

# Les polymères et plastiques

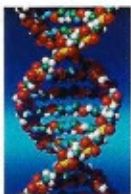
### QUI DIT PLASTIQUE DIT POLYMÈRE

Le plastique est largement présent dans notre quotidien. Dans le langage courant nous avons pris l'habitude de désigner par plastique ce qui ressemble de près ou de loin à du PVC (matériau résistant, coloré, peu dangereux et facile à laver) ou à du polyéthylène (sac plastique de supermarché par exemple). En réalité beaucoup de matériaux de notre vie courante sont aussi des plastiques comme les peintures, les fibres textiles, etc.

On appelle en fait « plastique » tout matériau, synthétique ou naturel, qui présente une certaine « plasticité » lors de sa fabrication, ce qui permet de le mettre en forme facilement par des processus industriels classiques. Les matériaux de ce type sont d'une très grande diversité mais ont en commun quelques caractéristiques qui ont fait leur succès : légèreté, résistance et inertie chimique (peu de réactivité avec d'autres produits chimiques). Du point de vue chimique, les plastiques font partie de la grande famille des polymères ; mais tous les polymères ne sont pas des plastiques. Les « élastomères » par exemple, matériaux élastiques comme le caoutchouc, sont également des polymères.

### QU'EST-CE QU'UN POLYMÈRE ?

Un polymère désigne une grande molécule constituée d'un certain nombre de motifs identiques, comme un grand collier de perles. Chaque « perle » est elle-même constituée d'un ou deux monomères. Ces monomères sont en grande partie des dérivés du pétrole. On peut donc schématiser les polymères comme étant des grandes chaînes de carbone avec plus ou moins de branches. Il existe des polymères naturels comme l'amidon qui est un « collier » dont chaque « perle » est une réserve de sucre (molécule de glucose). D'autres dirigent notre vie : l'ADN, mais aussi les protéines qui sont des polymères constitués d'acides aminés. Le bois est également un polymère constitué de fibres de cellulose.



Le bois est également un polymère constitué de fibres de cellulose.

### FABRICATION DES MATIÈRES PLASTIQUES

La fabrication des matières plastiques se fait en plusieurs

étapes : approvisionnement en matières premières, synthèse du polymère de base, puis traitement du polymère en un matériau adapté à la fabrication et à la mise en forme.

### MATIÈRES PREMIÈRES

À l'origine, la plupart des matières plastiques provenaient de résines dérivées de matières végétales, comme la cellulose (extraite du **coton**), le furfural (extrait de céréales), les huiles (obtenues à partir de graines), les dérivés d'amidon ou le charbon. La caséine (issue du lait) était l'une des seules matières non végétales utilisées. Aujourd'hui, la plupart des matières plastiques sont synthétisées à partir de produits pétrochimiques. La distillation du **pétrole** permet d'obtenir, de façon



abondante et bon marché, les matières premières nécessaires à la fabrication des matières plastiques. Le pétrole est un liquide visqueux constitué d'un mélange de produits appelés hydrocarbures qui sont plus ou moins lourds. De ce fait, ils ont des points d'ébullition (passage de l'état liquide à l'état gazeux) relativement différents les uns des autres. La séparation des constituants du pétrole, qui est une distillation fractionnée, utilise cette différenciation des points d'ébullition.

### SYNTHÈSE DU POLYMÈRE

À partir de petites molécules appelées monomères, obtenues après distillation du pétrole, on obtient de grosses molécules appelées polymères, par assemblage de ces monomères sous forme de chaînes. Cette phase d'assemblage s'appelle la polymérisation. L'ajout de copolymères (monomères différents) permet de modifier les propriétés du polymère. Par exemple, on peut augmenter l'aptitude du plastique au thermoformage (mise en forme) ou sa résistance à l'état fondu ; augmenter sa résistance aux chocs ou encore ses propriétés optiques. Les deux procédés de base de la polymérisation sont les réactions par condensation et par addition.

