$$

On peut aussi considérer la teneur globale en polymère biosourcé, incluant les contributions des polymères synthétiques biosourcés et des polymères naturels (amidon, cellulose...).

La teneur en carbone total :

$$x^{CT} = \frac{\text{masse de carbone}}{\text{masse totale}} \times 100$$

La teneur en carbone biosourcé :

$$x_B = \frac{\text{masse de carbone biosourcé}}{\text{masse totale}} \times 100$$

La teneur en carbone biosourcé, exprimé en % de la teneur en carbone total :

$$x_B^{CT} = \frac{\text{masse de carbone biosourcé}}{\text{masse de carbone}} = \frac{x_B}{x^{CT}} \times 100$$

On peut aussi spécifier la contribution des différents constituants :

W_n : fraction massique du constituant n du produit ;

$m_{PSB,n}$: teneur en polymère synthétique biosourcé du constituant n ;

$x_{B,n}$: teneur en carbone biosourcé du constituant n .

La teneur globale en polymère synthétique biosourcé est :

$$m_{PSB} = \frac{\sum_i W_i \times m_{PSB,i}}{100}$$

• Exemple 1

On considère un PET obtenu par polymérisation de l'acide téréphthalique ($m = 166 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$) pétrosourcé et de l'éthylène glycol ($m = 62 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$) biosourcé en conditions stœchiométriques (figure 1). Ce PET est un polymère synthétique partiellement biosourcé.

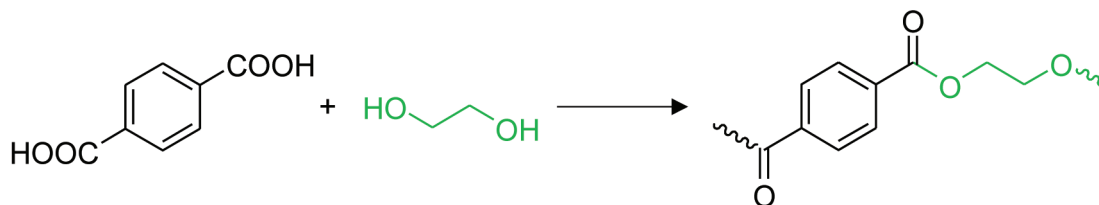


Figure 1 - Schéma de principe de la synthèse du PET. Par souci de simplicité n'est représentée que l'unité de répétition (UR) $\text{C}_{10}\text{H}_8\text{O}_4$ ($m_{UR} = 192 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$). La contribution biosourcée est représentée en vert.

Si l'on considère l'unité de répétition représentative du polymère formé (i.e. on néglige les extrémités de chaînes), le pourcentage massique de matière biosourcée est de $(60/192) \times 100 = 31,2 \%$.

La teneur en carbone total x^{CT} est de $(120/192) \times 100 = 62,5 \%$; la teneur en carbone biosourcé x_B est de $(24/192) \times 100 = 12,5 \%$.

La teneur en carbone biosourcé x_B^{CT} , exprimé en % de la teneur en carbone total est de :

$$x_B^{CT} = \frac{24}{120} \times 100 = \frac{x_B}{x^{CT}} \times 100 = 20 \%$$

Si l'on considère les intrants (i.e. les monomères), le pourcentage massique de matière biosourcée est de $(62/228) \times 100 = 27,2 \%$. Les pourcentages en carbone total et en carbone biosourcé varient, mais le pourcentage de carbone biosourcée par rapport au carbone total ne change pas :

