

# De la structure imaginée au produit industriel

*La compréhension de mécanismes universels à partir d'un problème posé par l'industrie ouvre la voie aux perfectionnements.*

**L**es acteurs de la recherche scientifique et industrielle renouent le dialogue entre Aristote et Platon. Faut-il, comme le chercheur aristotélicien, rechercher la nouveauté dans l'observation de formations naturelles? Doit-on se fonder, s'interroge le chercheur platonicien, sur les conceptions idéales qu'élabore notre cerveau, pour imaginer des structures novatrices? Pour ce qui est des matières plastiques, les inventions résultent plus aujourd'hui des réflexions platoniciennes. La demande industrielle est aristotélicienne : elle est fondée sur les propriétés souhaitées de la matière. La conception, dans l'Unité mixte CNRS-Elf Atochem, est d'essence platonicienne.

Après tout, les matières plastiques modernes, inspirées de la nature, ont été confectionnées par l'homme ; depuis la découverte de la première matière plastique entièrement synthétique, la bakélite, par Baekeland en 1910, les nouveaux produits plastiques ont été le fruit de l'imagination humaine.

Ce succès se prolonge aujourd'hui, à la fois dans les quantités de matière

produites et dans les types de structures élaborées. À ces deux points de vue, les polymères sont un secteur porteur de l'industrie, où la Société Elf Atochem est un des principaux acteurs mondiaux. Elf Atochem est le premier fabricant européen de polymères, le quatrième producteur de substances adhésives polymériques.

Dans cette discipline, les chercheurs français ont joué et jouent encore un rôle de tout premier plan ; la tradition s'est perpétuée, des initiateurs de la chimie et de la physico-chimie des polymères, aux travaux de Pierre-Gilles de Gennes, prix Nobel de physique en 1991, sur la compréhension fine des enchevêtrements polymériques.

Car les vœux des industriels ne sont pas tous exaucés, les limites possibles ne sont pas toutes atteintes : l'industrie recherche des polymères tenant à de plus hautes températures, des gels plus absorbants, des fibres mécaniques entièrement cristallisées ayant les propriétés de l'acier pour une densité bien inférieure, des papiers plus résistants, des colles plus efficaces.

L'Unité de recherche CNRS-Elf Atochem, dirigée par Ludwik Leibler, poursuit les recherches sur les polymères en modélisant des ordonnancements structuraux hétérogènes. La compréhension fine de l'organisation macromoléculaire permet d'aller plus loin dans la spécification des propriétés et les qualités des structures. En parallèle, les recherches effectuées expliquent la physique des phénomènes observés et ouvrent la voie aux perfectionnements.