Les polymères types formés par condensation sont les Nylons, les polyuréthanes (PU) et les polyester. Parmi les polymères synthétisés par addition, citons le polyéthylène (PE), le polypropène (PP), le chlorure de polyvinyle (PVC) et le polystyrène (PS).

### ADJUVANTS

Des adjuvants chimiques sont souvent utilisés en faible quantité (quelques %) pour donner aux matières plastiques des caractéristiques souhaitées. Les anti-oxydants, par exemple, sont employés pour augmenter la résistance du polymère à la chaleur ; les ignifugeants permettent d'augmenter la résistance du matériau au feu. Les charges renforçantes augmentent la résistance mécanique, et les charges inertes diminuent le prix de revient. Enfin, les lubrifiants augmentent la facilité de moulage/démoulage, tandis que les plastifiants permettent d'adapter la rigidité du plastique à l'usage souhaité.

### DUR OU MOU ?

Comment expliquer qu'un bouton de **clavier d'ordinateur** est dur



alors qu'un câble est mou ? Tout est affaire de température... Ces plastiques sont baptisés « thermoplastiques ». D'autres types de plastique résistent aux températures très élevées : ce sont les « thermodurcissables ».

### LES THERMOPLASTIQUES

Chaque matériau thermoplastique possède une température critique, appelée température de transition vitreuse  $T_g$ , au-delà de laquelle il se ramollit : le polymère devient visqueux. Cette propriété est très utile pour la mise en forme des plastiques : en chauffant on peut les étirer, les mouler, en faire des films... En dessous de la température critique, les plastiques deviennent durs et cassants. Pour les plastiques souples, cette température critique est inférieure à la température ambiante. Les thermoplastiques sont particulièrement utilisés dans la fabrication des emballages. Il s'agit du polychlorure de vinyle (PVC), du polyéthylène (PEhd et PEbd), du polypropylène (PP), du polystyrène (PS) et du polyéthylène téréphthalate (PET).

Pour les applications techniques, on utilise généralement l'acrylonitrile butadiène styrène (ABS), les polyamides, les polycarbonates, les polyacryliques, le polyuréthane (PU).

### LES THERMODURCISSEABLES

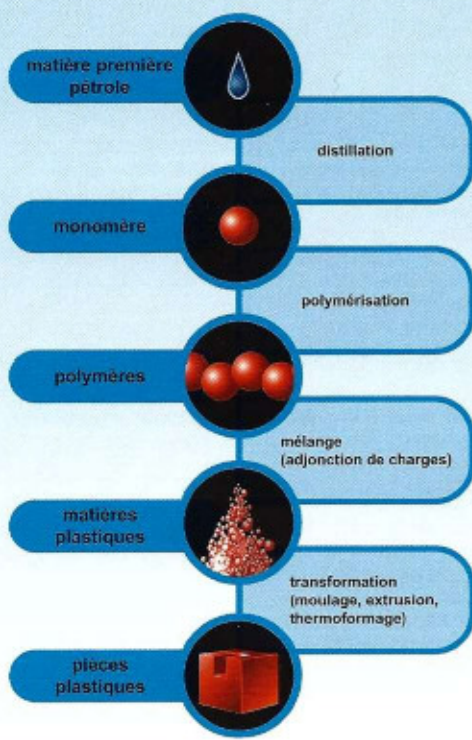
Les thermodurcissables ne ramolissent pas quand la température augmente. Contrairement aux thermoplastiques, ils ne deviennent pas visqueux au-delà d'une certaine température mais conservent leur rigidité jusqu'à la dégradation inéluctable. Cette propriété leur permet, par exemple, d'être utilisés par les archéologues pour prendre les empreintes des grottes préhistoriques ou des ossements. Comme on ne peut pas ramollir les thermodurcissables, ces matériaux sont moins faciles à mettre en forme et à recycler. On va donc leur préférer les thermoplastiques sauf quand leur utilisation implique une