$$x^{CT} = \frac{24 + 96}{62 + 166} \times 100 = 52,6 \%$$

$$x_B = \frac{24}{228} \times 100 = 10,5 \%$$

$$x_B^{CT} = \frac{24}{120} \times 100 = 20 \%$$

Exemple 2

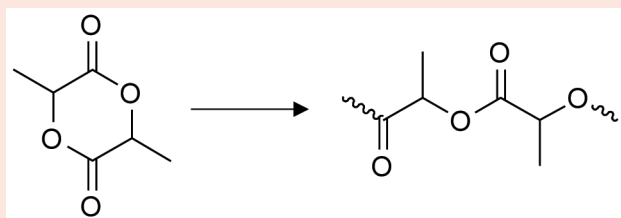


Figure 2 - Schéma de principe de la synthèse du PLA. L'unité monomère de formule $C_6H_8O_4$ est issue de l'ouverture de cycle du monomère. Cette unité monomère fait apparaître deux unités de répétition $C_3H_4O_2$. Que l'on raisonne en termes d'unité monomère ou en termes d'unité de répétition ne change rien quant au résultat final.

mêmes propriétés que le PE pétrosourcé et utilise les mêmes filières en fin de vie. Le *tableau I* peut facilement être adapté pour modifier la composition du mélange et tenir compte d'ajouts biosourcés et/ou naturels.

Tableau I - Exemple de calculs dans un mélange^(a).

^(a)Exemple de tableau repris de la norme ISO 16620-3:2015(F) : Plastiques - Teneur biosourcée. Détermination de la teneur en polymère synthétique biosourcé.

^(b)On considère ici la formule de l'unité monomère du polymère.

Nature du constituant	Nom du constituant	Formule chimique	Masse molaire (g·mol ⁻¹)	Teneur en carbone total dans le constituant x^{CT}	Teneur en carbone biosourcé dans le constituant x_B	Fraction massique du constituant dans le mélange (%)
Polymère synthétique biosourcé	PLA	$C_6H_8O_4$ ^(b)	144	50	50	40
Polymère synthétique d'origine fossile (pétrosourcé)	PE	C_2H_4 ^(b)	28	85,7	0	40
Polymère naturel	-	-	-	0		0
Additif biosourcé	-	-	-	0		0
Additif d'origine fossile	-	-	-	0		0
Additif inorganique	Carbonate de calcium	$CaCO_3$	100	12	0	20

Les teneurs en carbone total et carbone biosourcé dans le mélange sont respectivement :

$$x^{CT} = 50 \times 0,4 + 85,7 \times 0,4 + 12 \times 0,2 = 56,7 \% \text{ et } x_B = 50 \times 0,4 = 20 \%$$

$$\text{La teneur en carbone biosourcé par rapport au carbone total est } x_B^{CT} = \frac{x_B}{x^{CT}} \times 100 = 35,3 \%$$

Le CEN/TC 261 - Emballage a publié une norme pour les sacs aptes au compostage domestique. Les critères sont plus sévères que ceux des emballages aptes composables industriels (NF EN 13432:2000).

La norme française NF EN 17427:2022 - Emballage rapporte les exigences et le programme d'essai pour les sacs de transport aptes au traitement dans des installations de compostage domestique bien gérées. Les exigences de cette norme sont plus sévères que ceux de la norme NF T 51-800:2015. Dans le cadre de la révision (en cours d'élaboration) de la norme EN 13432:2000, les exigences pour le compostage industriel seront plus sévères que celles de l'édition de 2000. Il existe aussi une norme française mentionnée sur les sacs disponibles en France avec l'ISO 16620-2 : NF T 51-800:2015 - Plastiques - Spécifications pour les plastiques aptes au compostage domestique.

9. Microplastiques

Les microplastiques font référence à de très petites, voire microscopiques, particules solides, insolubles dans l'eau, à base de polymère synthétique, comprenant éventuellement des additifs. Le *Journal officiel* du 19 mars 2021 définit un microplastique comme un objet ou fragment de plastique dont la plus grande dimension externe est au moins micrométrique et au plus millimétrique [4]. L'Anses et l'ECHA précisent que la plus grande dimension externe est comprise entre 1 μm et 1 mm. Plus précisément, la taille est comprise entre 1 nm et 5 mm pour les particules, et entre 3 nm et 15 mm pour les fibres, avec un rapport longueur/diamètre supérieur à 3 [20-22]. À noter que les particules issues de polymères d'origine naturelle qui n'ont pas été modifiés chimiquement, autrement que par hydrolyse, et les polymères (bio)dégradables

ne sont pas considérés comme microplastiques au sens de l'annexe XV de l'ECHA [21].

