

# LES MATIERES PLASTIQUES

Les plastiques de synthèse sont apparus, en 1865, avec le Celluloïd. Leur structure fut précisée vers 1930, et leur véritable développement commença vers 1960. Leur production, depuis 1980, dépasse en volume celle des métaux. Aujourd'hui, les plastiques sont présents dans tous les domaines de l'activité humaine, depuis l'emballage jusqu'à la fusée interplanétaire; aussi pouvons-nous désormais nous considérer comme entrés dans l'«âge des plastiques».

Cette primauté des plastiques sur les autres matériaux est due, en dehors de leur faible prix, au fait qu'il n'y a pas une seule forme de plastique mais une multitude, avec pour chacune des propriétés particulières. De plus, les procédés de fabrication, qui permettent d'obtenir aisément et sans usinage les formes les plus complexes, sont variés.

Ce succès est aussi la consécration des efforts scientifiques et technologiques que les chimistes ont accomplis pour découvrir et analyser de nouvelles structures de molécules. Ils ont pu ainsi créer de multiples monomères et, en collaboration avec les physiciens et les mécaniciens, les fabriquer à très grande échelle en leur assurant une pureté extrême, inventer des procédés catalytiques de polymérisation et, enfin, mettre au point des machines entièrement nouvelles.

## La classification des plastiques

Les matières plastiques peuvent être classées selon des critères chimiques liés à leurs propriétés et à leurs modes de mise en forme ou selon des critères économiques qui conditionnent leurs domaines d'emplois possibles. Toutefois, les frontières de ces classifications, jadis strictes, s'estompent avec l'apparition de produits intermédiaires.

### Les critères chimiques de classification des plastiques

#### **Les thermoplastiques**

Les thermoplastiques sont constitués de polymères essentiellement linéaires (polyéthylène, polystyrène...). À froid, les macromolécules sont liées entre elles par des liaisons faibles, mais nombreuses, qui se rompent par chauffage (ce qui permet le glissement des macromolécules les unes sur les autres et entraîne la fusion) et peuvent se rétablir par refroidissement. Ces plastiques et leurs déchets peuvent donc être recyclés à plusieurs reprises; cependant, leurs propriétés se dégradent à chaque fusion, car celle-ci entraîne la rupture de certaines liaisons des molécules.

#### **Les thermodurcissables**

À ce groupe des thermodurcissables appartiennent, entre autres, les phénoplastes du type bakélite, qui sont des résines résultant d'une réaction entre le formaldéhyde et les hydrogènes mobiles du cycle aromatique d'un phénol. Ces plastiques ont une structure moléculaire tridimensionnelle, dans laquelle les chaînes ne peuvent pas glisser les unes sur les autres. Les constituants qui vont former ces plastiques restent malléables jusqu'à une certaine température; lorsqu'ils sont chauffés au-delà, ils durcissent de façon irréversible, aussi leur mise en œuvre s'effectue-t-elle avant qu'ils ne soient totalement polymérisés, la polymérisation se terminant dans le moule. Cependant, un chauffage trop poussé conduit non à la fusion de l'objet mais à sa destruction.

### Les critères économiques de classification des plastiques

Si l'on considère le rôle des plastiques dans la vie quotidienne ou dans les activités industrielles, parfois de pointe, on distingue les plastiques de grande diffusion et les plastiques techniques.

#### **Les plastiques de grande diffusion**

Ils sont produits en très gros tonnages (la capacité des unités de production est souvent supérieure à 100 000 t/an) et à bas prix (moins de 1,5 euro/kg).

On trouve parmi ces matières les «quatre grands» thermoplastiques, à savoir le polyéthylène, le polypropylène, le polystyrène et le polychlorure de vinyle (PVC). S'y ajoutent trois familles de thermodurcissables: aminoplastes, phénoplastes et polyesters insaturés. Dans tous les cas, il s'agit de produits simples, couvrant la grande majorité des besoins. Actuellement, on assiste à une grande diversification des fabrications, avec une tendance à réaliser des produits «sur mesure», adaptés à des applications spécifiques.

#### **Les plastiques techniques**

Ils sont produits en plus faible quantité et à des prix dépassant largement 15 euros/kg pour certains. Ils sont destinés à la haute technologie. En pratique, il n'existe pas de frontière précise entre plastiques de grande diffusion et plastiques techniques: certains copolymères d'éthylène et de propylène sont à classer dans la seconde catégorie; les ABS courants sont classés dans la première, bien que leurs applications techniques soient nombreuses.

# LES MATIERES PLASTIQUES

## Les propriétés des plastiques

Les propriétés des plastiques sont étroitement liées à leur structure chimique et à leurs adjuvants; ils ont cependant ceci en commun qu'ils sont tous de bons isolants électriques.

## Les principales propriétés mécaniques des plastiques

La résistance à la traction et à la compression ainsi que la dureté dépendent essentiellement de la nature de la cohésion entre les chaînes de polymères.

## La résistance au choc des plastiques

La résistance au choc est liée non seulement à la cohésion intermoléculaire, mais aussi à la dissipation de l'énergie dans le matériau: un plastique mou est moins cassant qu'un plastique dur, et l'incorporation de microgranules d'élastomères dans le polystyrène, par exemple, rend cette matière très résistante aux chocs.

## Le comportement à la chaleur des plastiques

Le comportement à la chaleur dépend des températures auxquelles les liaisons intermoléculaires se rompent (phénomène analogue à la fusion). Un thermoplastique passe en général par trois états successifs quand la température s'élève: état rigide proprement dit (vitreux); état flexible, ou caoutchoutique, au-delà de la transition vitreuse; et, enfin, état plus ou moins pâteux au-delà d'une température de fusion franche ou étalée. Une basse température de transition vitreuse assure une bonne résistance au choc à froid.