### LIQUIDE OU SOLIDE ?



Que dire de l'état d'une **peinture** ? Dans son pot elle est liquide, alors que sur un mur elle ne doit surtout pas couler. En fait, tout est affaire de concentration. Dans le pot de peinture, il y a des polymères mais surtout du solvant, c'est-à-dire un autre produit chimique, sous forme liquide, qui a pour fonction de diluer le polymère. Ces solvants peuvent être organiques mais on essaie de plus en plus aujourd'hui d'avoir recours à l'eau, pour des raisons écologiques. Le solvant permet d'obtenir une solution liquide, ce qui est bien sûr pratique pour appliquer la peinture au pinceau, mais l'intérêt est aussi d'empêcher les molécules de polymère de se toucher et de réagir entre elles. Ceci doit avoir lieu dans un deuxième temps, quand la peinture est sur le mur. À ce moment là, le solvant s'évapore, les molécules se rapprochent et une réaction de « réticulation » se produit : le polymère s'accroche entre elles pour former un réseau dense et solide. C'est pourquoi quand on laisse un pot à l'air libre trop longtemps, le solvant s'évapore et on voit une peau se former à la surface. Cette réaction étant irréversible, il est inutile de rajouter du solvant pour retourner à l'état de peinture liquide. Si ce n'était pas le cas, les peintures des murs partiraient au premier coup d'éponge.

### Chaîne de production des pièces plastiques



### Multitude de plastiques

30 %



Pourcentage des plastiques utilisés dans le secteur de l'emballage.

81 %

Pourcentage de la production française en thermoplastiques.

7 %

Pourcentage de la production française en thermodurcissables.

120 kg



Une automobile contient en moyenne 120 kg de matières plastiques, soit environ 12 % de son poids.

5,4 millions de tonnes

Estimation de la consommation française en plastique, en 2000.

Plus de 7 milliards



Nombre de bouteilles et flacons plastiques vendus en France chaque année.

### Les thermo-plastiques



PVC, PE, PS, PP

Plastiques les plus répandus



exposition à des températures élevées (100-200 °C) ou une mise en forme dans des conditions particulières. Il s'agit de polyesters insaturés, du polyuréthane réticulé et de la bakélite. Cette dernière fut la première résine thermosable synthétique, utilisée à ses débuts dans la fabrication des appareils photographiques, radio, téléphones...

### UN PEU DE PHYSICO-CHEMIE

C'est en réalité la composition chimique d'un polymère qui va déterminer ses propriétés physiques évoquées plus haut. Les plastiques sont en fait des enchevêtrements de longues molécules de polymères, à la manière d'un plat de spaghetti. Pour comprendre les propriétés d'un polymère, il suffit alors d'observer sa structure. Ainsi, pour rendre un plastique résistant, il faut allonger les chaînes et les ramifier. Pour les thermosables, qui deviennent rigides quand on les chauffe, l'apport de chaleur provoque une réaction de « réticulation » : les chaînes de polymères s'attachent entre elles pour former un grillage solide. Pour « attacher » les polymères entre eux, les chimistes ont recours à différentes astuces. Par exemple, ils préparent dans un premier temps des polymères avec des branches encore potentiellement réactives et provoquent dans un deuxième temps une réaction entre ces extrémités pour qu'elles se lient. Les thermoplastiques, eux, ont des chaînes indépendantes. Quand on chauffe, on apporte de l'énergie qui met en mouvement les molécules de polymères. Elles-ci glissent les unes sur les autres, ce qui rend le matériau visqueux.