Les microplastiques sont issus de la fragmentation de débris plastiques ou sont intentionnellement ajoutés dans des produits finis. La plupart des polymères synthétiques utilisés ne sont pas (bio)dégradables et deviennent une source de pollution. Du fait de leur très faible taille, les microplastiques sont difficiles à éliminer et peuvent rentrer dans la chaîne alimentaire après ingestion par les organismes vivants, ce qui constitue un problème majeur pour l'environnement et la santé.

La norme ISO 24187:2023 indique les principes d'analyse des microplastiques présents dans l'environnement. La norme ISO 4484-2:2023 s'attache aux microplastiques issus de la filière textile.

10. Biomatériau

Un biomatériau est un matériau utilisé en contact avec les tissus vivants, les organismes ou les microorganismes. De façon plus générale, il s'agit d'un matériau conçu pour interagir avec les systèmes biologiques, qu'il participe à la constitution d'un dispositif à visée diagnostique ou à celle d'un substitut de tissu ou d'organe, ou encore à celle d'un dispositif de suppléance (ou d'assistance) fonctionnelle [2].

Un biomatériau n'est donc pas obligatoirement un plastique, par exemple les prothèses de hanche, les dentiers, les stents...

En conclusion, l'utilisation du terme bioplastique est donc fortement déconseillée. Outre l'ADEME, les propositions de la Commission européenne « *visant à donner aux consommateurs les moyens d'agir en faveur de la transition écologique, suggèrent d'interdire les allégations génériques de « bioplastiques », plastiques « biosourcés » et « biodégradables » si ces termes ne sont pas parfaitement étayés* [15].

On voit donc qu'une connaissance basique de la chimie macromoléculaire et de la structure des polymères permet de mieux comprendre les difficultés rencontrées et les solutions envisageables pour discuter de ces problématiques et employer les termes corrects. D'un point de vue pédagogique, il est souhaitable d'apporter au plus tôt dans le cursus un minimum théorique sur les polymères biosourcés et biodégradables, de les replacer dans un contexte plus général de leurs cycles de vie et de leur positionnement dans une économie circulaire [23].

La Commission Enseignement du GFP tient particulièrement à remercier Alain Genty, ancien directeur du Bureau de Normalisation des Plastiques et de la Plasturgie, pour sa contribution à la rédaction de cet article.

Les sites qui suivent ont été consultés le 09/05/2025.

[1] www.gfp.asso.fr/enseignement

[2] M. Vert et al., Terminology for biorelated polymers and applications (IUPAC Recommendations 2012), *Pure Appl. Chem.*, **2012**, 84(2), p. 377-410, <http://dx.doi.org/10.1351/PAC-REC-10-12-04>

[3] ECHA, *Guide pour les monomères et les polymères*, V3, **2023**, <https://echa.europa.eu/fr/-/guidance-for-monomers-and-polymers>

[4] www.culture.fr/franceterme

[5] Lignes directrices de l'OCDE pour les essais de produits chimiques. Essai n° 118 : Détermination de la masse moléculaire moyenne en nombre et de la distribution des masses moléculaires des polymères par chromatographie sur gel perméable, **1996**, <https://doi.org/10.1787/9789264069855-fr>

Voir aussi : Council Regulation (EC) N° 440/2008 of 30 May 2008 laying down test methods pursuant to Regulation (EC) N° 1907/2006 of the European Parliament and of the Council on the Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemical (REACH), **2008**, <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2008/440/oj/eng>