## La tenue au vieillissement des plastiques

La tenue au vieillissement dépend de la nature des liaisons chimiques du polymère: ainsi, certains plastiques en milieu acide ou alcalin sont sensibles à l'hydrolyse, et nombreux sont ceux qui doivent être protégés contre les ultraviolets.

## Le comportement au feu des plastiques

Le comportement au feu présente deux aspects.

La «résistance au feu» indique la durée pendant laquelle un objet peut assumer sa fonction (par exemple, ne pas fléchir sous une charge); elle est liée à la solidité des liaisons inter- et intramoléculaires.

La «réaction au feu» caractérise l'aptitude du plastique à s'enflammer (de non inflammable à très facilement inflammable); la présence de certains atomes (N, P, F, Cl, Br) ou de certaines structures (polyaromatiques) diminue l'inflammabilité.

## Les grandes familles de plastique

Regrouper les plastiques par grandes familles chimiques est aisé et pratique, les communautés de structure déterminant des procédés de fabrication et des propriétés mécaniques analogues.

## Les polyoléfines

Les polyoléfines sont constituées des polymères et copolymères de l'éthylène, du propylène et des hydrocarbures éthyléniques plus lourds. Toutes sont inertes chimiquement, d'où leur large emploi dans l'emballage alimentaire. Ce sont d'excellents isolants électriques, mais elles sont sensibles aux ultraviolets et facilement inflammables.

### Le polyéthylène basse densité (PEBD)

Il est obtenu par polymérisation radicalaire à température et pression élevées (150 à 300 °C sous 1200 à 2500 bar), d'où une structure irrégulière, ramifiée. Il est souple, même à très basse température (– 50 °C), et présente un toucher doux.

Applications des PEBD: sacs mous et non bruyants, films agricoles (serres, abris), bouteilles à lait, isolants de câbles électriques, jouets.

### Le polyéthylène haute densité (PEHD)

De même formule théorique que le PEBD, il est obtenu par polymérisation radicalaire à température modérée sous faible pression (50 à 100 °C sous 20 à 50 bar). Sa structure est plus régulière que celle du PEBD, il est plus rigide et plus résistant à la chaleur (jusqu'à 120 °C).

Applications des PEHD: sachets minces (plus bruyants que ceux en PEBD), réservoirs à essence d'automobile, bidons à huile, casiers à

# LES MATIERES PLASTIQUES

bouteilles.

## **Le polyéthylène basse densité linéaire (PEBDL)**

Ce copolymère d'éthylène, mélangé à de petites quantités d'un autre alcène ( $C_4$  à  $C_8$ ), combine la souplesse du PEBD et la solidité du PEHD, d'où son intérêt en sacherie.

## **Le polyéthylène supertenace**

C'est un polyéthylène de très haute masse molaire, sans aucune ramification, très cristallin. Ce nouveau matériau présente, à poids égal, la plus forte résistance à la traction connue actuellement.

Applications du polyéthylène supertenace: câbles, notamment pour la marine.

## **Le polypropylène (PP)**

Il a une structure extrêmement régulière et un caractère semi-cristallin. Il est brillant, présente une très grande résistance à la pliure, mais une résistance moyenne au choc.

Applications des PP: emballages alimentaires, carters d'appareils électroménagers, mobilier de jardin (il est alors chargé de talc, qui lui donne son bel aspect), tapis et tissus d'ameublement très solides. Il existe en outre de très nombreux copolymères obtenus à partir de l'éthylène et du propylène ou d'autres monomères.

## **Le PVC et les vinyliques**

Le polychlorure de vinyle (PVC) est obtenu par polymérisation du chlorure de vinyle, lui-même provenant de la réaction du chlore sur l'éthylène. Cette polymérisation se fait en masse, en suspension ou en émulsion selon les applications visées. Sensible à la chaleur, la formule du PVC doit incorporer des stabilisants et des lubrifiants.

### **Le PVC rigide, sans plastifiant**

Il est très solide à température ordinaire, mais se fragilise à froid et perd de sa rigidité au-dessus de  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Grâce à sa forte teneur en chlore, il brûle difficilement et a une tenue chimique remarquable. Il se met en œuvre par extrusion ou calandrage, et aussi par injection avec des formulations spécifiques.

Applications des PVC rigides: tuyaux, profilés pour le bâtiment (gouttières), plaques pour la chaudronnerie et le thermoformage d'emballages, revêtements de sol durs. C'est le composant principal des bouteilles à eau minérale.

### **Le PVC plastifié**

Il est plus ou moins souple selon la proportion de plastifiant. Il est souvent transparent et brûle mieux que le PVC rigide, mais on peut l'ignifuger. Il se met en œuvre facilement par tous les procédés de transformation et se soude aisément.

Applications des PVC plastifié: films, feuilles souples, tissus enduits et enductions alvéolaires du genre Skaï (maroquinerie, ameublement, emballage, jouets gonflables), isolant électrique (c'est le principal isolant des câbles basse tension usuels), chlorofibres (faiblement plastifiées) pour sous-vêtements et tissus d'ameublement.

Il existe de nombreux plastiques vinyliques: le polyacétate de vinyle, pour colles et peintures (dites vinyliques); le copolymère chlorure-acétate de vinyle, pour microsillons; le PVC chloré (PVCC), qui résiste mieux à la chaleur que le PVC et brûle encore plus difficilement; le polychlorure de vinylidène (PVDC), qui présente les mêmes avantages que le PVCC et est extrêmement imperméable aux arômes (emballage alimentaire).