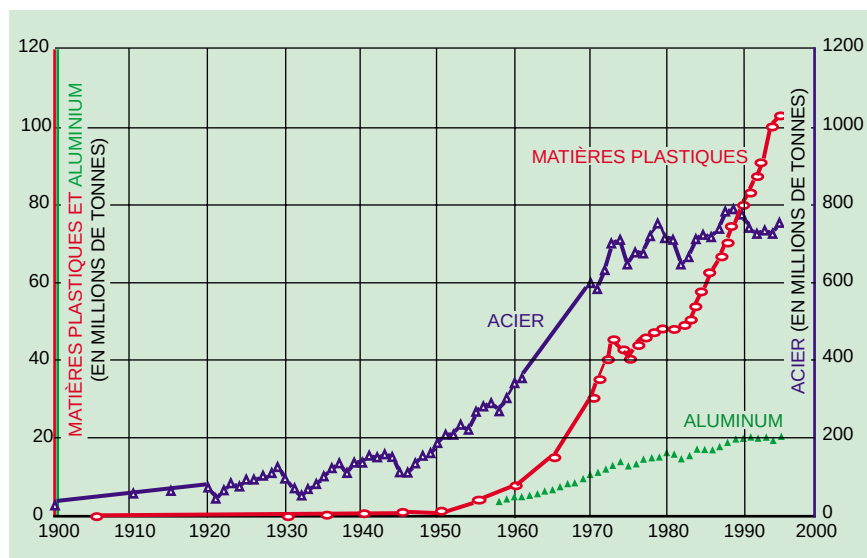
## L'ORGANISATION DES COPOLYMÈRES

On sait depuis plusieurs siècles que les alliages métalliques sont des mélanges hétérogènes où l'on spécifie à façon des qualités requises. Les mélanges de polymères sont adaptés dans un même esprit, mais offrent plus de diversité, car on y contrôle à la fois les monomères constitutifs, leur répartition dans la chaîne et la longueur des chaînes polymériques.

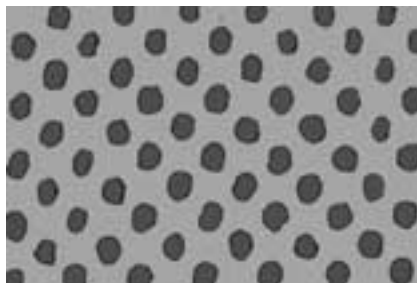
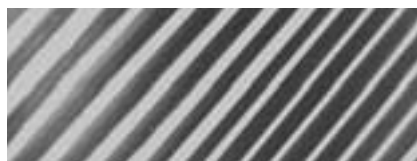
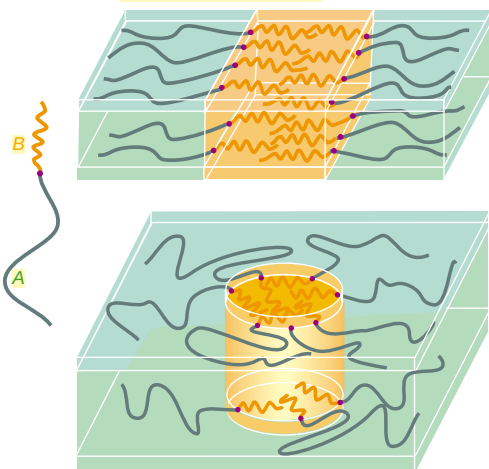
L'agitation thermique tend à mélanger les polymères, mais les forces d'interaction chimiques peuvent favoriser la ségrégation. Dans le cas de deux polymères A et B dont les propriétés chimiques des monomères constitutifs sont différentes, la température de transition entre mélange homogène et phases séparées est d'autant plus élevée que les chaînes polymériques sont longues.

Les architectures sont plus facilement ajustées avec des copolymères où les chaînes polymériques sont constituées de deux ou trois types de polymères de natures différentes soudés par des liaisons chimiques. Les structures macroscopiques dépendent de la taille et de la flexibilité des chaînes polymériques. Depuis une vingtaine d'années, on observe, grâce aux moyens d'analyse perfectionnés, des configurations de copolymères en lamelles, en cylindres ou en sphères.

Un enjeu toujours d'actualité est de trouver des applications des matériaux ayant ces structurations originales.

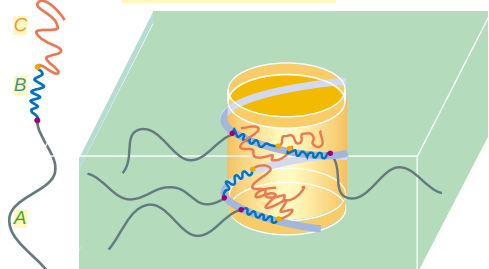


## POLYMÈRES DIBLOCS



1000 Å

## POLYMÈRES TRIBLOCS



Atochem

Structurations en lamelles et en cylindres de copolymères diblocs (en haut). Les copolymères triblocs donnent une structure originale (en bas). À droite les structures observées.

