

Cinquante nuances de bioplastiques

Fiche **QUESTIONS SUR...** n° 06.06.Q03

avril 2023

Mots clés : bioplastique - polymère - propriété - matériau

Présenter les bioplastiques conduit à entrer dans une grande diversité de structures moléculaires et d'organisations, pouvant susciter des ambiguïtés et des incompréhensions. Les matières concernées sont des polymères. Leur atout est triple : (1) la faible densité comparativement aux matériaux en argile, aux métaux et au verre, (2) la facilité de mise en forme, par passage de l'état solide initial à l'état fondu sous l'action de la température ou du cisaillement, et (3) des propriétés originales.

Cinq domaines d'usages importants

Dans le monde des matériaux, les polymères utiles dans nos sociétés, sont présents dans cinq domaines d'usage importants : les emballages (~ 39 % dont la durée d'usage est de quelques semaines à quelques mois), les secteurs du bâtiment (~ 20 %, 25 à 50 ans), de l'agriculture (~ 17 %), de l'automobile (~ 6 % du marché, 5 à 15 ans) et enfin les équipements électriques et électroniques (~ 5 % du marché, 2 à 7 ans). Le premier domaine répond aux besoins de la commercialisation des produits pour les transporter, les protéger (propriétés de barrière aux gaz et aux liquides prévenant les contaminations extérieures chimiques ou microbiennes), augmenter leur résistance aux chocs (propriétés mécaniques), les conserver, assurer leur présentation et nous fournir des informations (traçabilité) sur les contenus. Le paysage des plastiques est luxuriant, avec une accumulation des usages des plastiques couplés à des comportements humains adaptés à ces usages. L'approche par les sources, les structures chimiques ou les propriétés conduit à un imbroglio des termes : bioplastiques, biopolymères, plastiques biosourcés et plastiques biodégradables.

L'histoire des polymères

L'histoire des polymères comporte plusieurs étapes. Les premiers matériaux, les biopolymères (voir fiche [06.06.Q04 Les premiers polymères étaient des biopolymères](#)) étaient d'origine biologique et occupent toujours une grande place. Jusqu'à la fin du XIX^e siècle, les solutions pour les emballages reposaient sur des produits biosourcés (feuille de palmier, de châtaignier, le bois, la Calebasse, le papier, les fibres). Pondéralement, les premiers matériaux d'origine biologique sont le papier (connu en Chine depuis 220 avant J.-C.) et les fibres. En 2020 (FAO, 2021), les 202 MT (millions de tonnes) de la production mondiale de pâte à papier ont été complétés par 228 MT de papier recyclés, pour conduire à 404 Mt de papier et cartons. 32 MT (FAO, 2018) de fibres naturelles produites annuellement sont fondés sur le coton (26 MT), le jute et le kenaf (3 MT), la laine (2,2 MT) et le lin (1,2 MT). Les dérivés, nitrate et acétate de cellulose, sont produits depuis la fin du XIX^e siècle. La transformation de la pâte à papier par estérification qui permet aussi d'obtenir des fils (6,9 Mt/an). Toutes ces structures reposent sur un biopolymère particulier, la cellulose, dont les molécules ont la propriété de s'associer naturellement en fibrilles.

D'autres biopolymères ont été sélectionnés, et des segments d'application identifiés. Le latex d'hévéa, connu à partir du XV^e siècle, a connu un développement industriel depuis l'invention de la vulcanisation (1870). L'apport de connaissances issues des pétrosourcés a permis le développement des matériaux à base de protéines (1973) et d'amidon (1990).

À partir du début du XX^e siècle, la révolution dans le domaine des plastiques est venue de la chimie organique, ouvrant la voie à la création de nouvelles structures chimiques à partir de carbone fossile (charbon, puis pétrole et gaz). La logique technologique est de partir de monomère(s) dont la polymérisation aboutit à la formation de polymères.

Des monomères issus de la biomasse sont venus compléter ce paysage, pour donner des polymères biosourcés (voir fiche [06.06.Q05 Les polymères biosourcés](#)). La puissance de la chimie organique se révèle [page 1](#) Fiche consultable sur le site internet www.academie-agriculture.fr onglet "**Publications**" puis "**Table des matières des documents de l'Encyclopédie**".