## **Le polystyrène et les styréniques**

Le polystyrène est le premier membre d'une nombreuse famille de plastiques, tous d'usage courant car peu coûteux.

### **Le polystyrène standard (PS)**

Obtenu par polymérisation radicalaire du styrène, il est transparent quand il n'est pas chargé (variétés «cristal»), mais assez fragile.

Applications des PS: petits objets décoratifs, jouets, petits emballages.

# LES MATIERES PLASTIQUES

## Le polystyrène expansé (PSE)

C'est du polystyrène standard additionné d'un agent (souvent du pentane) qui, en se décomposant ou en s'évaporant lors de la mise en œuvre, crée des pores.

Applications des PSE: isolants thermiques pour le bâtiment et l'emballage alimentaire, calages antichoc.

## Le polystyrène-choc (SB)

C'est du polystyrène mat et opaque contenant des granules microscopiques d'élastomère (copolymère styrène-butadiène) qui empêchent la propagation des fissures et diminuent ainsi la fragilité.

Applications des SB: emballages (pots à yaourt), boîtiers de petit électroménager, jouets (trains électriques de belle finition), objets jetables (rasoirs), etc.

## Le polystyrène-acrylonitrile (SAN)

Il est transparent, plus solide et plus résistant aux graisses et à la chaleur que le polystyrène cristal.

Applications des SAN: emballages transparents, éléments d'appareils électroménagers.

## Les polyacrylonitrile-butadiène-styrènes (ABS)

Aboutissement des polymères styréniques, ils sont constitués d'une matrice SAN renforcée par des granules d'élastomère à base de polybutadiène. Il en existe de très nombreuses espèces, correspondant aux différents modes de mise en œuvre (injection, extrusion, etc.) et aux exigences spécifiques de chaque application (tenue à chaud ou à froid, rigidité, résistance élevée aux chocs, brillant de surface, comportement au feu amélioré, etc.).

Applications des ABS: carters d'appareils électroménagers, de matériel électronique, de machines diverses, tableaux de bord de voitures, dériveurs et planches à voile.

## Le polyméthacrylate de méthyle (PMMA) et les acryliques

Le PMMA (altuglas, plexiglas, etc.), fabriqué soit en plaques (par coulée), soit en suspension, est remarquable par sa transparence.

Applications des PMMA: les plaques sont usinées ou formées à chaud pour obtenir de petits meubles, des enseignes, des hublots, des baignoires; les poudres sont moulées en pièces d'optique, voyants, feux d'automobile, objets d'art et bijoux, lentilles de contact. Les fibres acryliques (crylor, orlon, etc.) sont en polyacrylonitrile (PAN). C'est à partir de fibres acryliques très pures qu'on fabrique les fibres de carbone par pyrolyse, au cours de laquelle tous les atomes, sauf ceux de carbone, disparaissent. D'autres acryliques servent à faire des verres de lunette, des peintures et même des tensioactifs.

## Le polytétrafluoroéthylène (PTFE) et les polymères fluorés

Les polymères fluorés présentent un ensemble de propriétés remarquables dues à la présence d'atomes de fluor dans les molécules: quasi totale inertie chimique, résistance aux agressions et au feu, tenue à la chaleur, antiadhérence. Le PTFE est utilisable de  $-200$  à  $+280$  °C. Ses limites d'emploi sont dues à son prix, à sa faible rigidité et à sa mise en œuvre délicate.

Applications des PTFE: matériel pour l'industrie chimique, l'agroalimentaire (poêles antiadhérentes), pièces antifriction. Les autres fluorés ont des emplois moins nombreux, mais sont de mise en œuvre plus aisée.

## Les polyamides (PA)

Les polyamides résultent de la réaction d'un diacide sur une diamine ou d'une molécule, à la fois acide et amine, sur elle-même. Les groupes amide donnent des liaisons hydrogène entre molécules, ce qui confère au plastique une bonne résistance mécanique et thermique, une bonne tenue aux solvants et aux hydrocarbures, mais le rend légèrement sensible à l'humidité à chaud.

Applications des PA: fibres textiles, pièces techniques (engrenages, quincaillerie de bâtiment), canalisations de carburant et de liquide de frein.

## Les polyesters saturés (PET et PBT)

Ces thermoplastiques sont les produits de condensation de téréphtalate de méthyle et d'un glycol. Ils présentent une bonne résistance mécanique et chimique.

Applications du PET: fibre polyester, films (supports d'émulsion photographique, bandes magnétiques, film alimentaire résistant à la chaleur), bouteilles pour boissons gazeuses, pièces techniques.

# LES MATIERES PLASTIQUES

Applications du PBT: pièces mécaniques et électriques dans une large plage de températures.

## Le polycarbonate (PC)

Le polycarbonate, obtenu par condensation de chlorure de carbonyle ( $\text{COCl}_2$ ) et d'un diphenol complexe (bisphénol A), est un thermoplastique très transparent, utilisable de  $-100$  à  $+140$  °C; il est doté d'une résistance au choc exceptionnelle.

Applications des PC: corps et lentilles d'appareils photographiques, matériel de sécurité (casques de motocyclistes, vitres pare-balles).

## Les polyesters insaturés (UP)

Ce sont des polymères thermodurcissables complexes aux usages les plus variés. Ils sont obtenus en deux temps: une polycondensation suivie d'une polymérisation. Il y a d'abord la formation, en solution dans le styrène, d'un polyester peu ramifié à faible degré de polymérisation, par réaction essentiellement de dialcools courts (glycols) et de diacides, dont certains, comme le maléique, sont insaturés. Au moment de la réalisation de l'objet, on catalyse la copolymérisation du styrène et du polyester par leurs liaisons éthyléniques. Il en résulte une réticulation qui durcit la masse.