Les copolymères diblocs polybutadiène-polyméthylmétaacrylate illustrent des structures possibles. Dans ces copolymères, les chaînes de polymères d'un même type s'attirent et tendent à s'agglutiner, mais la structuration résultante impose un étirement des chaînes. Quand les polymères A et B du copolymère ont des caractéristiques trop différentes (longueur, affinité), on sait créer, par exemple, des structures en cylindres où se rassemblent les chaînes du polymère A dans une matrice constituée par les chaînes du polymère B. Les configurations obtenues dépendent de la nature des constituants qui déterminent l'attraction entre les chaînes, des tailles respectives des chaînes, de la température, etc. Ces structures sont, de plus, organisées : les espacements des lamelles ou des cylindres sont réguliers, constituant un macrocristal. Quand l'asymétrie des concentrations de A et de B augmente encore, il apparaît des sphères de polymère, noyées dans une matrice de polymère B. Les recherches actuelles de l'Unité mixte portent aussi sur les polymères triblocs, où le paramètre ajouté, le bloc supplémentaire accroît considérablement la variété des formes possibles. Avec les poly-

mères triblocs, de nouvelles structures ont été découvertes dans le laboratoire de l'Unité mixte.

Les théories thermodynamiques élaborées prévoient les paramètres associés à ces configurations et permettent une conception de polymères à façon, en fonction des propriétés désirées du matériau final. Elles donnent aussi des guides précieux pour prédire le comportement élastique ou plastique du matériau obtenu et les qualités d'adhésion des différentes phases, facteur crucial pour la qualité du produit industriel.

Les hétérogénéités sont aussi fonction du degré de cristallisation, et les industriels en tirent profit pour diminuer la fragilité du matériau polymérique : la fissure développée dans une zone cristalline s'arrête dans une zone caoutchouteuse. Les physico-chimistes s'emploient à répartir ces zones absorbantes de façon optimale pour préserver la rigidité des zones cristallines et la résistance aux chocs conférée par les zones amorphes.

Mais on sait aussi structurer le matériau de manière encore plus subtile par la répartition des comonomères greffés le long de la chaîne afin d'obtenir, par exemple, des propriétés de mouillage et d'adhésion remarquables.

## LES MATÉRIAUX STRUCTURÉS

Ces effets d'organisation créent des structurations à des échelles mésoscopiques (jusqu'à un micromètre typiquement). Il est possible de créer des arrangements macroscopiques à plus grande échelle par des conditions de mise en œuvre particulières, par exemple lors de la coextrusion.

Dans la bouteille de jus d'orange Joker, six couches de matériaux plastiques sont extrudées ensemble pour former le récipient. Certaines couches sont imperméables à l'eau, d'autres à l'oxygène, d'autres confèrent la résistance mécanique convenable. Dans une bouteille en verre, il y a, en poids, 46 pour cent de verre et 50 pour cent de liquide ; dans une bouteille plastique, 93 pour cent de liquide et 7 pour cent de plastique. La conclusion est écologique : le contenant est minimisé par rapport au contenu.

Le contrôle de l'extrusion et de la coextrusion est un problème délicat : il importe notamment d'assurer la régularité des couches déposées et leur adhésion. Les instabilités indésirables dans l'extrusion sont étudiées dans des systèmes plus simples à manipuler, comme les solutions. Les zones instables de l'écoulement sont détectées et étudiées par biréfringence optique.

Le papier est un autre matériau structuré à l'échelle macroscopique. Dans ce matériau composite, les fibres de cellulose forment un réseau enchevêtré, et l'on y ajoute différents additifs minéraux et polymères qui apportent de l'opacité, de la couleur et une bonne tenue mécanique. L'amélioration de la résistance au déchirement du papier humide est importante dans de nombreux secteurs de l'industrie : augmentation des cadences de l'imprimerie, fabrication de papier de spécialité (papier monnaie, papier peint, papier absorbant). L'analyse physico-chimique a autorisé la mise au point d'un nouvel additif augmentant la tenue du papier chargé d'eau.

Selon Pierre Avenas, directeur des recherches d'Elf Atochem, la coopération dans l'Unité mixte est fondée sur un dialogue exemplaire et fructueux, où les nécessités industrielles sont un moteur de réflexion pour le chercheur. ■

**elf atochem**  
**ATO**