Reproduction autorisée sous réserve d'en citer la provenance

aujourd'hui une faiblesse au développement des matériaux biosourcés, car son corpus de connaissances est focalisé sur des structures essentiellement composées d'hydrogène et de carbone.

Trois grandes catégories de polymères

Globalement, les polymères englobent trois grandes catégories : les thermoplastiques, les thermodurcissables et les élastomères.

Les thermoplastiques se déforment de manière réversible sous l'effet de la chaleur. Les principaux pétrosourcés sont : polyéthylène PE (apparu en 1850), polypropylène PP (1957), polychlorure de vinyle PVC (1914), polystyrène PS (1931), polystyrène expansée EPS (1944), polyéthylène téréphtalate PET (1953), acrylonitrile-butadiène-styrène ABS (1948), styrène acrylonitrile SAN (1950), polyamide PA (1936), polycarbonate PC (1953), polybutylène téréphtalate PBT (1970), polyoxyméthylène POM (1959), polyméthyl méthacrylate PMMA (1928). En découle la recyclabilité mécanique (broyage, chauffage, cisaillement) du matériau. Un produit est qualifié de recyclable lorsqu'il peut, en fin de vie, être réintroduit dans le cycle de production en lieu et place d'une partie ou de la totalité de la matière première neuve nécessaire à la confection d'un produit. Le papier, le verre et les métaux présentent cette propriété.

Les polymères thermodurcissables, à l'inverse, sont constitués d'une seule macromolécule représentée par un réseau tridimensionnel infusible et insoluble dont la rigidité augmente avec la densité du réseau. Ils prennent une forme définitive au premier refroidissement. Ce sont les mousses urée-formaldéhyde, les résines époxy, les résines polyesters. La conséquence de l'infusibilité est l'impossibilité de les recycler mécaniquement en lieu et place de polymère neuf.

Les élastomères (cis-1,4-polyisoprène) présentent les mêmes aptitudes de déformation élastique que le caoutchouc. Pour que ce matériau de base présente une bonne élasticité et durabilité, il subit une vulcanisation, qui est un procédé de cuisson et de durcissement. De ce fait, les élastomères ne sont pas recyclables mécaniquement. Bien que non thermoplastiques, les élastomères font partie des matières plastiques en raison de leur nature de polymère. Toutefois leur obtention tant par des sources pétrosourcées que biosourcées conduit à la même grille d'analyse pour les usages et la gestion de vie de ces matériaux. En 2018, ils représentent 29 MT dont 14 MT biosourcés. Cette logique a été poursuivie avec des monomères venant de matières biologiques, voire en mélange avec des monomères pétrosourcés.

Les additifs

Ces polymères, qui ne sont jamais mis en œuvre seuls, sont formulés en mélange avec des petites molécules fonctionnelles : les additifs, qui peuvent être pétro- ou biosourcés. Ce sont :