En jouant sur la nature et la longueur des diacides et des dialcools, et en combinant d'autres molécules réactives, il est possible d'obtenir une vaste gamme de polymères plus ou moins rigides, résistant aux chocs, aux agressions chimiques, à la chaleur, etc. Les polyesters insaturés sont généralement associés à des fibres de renfort, surtout de verre, pour former des composites.

Applications des UP: bateaux de toutes dimensions, réservoirs, plaques ondulées, piscines, carrosseries de voitures et de camions, avions de tourisme, tuyaux, boîtiers électriques, matériel orthopédique, etc.

On peut aussi utiliser les résines polyesters comme liants de particules minérales pour obtenir des bétons, des objets en pierre reconstituée.

## Les époxydes, ou polyépoxydes (EP)

Ils présentent, comme les polyesters insaturés, des structures variées, complexes, obtenues en deux temps. Tout d'abord il faut former des polymères courts présentant en général des noyaux aromatiques, des hydroxyles et des groupes époxydes. L'extension des chaînes se fait ensuite par des composés comportant le plus souvent des groupes amines (réagissant sur les hydroxyles). Des produits réticulés présentant une grande résistance mécanique, chimique et thermique sont ainsi obtenus.

Applications des EP: colles à deux composants (l'époxyde proprement dit, d'une part, et le durcisseur, d'autre part) du type Araldite, liants de composites avec les fibres de verre, de carbone ou d'aramide dans des structures à hautes performances (trimarans de course, avions de combat, clubs de golf, réservoirs à haute pression), vernis protecteurs.

## Les polyuréthanes (PUR)

Ce sont, pour la plupart, des thermodurcissables sous forme de mousses souples ou rigides, légères ou lourdes, mais aussi de résines compactes. Ils sont obtenus essentiellement par réaction de polyols (présentant 2 à 8 groupes hydroxyles) sur des diisocyanates en présence de catalyseurs. Pour les mousses, des tensioactifs et des agents d'expansion sont ajoutés (liquides à bas point d'ébullition non réactifs ou eau).

Les polyols sont soit des polyesters de diacides et de glycols ou de dialcools, soit des polyéthers obtenus par polycondensation d'oxyde de propylène ou d'éthylène sur un di- ou polyalcool. Selon leur longueur et selon le degré de ramification (c'est-à-dire la quantité de fonctions alcool), les produits finis sont plus ou moins rigides.

Applications des PUR: mousses souples (literie, coussinage), mousses semi-rigides (emballages, éléments antichoc, accoudoirs, tableaux de bord), mousses rigides (isolants thermiques pour réfrigérateurs, toitures, et aussi éléments structurants pour bateaux, planches à voile), élastomères très résistants mécaniquement et chimiquement (rouleaux d'imprimerie, roulettes de chariots, semelles et tiges de chaussures, joints pour le bâtiment), peintures (sols de garages, bateaux), etc.

## Les phénoplastes

Les phénoplastes furent les premiers plastiques synthétiques. Ils sont obtenus par réaction de phénols sur le méthanal (formol). Ils présentent une excellente tenue à chaud et ne s'enflamment pas, mais ont le défaut d'être colorés en brun.

Applications des phénoplastes: isolants électriques résistants à la chaleur (prises électriques, poignées d'ustensiles de cuisson et de fer à repasser, matériel de sécurité), colle pour contre-plaqué et panneaux de particules résistant à l'eau, liants pour lamifiés (du type Formica) et pour abrasifs.

# LES MATIERES PLASTIQUES

## Les aminoplastes: urée-formol (UF) et mélamine-formol (MF)

Proches des phénoplastes, les aminoplastes résultent de la polycondensation du formol soit avec l'urée, soit avec la mélamine. Ils présentent tous un bel aspect.

Applications des UF: liants pour panneaux de particules ordinaires.

Applications des MF: couches de surface des lamifiés (du type Formica), vaisselle et objets décoratifs, apprêt pour rendre le coton infroissable.

## Les autres polymères

Il existe de nombreux autres polymères aux propriétés remarquables, résistant tous à la chaleur, mais souvent coûteux, et réservés à des emplois difficiles.

## Les silicones

Leur squelette est constitué de silicium et d'oxygène.

Applications des silicones: huiles et graisses (lubrifiants de sécurité pour hautes températures), isolants électriques, moules souples, prothèses cardio-vasculaires, joints souples de bâtiment, élastomères pour hautes températures.

## Les polymères aromatiques complexes (PEEK, PPE)

Ils apportent, et plus encore ceux qui sont soufrés (polysulfure de phénylène, polysulfone, etc.), des propriétés mécaniques remarquables en milieu agressif et à chaud.

Applications des PEEK et PPE: accessoires automobiles du compartiment moteur, matériel de sécurité.

## La mise en œuvre des plastiques

Les plastiques se prêtent à un nombre important de procédés de mise en œuvre, ce qui donne toute latitude pour fabriquer les objets au moindre coût.

On distingue, d'une part, la transformation primaire, qui permet, à partir de liquides, de pâtes, de poudres ou de granulés fusibles, de faire des objets finis (bouteilles d'eau minérale, tableaux de bord de voitures...) ou des demi-produits (plaques, tubes), et, d'autre part, la transformation secondaire, qui permet (par découpage, formage, assemblage, etc.) de fabriquer des objets utilisables à partir de ces demi-produits.