[6] Règlement (UE) n° 10/2011 de la Commission du 14 janvier 2011 concernant les matériaux et objets en matière plastique destinés à entrer en contact avec des denrées alimentaires, **2011**, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/ALL/?uri=celex:32011R0010>

[7] P. Anastas, J. Warner, *Green chemistry: theory and practice*, Oxford University Press, **1998** ; P. Anastas, J. Zimmermann, Peer reviewed: design through the 12 principles of green engineering, *Environ. Sci. Technol.*, **2003**, 37, p. 95A-101A, <https://doi.org/10.1021/es032373g>

[8] EPA, United States Environmental Protection Agency - Basics of green chemistry, www.epa.gov/greenchemistry/basics-green-chemistry

[9] *Guide anti Greenwashing*, ADEME, **2023**.

[10] Standard test methods for determining the biobased content of solid, liquid, and gaseous samples using radiocarbon analysis, ASTM D 6866:2022.

[11] NF EN 16640, 15 avril 2017. Produits biosourcés. Teneur en carbone biosourcé. Détermination de la teneur en carbone biosourcé par la méthode en radiocarbone.

[12] La norme ISO 16620 comprend cinq parties :

ISO 16620-1:2015 Plastiques - Teneur biosourcée - Partie 1 : Principes généraux.

ISO 16620-2:2019 Plastiques - Teneur biosourcée - Partie 2 : Détermination de la teneur en carbone biosourcé.

ISO 16620-3:2015 Plastiques - Teneur biosourcée - Partie 3 : Détermination de la teneur en polymère synthétique biosourcé.

ISO 16620-4:2016 Plastiques - Teneur biosourcée - Partie 4 : Détermination de la teneur en masse biosourcée.

ISO 16620-5:2017 Plastiques - Teneur biosourcée - Partie 5 : Déclaration de la teneur en carbone biosourcé, de la teneur en polymère synthétique biosourcé et de la teneur en masse biosourcée.

[13] <https://okcert.tuvaustria.com/doc-center>

<https://okcert.tuvaustria.com/nen-biobased>

https://be.tuvaustria.com/wp-content/uploads/sites/73/2024/03/ID-OKB_from_ASTM_D6866_to_EN_16640_FR.pdf

[14] <https://standards.cencenelec.eu/dyn/www/?p=CEN:105::RESET:::>

[15] Commission européenne. Questions et réponses - Communication sur un cadre d'action pour les plastiques biosourcés, biodégradables et compostables, 30/11/2022.

[16] www.european-bioplastics.org/bioplastics

[17] www.afcb-asso.org

[18] Évaluation de la biodégradabilité aérobie ultime des matériaux plastiques en milieu aqueux - Méthode par détermination de la demande en oxygène dans un respiromètre fermé. Norme ISO 14851.

[19] Évaluation de la biodégradabilité aérobie ultime des matériaux plastiques en milieu aqueux - Méthode par analyse du dioxyde de carbone libéré. Norme ISO 14852.

[20] Usages des matières plastiques biosourcées, biodégradables et compostables. Avis de l'Anses. Rapport d'expertise collective, octobre 2022.

[21] ECHA, *Annex XV Restriction report – microplastics*, **2019**.

[22] P. Boucard, C. Denize, M. Aydin, Microplastic releases in the European Union. Eionet Report - ETC HE 2024/15, European Topic Centre on Human Health and the Environment, **2024**, www.eionet.europa.eu/etcs/etc-he/products/etc-he-products/etc-he-reports/etc-he-report-2024-15-microplastic-releases-in-the-european-union

[23] PlasticsEurope, *The circular economy for plastics. A European Analysis 2024*, <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/the-circular-economy-for-plastics-a-european-analysis-2024>

Cet article est le résultat d'un travail de réflexion en commun de la **Commission Enseignement* du Groupe Français d'études et d'Applications des Polymères (GFP)**.

*Contact : thierry.hamaide@cpe.fr