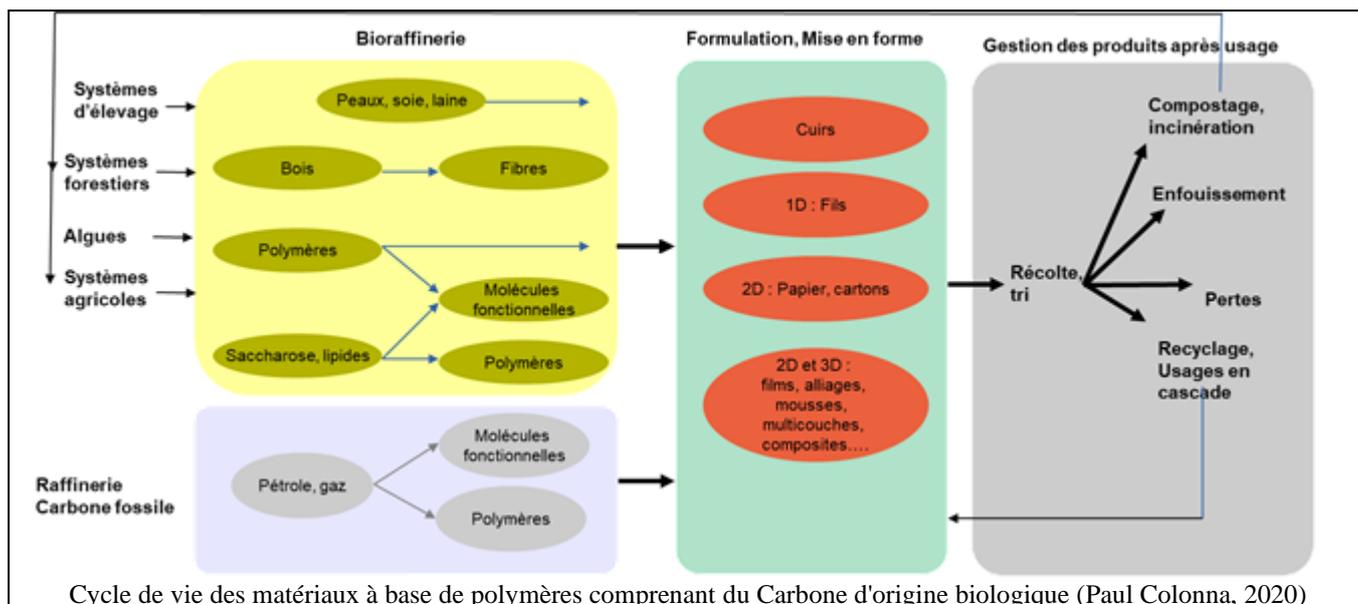
- des charges minérales, métalliques ou organiques, comme des fibres végétales, qui améliorent les propriétés mécaniques (résistance aux chocs) ou opacifient (PET) ;
- des plastifiants, dont les phtalates, les adipates, des huiles époxydées, des glycols, ;
- des stabilisants chimiques, comme les antioxydants qui préviennent la dégradation des polymères au cours de leur transformation et de leur usage (lumière) ;
- des antistatiques, qui empêchent le dépôt de poussière sur le plastique ;
- des lubrifiants, comme les lipides, qui empêchent les matériaux organiques d'adhérer aux machines, mais limitent également l'usure des outils de mise en forme ;
- des colorants et encres d'impression ;
- des retardateurs de flamme ou ignifugeants, qui confèrent une meilleure résistance au feu, en particulier dans les matériaux de construction.

Impacts écotoxiques possibles

Certains composés (composés perfluorés, dérivés chlorés) présents dans les matériaux finis peuvent être à l'origine d'impacts écotoxiques majeurs (perturbateurs endocriniens...) observés et compris dès 1991 avec la conférence de Wingspread à l'initiative de Théo Colborn. La principale source d'exposition au bisphénol A (BPA) se produit par migration vers les aliments du BPA présent dans les emballages. Le BPA a fait l'objet de mesures d'interdictions successives en France. Le bisphénol S ou le bisphénol F, de structure très proche, utilisées en substitution au bisphénol A, soulèvent tout autant de questions.

La formulation et de la mise en forme

Le dernier domaine à considérer est celui de la formulation et de la mise en forme. Ces polymères pétro- et biosourcés peuvent être associés dans différentes formulations conduisant à des organisations supramoléculaires représentant une nouvelle échelle de complexité : des films multicouches, des composites en associant au moins un polymère et des fibres, des alliages par mélange de différents polymères et des mousses. Ces différentes organisations moléculaires sont autant d'opportunités d'associer de différentes manières des polymères et leurs additifs. Les fibres textiles illustrent cette diversité avec les fils de fibres naturelles (origine végétale : cellulose, coton, lin, chanvre, etc. ; origine animale : laine, soie), des fils de fibres modifiées chimiquement (cellulose mercerisée, viscose), des fibres filées à partir de biopolymères (lyocell à partir de cellulose solubilisée, lanital à partir de lait, alginate) ou de polymères biosourcés (acide polylactique PLA, biopolyester polytriméthylènetéréphthalate PTT).