Dans le cas des thermoplastiques, le polymère, fusible, est, sauf exception, complètement polymérisé avant la mise en œuvre, et les chutes peuvent être broyées et réutilisées. Dans le cas des thermodurcissables, la polymérisation se termine obligatoirement dans le moule, et les chutes, non fusibles, ne peuvent pas être remises en forme.

Si, pendant longtemps, la transformation des thermoplastiques a été distincte de celle des thermodurcissables, aujourd'hui la frontière est moins nette, car les matières et les procédés ont évolué, et il existe des domaines communs aux deux familles.

## Coulée

C'est le procédé le plus simple, mais le moins courant. Il consiste à verser le polymère liquide ou le monomère et le catalyseur dans un moule et à laisser durcir.

Applications: plaques de PMMA (altuglas, plexiglas), inclusions.

## Compression

La compression ressemble à la coulée, mais elle s'applique à des matières pâteuses ou semi-fondues (granulés de thermoplastiques, pâtes et granulés de thermodurcissables). Le produit est comprimé dans un moule, généralement chauffant, serré dans une presse. Après refroidissement, l'objet est extrait. Diverses variantes de ce procédé s'appliquent aux composites.

## Compression-transfert

Les granulés non complètement polymérisés sont préchauffés et sont donc ainsi ramollis, puis transférés dans un moule piston.

Applications: petits objets, isolants thermiques et électriques.

## **DMC**

On comprime à chaud une pâte constituée d'un mélange de résine, de fibre de verre et de catalyseur.

Applications: carters de machines.

## **SMC**

Procédé analogue au précédent, mais la pâte est conservée entre deux films de polyéthylène avant d'être pressée.

Applications: éléments de carrosseries (capots, pare-chocs).

## **TRE (thermoplastiques renforcés estampables)**

Ce sont des sortes de feutres de fibres de verre et de poudre de thermoplastique incomplètement liées qui se transforment comme les SMC, mais à plus grande vitesse.

Applications: éléments de carrosseries.

## **L'extrusion et les procédés dérivés**

L'extrusion est empruntée à la technique de fabrication des macaronis: elle fournit des produits continus de longueur illimitée (films, plaque, tubes et profilés) qui seront découpés et subiront une transformation secondaire; les réglages doivent être précis.

### **L'extrusion de feuilles, tubes et profilés**

La feuille est obtenue dans une filière à lèvres plates, puis calibrée et refroidie en passant dans une batterie de cylindres. Le profilé est stabilisé dans un «conformateur» qui lui permet de se rigidifier sans se déformer. Dans le cas du tube, une pièce au centre de la filière, le poinçon, crée le vide intérieur.

### **Le revêtement de câbles électriques**

Le principe est le même que celui de l'extrusion de tubes, avec une filière d'équerre par le centre de laquelle passe le câble à isoler.

### **L'extrusion-gonflage de films**

Ce procédé permet d'obtenir des films sous forme de gaine tubulaire de faible épaisseur (0,02 à 1 mm) et de diamètre parfois important (jusqu'à 5 m, donnant un film de 15 m de large). Le plastique est extrudé par une tête d'équerre munie d'une filière annulaire: avant refroidissement, il est étiré latéralement et longitudinalement grâce à un gonflage par de l'air comprimé arrivant par l'axe de la filière, puis enroulé. La gaine obtenue peut être fendue pour faire du film plat (emballage, film agricole pour serres, etc.) ou bien soudée (sacs), ou encore découpée en lanières étroites qui seront retordues en ficelle.

### **L'extrusion-soufflage de corps creux**

Elle consiste à extruder, en continu par une tête d'équerre, un tube qui est découpé en tronçons appelés paraisons; celles-ci sont serrées dans un moule et gonflées à l'air comprimé avant refroidissement.

Applications: bouteilles, fûts, réservoirs – d'une contenance pouvant aller jusqu'à 2000 l (cuves à fioul) –, jouets (chevaux à bascule), réservoirs d'essence des automobiles.

## **L'injection**

L'injection est un procédé discontinu qui permet de fabriquer, en une seule opération, des objets de dimensions finies grandes ou petites, du bouton au meuble de salle de bains, en passant par la pièce mécanique complexe.

Le moule peut être constitué de plusieurs parties pour les pièces complexes, et il est possible d'injecter différentes matières par plusieurs unités d'injection afin d'obtenir des pièces multicolores, ou dotées de propriétés particulières: fabrication des objets à corps alvéolaire et à peau de surface compacte, etc.

L'injection peut concerner également certains thermodurcissables en pâte (procédé BMC) ainsi que des thermoplastiques. Les presses à injecter sont des machines complexes, munies de divers capteurs de température et de pression et d'une informatique importante qui assure la constance des fabrications et permet de retrouver les réglages propres à une matière ou à un moule donnés.

## L'injection basse pression

Ce procédé concerne la fabrication de grandes pièces de moyennes séries (carrosseries de voitures notamment) en composites. Le moule, ouvert, reçoit le renfort (fibres de verre, par exemple) sous forme de tissu ou de feutre puis est fermé. On injecte ensuite une résine liquide, et on fait polymériser à chaud ou à froid.

## Le calandrage

C'est le principal procédé d'obtention de feuilles thermoplastiques de moyenne épaisseur (0,2 à quelques millimètres) souples ou rigides et de largeur pouvant atteindre 5 m. Dans son principe, il consiste à faire passer la matière entre plusieurs cylindres chauffés.

Applications du calandrage: revêtements de sol, feuilles pour la maroquinerie, plaques pour le thermoformage (cuves de réfrigérateurs, par exemple).

## L'enduction

L'enduction consiste à déposer sur un support en feuille (tissu, feutre, papier, tôle) une couche régulière d'un plastique à l'état de pâte, voire de poudre, puis à le faire solidifier.