### MISE EN FORME DES MATIÈRES PLASTIQUES

À l'issue de l'étape de polymérisation et de traitements par adjuvants, les plastiques se présentent sous forme de granulés, de poudre ou sous forme liquide. L'industrie plastique, encore appelée plasturgie, a pour mission de transformer ces composés en un objet

fini doté d'une forme et capable de remplir une fonction précise. Le processus industriel de transformation du plastique va dépendre évidemment de sa nature, thermoplastique ou thermosable. Les thermoplastiques se présentent généralement sous forme de poudre ou de palettes à la sortie de l'usine qui les a synthétisés. Au moment de la mise en forme, la matière est chauffée, ce qui la ramollit, puis malaxée par une « vis sans fin ». Elle peut alors subir différents types de transformation : injection, extrusion, thermoformage... Pour les thermosables, leur transformation nécessite l'intermédiaire d'une réaction chimique, déclenchée soit par le mélange de différents produits, soit par un apport de chaleur. La mise en forme se fait avant ou pendant le début de la réaction chimique. Pour sa mise en œuvre, un thermosable peut se présenter sous forme de liquides, de pâtes, de granulés ou de poudres directement transformables. Le démoulage de la pièce a lieu lorsque la réaction est terminée (le refroidissement de la pièce n'étant pas toujours indispensable dans ce cas).

### INJECTION

Avec cette technique, la matière plastique est injectée et dirigée dans un moule par une « vis sans fin ». En refroidissant le moule, la forme du plastique est figée. Les **pare-chocs**, les



téléviseurs, les téléphones, les bouchons... sont moulés de la sorte. Créer des formes creuses, comme une bouteille d'eau, nécessite une étape supplémentaire : une pré-forme est préparée par injection, puis de l'air est soufflé dans cette sorte de ballon de baudruche. La bouteille se retrouve projetée contre les parois du moule et garde sa forme définitive après refroidissement du moule.

### EXTRUSION

Il s'agit du procédé utilisé pour former des tuyaux ou des profilés. Au lieu d'être injectée dans un moule à la sortie de la « vis sans fin », la matière passe à travers une « filière ».

### CALANDRAGE

Pour former des films plastiques, il faut étirer, étirer et étirer encore. La matière plastique passe donc sous une série de rouleaux jusqu'à ce qu'on obtienne l'épaisseur souhaitée.

### LE THERMOFORMAGE

Cette technique permet de transformer une plaque de plastique, préalablement formée par calandrage, pour en faire un objet tridimensionnel. C'est de cette façon que l'on fabrique les pots de yaourts, les plateaux-regs ou les masques. Le principe est simple : la plaque de plastique est chauffée puis emboutie par un moule mâle qui va lui donner la forme attendue.

### UTILISATIONS DES PLASTIQUES

Le domaine d'application des matières plastiques est de plus en plus vaste : 40 % des plastiques sont utilisés sous forme de plaques, feuilles, films, tubes, tuyaux ou profilés ; 30 %, pour l'emballage de type flaconnage ; 18 %, dans le bâtiment et les travaux publics ; 6 %, dans des pièces techniques (automobiles, électricité, électroménager) ; et 6 % dans les biens de consommation (ameublement, vêtements, chaussures).

### EMBALLAGE

L'industrie de l'emballage est l'une des premières industries utilisatrices de matières plastiques. Une grande partie



du polyéthylène basse densité (PEbd) est commercialisée en rouleaux de plastique transparent. Le polyéthylène haute densité (PEhd) est utilisé pour certains films plastiques plus épais (**sacs poubelle** et conteneurs).

Le polypropylène, le polystyrène et le polychlorure de vinyle (PVC) sont présents dans d'autres plastiques d'emballage. Le polypropylène, par exemple, constitue une barrière efficace contre la vapeur d'eau. On l'utilise également dans l'équipement ménager, et sous forme fibreuse dans les tapis et les câbles.

### INDUSTRIE DU BÂTIMENT

L'industrie du bâtiment emploie un grand nombre de matières plastiques, notamment certaines des matières plastiques d'emballage précitées. Comme le PEhd, le PVC est utilisé dans la fabrication des tuyaux. Il est également employé sous forme de feuilles pour les matériaux de construction et d'isolation. De nombreuses matières plastiques servent à l'isolation des câbles et



des  **fils électriques**. D'autres produits en plastique entrent dans la composition des toitures, des cadres de portes et de fenêtres, des matériaux stratifiés, ainsi que dans certains moulages et outils de quincaillerie.