Cycle de vie des matériaux à base de polymères comprenant du Carbone d'origine biologique (Paul Colonna, 2020)

Ces différents paramètres de formulation, associant molécules bio- et pétrosourcées font que les propriétés des polymères sont ajustées finement à leurs usages (souplesse, allongement à la rupture, tenue au froid et aux chocs, etc.) ou pour faciliter la mise en œuvre.

La conséquence est que les matériaux finaux sont souvent des mélanges combinant des molécules d'origine fossile ou non.

Le marché

Ce marché, mondialisé, est structuré par des compétences technologiques protégées par de la propriété intellectuelle. Ce marché évolue principalement par les innovations technologiques, renforçant les usages multiples, modifiant les avantages compétitifs des produits et par voie de conséquence des acteurs.

Les matières plastiques¹ ont connu un développement extraordinaire depuis le XX^e siècle, pour atteindre, en 2020, 367 MT au niveau mondial, dont 55 MT pour l'ensemble Union européenne-Norvège-Suisse, à mettre en regard d'une consommation européenne globale de 49,1 MT. Les principaux produits sont le polyéthylène PE (29,8 %), le polypropylène PP (19,3 %), le polychlorure de vinyle PVC (10,2 %), le polyuréthane PUR (7,7 %), le polyéthylène téréphthalate PET (7,4 %) et le polystyrène PS (6,6 %). Les valeurs numériques de production de polymères peuvent conduire à une confusion entre celles des polymères (chimistes) et des matériaux (formulés, mis en forme et prêts à l'usage).

¹ PlasticsEurope, 2021

L'appellation bioplastiques

Les biopolymères et molécules biosourcés sont regroupés sous l'appellation de bioplastiques. Leur présence dans un matériau final ne confère pas directement une propriété de biodégradabilité (voir fiche [06.06.Q06 L'imbroglie de la biodégradabilité](#)). C'est une propriété qui mérite d'être approfondie pour identifier toutes les contraintes et opportunités qui s'exercent dans le cycle de vie de ces matériaux. D'autres impacts sur l'environnement ont été évalués, permettant d'identifier les solutions créatives où les bioplastiques peuvent avoir des atouts compétitifs comparativement aux pétrosourcés.

Au-delà de ces visions classiques de filières technologiques spécifiques des polymères, une analyse systémique permet de placer ces bioplastiques dans le cadre général de la bioéconomie. Leur développement requiert des productions agricoles et forestières dont l'extension pourrait induire des tensions socio-économiques et environnementales.

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

Ce qu'il faut retenir :

Les bioplastiques comprennent les biopolymères et les plastiques biosourcés. Leurs formulations finales comportent des additifs fonctionnels, à ne pas oublier pour leurs effets propres en écotoxicologie.

Ils ont connu un développement qui a profité des connaissances acquises sur les polymères pétrosourcés.

Les bioplastiques sont au croisement de trois disciplines : biotechnologie, physicochimie et chimie organique.

Pour en savoir plus :

- S. BAUMBERGER: *Chimie verte et Industries Agro-Alimentaires - Vers une bioéconomie durable*. Pub. Lavoisier, 2020
- Paul COLONNA : *La Chimie Verte*, Coordonnateur Ed. Tec&Doc., 530 p, 2006.
- M. CARREGA et V. VERNEY : *Matières plastiques*, Dunod, 2017, ISBN 978-2-10-076740-3.
- J. SPEKREIJSE, T. LAMMENS, C. PARISI, T. RONZON & M. VIS : *Insights into the European market for bio-based chemicals*, EUR 29581 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2019, ISBN 978-92-76-01501-7 (online),978-92-76-01500-0 (print), doi:10.2760/18942 (online),10.2760/739561 (print), JRC112989

The Graduate, Embassy Pictures, 1967.

Mr. McGuire: *Come with me for a minute. I want to talk to you. I just want to say one word to you. Just one word.*

Ben: *Yes, sir.*

McGuire: *Are you listening?*

Ben: *Yes sir, I am.*

McGuire: *PLASTICS.*

Ben: *Exactly what do you mean?*

Mr. McGuire: *There is a great future in plastics. Think about it. Will you think about it?*

Ben: *Yes I will.*