La possibilité d'effectuer plusieurs enductions successives permet de varier l'aspect et le toucher (par exemple, le simili-cuir du type skai comprend une sous-couche alvéolaire et une couche de finition compacte). Ensuite, après cuisson, la surface peut être grainée par passage sur un cylindre chaud.

On peut aussi enduire sur un support intermédiaire antiadhésif, coller le support définitif sur le film enduit et détacher le produit obtenu du premier support.

Applications de l'enduction: toile cirée, tissus imperméables pour l'habillement, la maroquinerie, les revêtements muraux, protection des tôles métalliques contre la corrosion.

## Le moulage en moule ouvert

Les procédés en moule ouvert sont les plus anciens utilisés pour faire des composites. Ils servent encore pour les très grandes pièces, comme les coques de bateaux, ou les pièces uniques et les petites séries, car ils mettent en œuvre des moules simples.

## Le moulage au contact

Il consiste à déposer sur le moule une première couche résistant à l'abrasion – le gel-coat –, puis à appliquer des couches successives de fibres de verre sous forme de tissus ou de feutres et de résine (au pinceau ou au pistolet). Après chaque couche de fibre, on procède à l'homogénéisation et au débullage avec un rouleau à main.

## La projection simultanée

Le procédé est le même, mais la fibre de renfort, découpée en tronçons, est projetée en même temps que la résine sur le moule. Le composite obtenu est intrinsèquement moins résistant, mais plus régulier. Il arrive que l'on renforce localement les pièces par des bandes de tissu comme précédemment.

## Le moulage au sac

Pour parfaire le débullage, on applique un film non adhérent sur le composite encore frais, et on fait le vide jusqu'à polymérisation complète.

## La fabrication des mousses de polyuréthane

Dans son principe, la fabrication des mousses de polyuréthane consiste à doser et à mélanger en continu les composants (polyols, isocyanates, adjuvants divers), puis à verser la composition dans un moule, dans la cavité à remplir, ou sur une bande transporteuse. L'expansion et le durcissement ont lieu en quelques dizaines de secondes. Le procédé demande un respect draconien des proportions des composants et le maintien des températures pendant toute l'opération.

Applications du polyuréthane: blocs à découper (matelas, doublages de vêtements...), moulages (coussins, pièces antichoc...), remplissage de cavités pour isolation thermique (réfrigérateurs, cales de bateaux).

# LES MATIERES PLASTIQUES

## **Le procédé RIM («reaction injection molding»)**

C'est l'extension du système polyuréthane à tous les systèmes à deux composants réagissant en proportions définies. Le RRIM est le RIM avec incorporation de fibres renforçantes.

## **Les autres procédés de transformations primaires des plastiques**

Il existe de multiples autres procédés de mise en œuvre des plastiques, surtout des composites, pour fabriquer des réservoirs à haute pression (enroulement filamentaire), des tuyaux (centrifugation), des plaques ondulées en composites (moulage en continu), des profilés en composites (pultrusion) et aussi des objets creux en petites séries, comme les têtes de poupées (rotations).

## **Les transformations secondaires des plastiques**

### **Le thermoformage**

C'est une transformation secondaire de plaques ou de feuilles de thermoplastique obtenues par calandrage, extrusion, soufflage, etc. La plaque est fixée sur un cadre, chauffée jusqu'à début de ramollissement, puis appliquée sur un moule en creux ou en relief dont elle prend la forme. Le moule est percé de fins canaux afin d'évacuer l'air en faisant le vide. Après refroidissement, la pièce est démoulée, et l'excès de matière est enlevé.

Applications du thermoformage: pièces variées, de la balle de ping-pong à la coupe de dériveur, en passant par la cuve de réfrigérateur et les enseignes lumineuses. On peut aussi, plus simplement, plier des plaques de plastique avec un chalumeau à air chaud (meubles en PMMA).

### **Les assemblages**

Les objets et les demi-produits en plastique se prêtent à de multiples procédés d'assemblage qui se répartissent en deux groupes: collage et assemblage. Le collage se fait avec des colles ou de simples solvants adaptés à chaque plastique. Le soudage se réalise, selon les matières et les épaisseurs de parois, par chauffage au chalumeau sans ou avec apport de matière (baguette de soudure), par impulsion de chaleur, par perte diélectrique, par friction, par ultrasons, etc.

### **Plastiques et société**

Les plastiques ont envahi la planète en l'espace d'un demi-siècle; sans évincer les autres matériaux, séculaires ou millénaires, ils ont su profiter largement de la croissance générale. Leur développement a cependant bouleversé beaucoup plus les habitudes des industriels que celles des consommateurs, qui, tout en les utilisant quotidiennement, connaissent mal ces nouveaux matériaux.

### **L'émergence des plastiques**

La genèse des plastiques a d'abord été très progressive. Alors que le Celluloïd est apparu en 1868, il faut attendre une cinquantaine d'années pour que commencent à apparaître les «grands plastiques» (polystyrène, PVC, polyéthylène) et quelques autres comme le PMMA (Plexiglas) et les polyamides. La Seconde Guerre mondiale incite à la création de matériaux nouveaux (polyesters, polyuréthanes) ou de substitution (élastomères).

### **Le plastique, un produit très récent**

À partir de 1960, les progrès dans les domaines de la catalyse, la synthèse de nouveaux monomères, la maîtrise des procédés de transformation conduisent à la production de masse. Enfin, depuis les années 1980, la production mondiale de plastiques dépasse, en volume, celle des métaux. Les raisons de ce succès sont multiples. Sur le plan technique, les plastiques offrent une gamme incomparable de propriétés: ils sont rigides ou souples, transparents ou opaques; tous sont isolants électriques, insensibles à l'humidité, légers comparés aux métaux et au verre, inaltérables par les micro-organismes; enfin, ils peuvent être colorés dans la masse.