### AUTRES APPLICATIONS

On emploie certaines matières plastiques, particulièrement résistantes, dans la fabrication des véhicules, pour les tubes d'admission d'air, les conduites de carburant, les pompes de carburant, etc. D'autres plastiques sont employés dans les garnitures intérieures, les sièges et le capitonnage. De nombreuses carrosseries de voitures sont en plastique renforcé par des fibres de verre. Enfin, parmi les autres applications, on peut citer les châssis d'ordinateurs et d'appareils électroniques, les bagages, les jouets, etc.

### PLASTIQUES ET ENVIRONNEMENT

Les thermosables sont infusibles et ne peuvent donc pas être recyclés sous forme de matière première. Leur valorisation se limite à l'incinération et, de façon très ponctuelle, à une utilisation comme charges dans les résines vierges. Les thermosables représentent 20 % du tonnage des déchets plastiques. Les thermoplastiques, sous l'action de la chaleur, fondent et reprennent leur rigidité en refroidissant. Cette propriété permet de les recycler sous forme de matière première. Ils représentent 80 % du tonnage des déchets plastiques.

Il existe différentes façons de valoriser un plastique :  
- la valorisation énergétique (86 %) : on brûle le polymère et on récupère l'énergie thermique ;  
- le recyclage chimique (7 %) : on défait le « collier » pour récupérer les monomères constitutifs du polymère ;  
- le recyclage mécanique (7 %) : le plastique est refondu pour faire un nouveau matériau.

### LA VALORISATION ÉNERGÉTIQUE

Cette méthode est la plus simple à mettre en œuvre. Seulement, comme toute combustion de matière carbonée, elle émet du dioxyde de carbone, qui participe à l'intensification de l'effet de serre. De plus, certains polymères contiennent des éléments nocifs. La combustion du PVC par exemple dégage de l'acide chlorhydrique.

### LE RECYCLAGE CHIMIQUE

Le recyclage chimique consiste à décomposer les macromolécules constitutives des polymères en matières premières réutilisables. Les matières plastiques sont dépolymérisées sous l'effet de la chaleur et/ou d'un composé chimique. Selon le procédé utilisé, la valorisation permet de revenir au monomère de départ ou aux produits pétrochimiques de base. Ce mode de recyclage dépend de la réaction qui a permis la formation du polymère. Certaines réactions chimiques sont faciles à inverser, d'autres non. Ce processus fonctionne bien dans le cas du polyméthacrylate de méthyle (plexiglas) et des polyamides.

### LE RECYCLAGE MÉCANIQUE

Le recyclage mécanique consiste à refondre la matière pour fabriquer des produits commercialisables. Les déchets sont lavés, broyés puis directement transformés en produits finis ou bien en granulés alors commercialisés comme les granulés de résine vierge. Le recyclage mécanique est extrêmement simple quand les plastiques sont constitués d'une seule résine. Les déchets sont broyés puis ajoutés aux granulés de résine vierge avant la plastification. Mais le recyclage pose des problèmes quand les plastiques sont de composition différente puisqu'ils ne sont généralement pas compatibles entre eux. Les températures de transformation sont en effet différentes et le mélange de plusieurs plastiques entraîne une diminution de la qualité des caractéristiques mécaniques du produit final. De plus, de nombreux emballages sont « multicouches », ils combinent plusieurs matériaux collés entre eux pour multiplier les propriétés

de l'emballage comme les **brignes le lait** par exemple : imperméables à l'eau, à l'air, résistants aux déchirures, etc.



de l'emballage comme les **brignes le lait** par exemple : imperméables à l'eau, à l'air, résistants aux déchirures, etc.

### ET LA BIODÉGRADABILITÉ ?

Si les plastiques étaient biodégradables, on ne pourrait plus les mettre en contact avec les aliments. Des études sont en cours, notamment pour retraiter le polystyrène. Cependant, la biodégradabilité n'est peut-être pas forcément une solution idéale car elle pourrait conforter les consommateurs dans leur habitude de jeter les plastiques dans la nature.

### Principe de l'extrusion