### **Le plastique, un produit facile à mettre en œuvre**

Les plastiques présentent une très grande facilité de mise en œuvre, permettant d'obtenir, sans usinage ultérieur, des formes très complexes; aussi est-il possible de fabriquer en une seule opération des objets qui, avec d'autres matériaux, auraient demandé l'assemblage de plusieurs composants (un cas exemplaire est celui des moyeux de rotor de l'hélicoptère Dauphin: 293 pièces métalliques pesant 100 kg ont été remplacées par 92 pièces en plastique pesant 50 kg, et ce avec un gain de fiabilité et moins d'entretien).

### **Pour chaque application, un plastique approprié**

À une époque où la variété des produits était encore limitée, on a pu reprocher à certains plastiques d'être fragiles au choc, ou

# LES MATIERES PLASTIQUES

insuffisamment rigides, ou trop sensibles à la chaleur, ou trop inflammables, ou de mal vieillir. Longtemps, on a disposé de matériaux présentant une ou deux caractéristiques intéressantes, mais laissant à désirer dans les autres domaines: le polystyrène cristal, transparent, est trop fragile pour certains usages; le polyéthylène basse densité, incassable, peut être jugé trop souple...

Mais progressivement les polyméristes ont appris à combiner les propriétés en réalisant des copolymères ou des alliages, en modifiant les structures moléculaires, en employant de nouveaux monomères. Ainsi, ils sont arrivés à proposer, pour chaque plastique, des dizaines de références marchandes différentes, chacune répondant à un cahier des charges précis (y compris le prix maximal), correspondant à des applications spécifiques.

## Les marchés des matières plastiques

La répartition de la consommation entre les divers grands secteurs d'application varie peu au cours du temps, même si on note toujours des mutations en faveur des plastiques dans des domaines techniques restreints.

## L'emballage

En France, 33 % des plastiques utilisés sont destinés à l'emballage. Les facteurs de choix dans ce secteur sont la légèreté (faible poids à transporter), la variété des formes réalisables (du sachet au conteneur), le faible coût par unité de volume, l'innocuité et la possibilité de monter des lignes de conditionnement intégrées où l'emballage est fabriqué et rempli de façon stérile, sans contact extérieur (eaux minérales, yaourts). L'apparition des emballages multicouches, c'est-à-dire constitués de couches superposées de plastiques aux propriétés complémentaires garantissant une bonne conservation des gaz et des arômes, a conforté ce choix.

## Le bâtiment

Cette activité (20 % de la consommation) fait surtout appel à des plastiques à coût faible ou modéré: film d'étanchéité en polyéthylène, profilés de fenêtre, revêtements de sol et tuyaux en PVC, isolation thermique en polystyrène expansé, panneaux de particules à liants aminoplastes et phénoplastes. Des plastiques plus élaborés (polyesters, PMMA, polycarbonates) sont utilisés pour les parties transparentes.

## L'électricité et l'électronique

Le développement des appareils électriques n'aurait pas été concevable sans isolants insensibles à l'humidité comme au vieillissement et peu fragiles. Aucun matériau traditionnel ne répond à ces trois critères, mais la plupart des plastiques y satisfont, et sont effectivement utilisés; en outre, ils ne servent pas seulement à l'isolation, mais aussi à la réalisation des appareils (corps, engrenages...).

## Les transports

Ils bénéficient de la légèreté des plastiques (économies d'énergie), de leur facilité de mise en œuvre (éléments de carrosserie, pièces mécaniques complexes), du confort qu'ils peuvent offrir (coussins, rembourrage), de leur résistance aux carburants et aux intempéries et même de la tenue à la chaleur.

## L'agriculture et l'agroalimentaire

Ces activités tirent profit de l'imperméabilité (serres, retenues d'eau), de l'incorrodabilité et de l'insensibilité aux liquides organiques des plastiques (matériel de ferme, de laiterie, de conserverie).

## Les industries diverses

La mécanique apprécie de plus en plus ces matériaux légers, faciles à mettre en œuvre, insonores, autolubrifiants et demandant peu d'entretien. L'équipement domestique bénéficie des formes, des couleurs et du toucher agréable des plastiques. Les sports, du simple ballon à la perche à sauter et au planeur, ont tous besoin de matériaux spécifiques.

## Les plastiques face au public

L'irruption, dans la vie quotidienne, des plastiques, mal connus des utilisateurs, devait entraîner de mauvais emplois et une certaine suspicion. Des règles de fabrication et des législations strictes ont mis le public à l'abri des accidents, mais sans l'empêcher de se poser des questions sur le bien-fondé de toutes les applications.

## Les plastiques et la santé

Les polymères, composés à très haute masse molaire, ne sont pas solubles dans les liquides biologiques (à l'exception de quelques-uns, réservés à des usages spéciaux) et de ce fait ne sont pas toxiques. Les plastiques, en revanche, sont des mélanges de polymères et

# LES MATIERES PLASTIQUES

d'adjuvants, voire de restes de polymérisation, dont on pourrait craindre une activité biologique. En pratique, aucun objet fini en plastique n'est dangereux au contact de la peau, ni pour les voies respiratoires. Cependant les producteurs sont tenus de s'assurer qu'il ne reste pas de monomères non polymérisés (formol, amines...).

En ce qui concerne les objets destinés au contact avec les aliments, ou à l'usage médical, ils doivent, de même que les jouets, être fabriqués uniquement à partir de produits expressément autorisés (principe de la liste «positive»). C'est pourquoi les plastiques sont si répandus dans le matériel médical. Les emballages alimentaires doivent non seulement ne pas libérer de composants toxiques, mais encore respecter les caractères organoleptiques (goût, odeur) de leur contenu.

## Les plastiques et la sécurité

Les plastiques figurent parmi les matériaux les moins dangereux, car pour la plupart ils ne donnent ni éclats coupants ni échardes. C'est pourquoi ils constituent le matériau de nombre d'équipements de sécurité: casques, vitres pare-balles, tableaux de bord et réservoirs à essence inexplosibles de voitures, protections électriques, vêtements et gants anticorrosion, etc.

Les plastiques ont été accusés d'augmenter le risque d'incendie, mais ce risque est plus lié à l'accumulation des biens (développement du confort) qu'au choix des matières employées. Tous les plastiques sont combustibles, et la plupart plus ou moins inflammables, au même titre que le bois, le carton et les textiles naturels. Il convient donc d'utiliser tous ces matériaux avec discernement et de prescrire les plus sûrs (aminoplastes, phénoplastes, silicones, fluorés, plastiques ignifugés) dans les zones à risque. En particulier, il faut rejeter les éléments décoratifs de grandes dimensions en plastiques très inflammables et fumigènes comme les styréniques non ignifugés.

La réglementation concernant les locaux recevant du public et les immeubles de grande hauteur vise à éviter les accidents graves. Les plastiques chlorés ne dégagent, en brûlant, ni chlore ni phosgène, mais seulement du gaz chlorhydrique, beaucoup moins toxique; encore ces polymères ne commencent-ils à brûler que lorsque l'incendie est déjà largement développé. Les polyuréthanes dégagent des traces d'acide cyanhydrique, mais moins que la laine et la soie. En pratique, le principal toxique dégagé par la combustion de tous les matériaux organiques, naturels ou synthétiques, est le monoxyde de carbone.

## Les plastiques et l'environnement

Autre reproche: les plastiques, principalement dans les emballages, représentent un gaspillage de pétrole et polluent l'environnement. Des calculs objectifs (bilan énergétique total pour la consommation de pétrole, écobilan pour l'impact sur l'environnement) permettent de comparer les dépenses et les nuisances imputables à divers matériaux pour un service donné (par exemple, transport et conservation d'un litre d'eau minérale de la source au consommateur en bouteille de PVC perdue, ou en bouteille de verre consignée, ou en boîte d'aluminium). Ces bilans sont, dans la grande majorité des cas, favorables aux plastiques, essentiellement à cause de leur très faible masse.

## La biodégradabilité des plastiques

Il a été reproché aux plastiques de ne pas être biodégradables, mais le verre et les métaux ne le sont pas non plus. Les plastiques dégradables existent sous plusieurs formes. Les biodégradables proprement dits sont rares, chers, surtout destinés aux usages médicaux. Les biofragmentables sont des polymères ordinaires chargés d'un composé biodégradable (généralement de l'amidon): le plastique ne se détruit pas, mais tombe en poussière. Enfin, les photodégradables renferment un adjuvant qui les sensibilise à la lumière. En dehors de certains usages spécifiques (fils de suture résorbables, films de paillage pour l'agriculture), ces plastiques sont critiqués pour se dégrader de façon aléatoire selon les conditions climatiques, pour entretenir la prolifération de micro-organismes et donc ne pouvoir être mis au contact des aliments, et enfin pour ne pas être recyclables.

## Le recyclage des plastiques

Il se heurte à deux difficultés: d'une part les déchets plastiques, légers, sont épars et difficiles à collecter économiquement en tonnages importants, d'autre part les différentes familles de plastiques ne sont pour la plupart pas miscibles, et ceux qui se mélangent donnent des produits médiocres. On doit soit procéder à des collectes très sélectives ou à des tris rigoureux, soit accepter de fabriquer des objets dont l'épaisseur compense la faiblesse mécanique.

Le recyclage peut être envisagé à différents niveaux:

- les objets utilisés (bouteilles consignées) sont repris, lavés et réutilisés, mais l'opération est coûteuse en énergie et polluante;
- les objets sont broyés et retransformés (fabrication de sacs poubelles à partir de films pour palettes de livraison aux supermarchés);
- les objets sont broyés, reformulés et retransformés (fabrication de tubes à partir de bouteilles en PVC). Une variante consiste à utiliser des mélanges de plastiques issus des ordures ménagères, sommairement triés, et à en faire des objets massifs (piquets pour la vigne, pour l'élevage des moules, etc.), mais l'opération, techniquement faisable, conduit à des déboires économiques;
- les plastiques collectés sont dépolymérisés et redonnent des monomères (procédé applicable à très peu de polymères, essentiellement aux chutes de plaques de PMMA);

# LES MATIERES PLASTIQUES

— les plastiques sont craqués comme du pétrole brut pour donner des hydrocarbures (les procédés sont coûteux et donnent des huiles lourdes peu valorisables).

En dehors du recyclage, on peut trouver de nouveaux emplois aux divers déchets plastiques, par exemple le renforcement des talus ou des bitumes pour revêtements routiers par des films déchiquetés. Mais, dans la majorité des cas, la valorisation la plus satisfaisante sur le plan économique est le recyclage thermique, c'est-à-dire l'incinération avec récupération d'énergie: en équivalents pétrole, environ 50 % de l'énergie consommée pour la fabrication des plastiques sont ainsi restitués.

© Hachette Multimédia / Hachette Livre