

Les matières plastiques

par Georges MAZURA
Lycée de Galilée - 92230 Gennevilliers

Ce document a été distribué aux professeurs de premier cycle, participant à un stage organisé par M. VIGNES à l'ENS de Cachan, pour compléter une séance de manipulations sur les matières plastiques, en collège.

Les matières plastiques (du latin «plasticus» : relatif au modelage) englobent un ensemble de matériaux extrêmement variés à base de macromolécules* naturelles comme le caoutchouc, de macromolécules synthétisées par l'homme (synthétiques) ou de macromolécules naturelles modifiées par l'intervention de l'homme (semi-synthétiques ou artificielles), comme l'acétate de cellulose. Elles sont apparues sur le marché depuis une centaine d'années (fabrication des boules de billard en celluloid vers 1870, par les frères Hyatt, en remplacement de l'ivoire) et le nombre de leurs applications n'a cessé depuis de progresser.

1. STRUCTURE ET CLASSIFICATION DES POLYMÈRES

L'étude de la géométrie des macromolécules conduit à distinguer :

Macromolécules linéaires

Elles se développent par enchaînement dans une seule dimension ; elles se forment à partir de monomères ayant au plus deux sites actifs.

Macromolécules ramifiées

Il peut arriver que sur une macromolécule linéaire se développe une polymérisation latérale, en branchement : on parlera alors de macromolécules ramifiées.

Macromolécules réticulées

Des macromolécules peuvent être reliées entre elles, en certains points, soit par des ramifications, soit par des atomes étrangers au polymère (comme du soufre), créant des pontages appelés réticulations.

* Voir la définition des termes, en annexe.

Macromolécules ou polymères tridimensionnels

Les macromolécules se développent dans les trois dimensions de l'espace à partir de monomères possédant au moins trois sites actifs et forment ainsi un réseau extrêmement rigide.

Chacune de ces structures confère au polymère des comportements particuliers qui permettent de les classer suivant la figure 1.

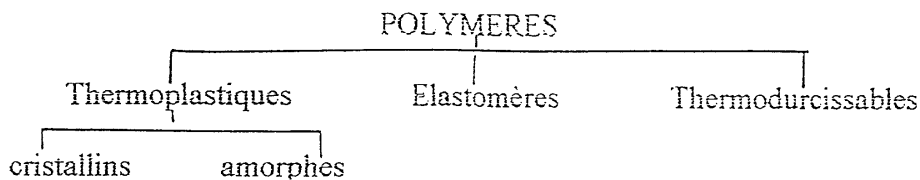


Figure 1

Les polymères thermoplastiques (TP)

Ils sont formés de macromolécules linéaires ou ramifiées qui fondent ou se solidifient de façon réversible par simple chauffage ou refroidissement : on peut donc les mouler plusieurs fois d'où aussi leur nom de *polyplast*. Par chauffage les molécules peuvent glisser les unes sur les autres, la matière se ramollit et peut couler.

Les polymères thermodurcissables (TD)

Ils sont constitués des macromolécules pouvant s'organiser sur un réseau tridimensionnel obtenu généralement par chauffage et/ou grâce à un durcisseur (corps qui permettra de créer des «ponts», par liaisons covalentes, entre les différentes macromolécules). Quand ce réseau est formé (matière thermodurcie) une élévation de température ne permet pas au polymère de se ramollir, il ne peut que se dégrader. Le moulage ne peut donc se faire qu'une seule fois, au moment du durcissement, d'où leur nom de *monoplast*.

Les élastomères

Ce sont des polymères légèrement réticulés à l'aide du soufre par exemple (vulcanisation) ce qui leur confère des propriétés élastiques.

Polymères amorphes et polymères cristallins

La plupart des solides ont une structure cristalline et donc ordonnée. Cependant on peut trouver certains solides dont la structure n'est pas ordonnée (le verre par

exemple), on parle alors de solides *amorphes*. Ils ne présentent pas, comme les cristaux, de fusion franche : le passage de l'état solide à l'état liquide se fait par l'intermédiaire d'une phase de plus en plus fluide, d'une pâte, comme pour le verre et les graisses (on peut parler de «fusion pâteuse»).

Les solides amorphes possèdent cependant une transition qu'on appelle «transition vitreuse» (Tv), température en-deçà de laquelle ils sont cassants, peu résistants aux chocs et au-delà de laquelle ils possèdent des propriétés élastiques et sont donc plus souples, plus résistants aux chocs.

Le cas des polymères organiques est spécial : en effet les polymères comportent des zones cristallines (portions de macromolécules ordonnées) et des zones amorphes, enchevêtrées.

Les zones cristallines ou *cristallites* ne sont présentes que dans les polymères linéaires ou ramifiés ; les polymères tridimensionnels ne présentent pas de zones cristallines.

On définit le taux de cristallinité d'une matière par :

$$x = \frac{\text{masse des zones cristallines}}{\text{masse totale de l'échantillon}}$$

Toutes les causes favorisant un ordre possible dans le polymère favoriseront donc la cristallinité du polymère ; on peut citer :

- ordres dans la macromolécule et le motif,
- interactions intermoléculaires élevées comme les liaisons hydrogènes des polyamides,
- vitesse de refroidissement très lente.

Par contre la présence de groupements volumineux (PMMA), de ramifications et de réticulations, une vitesse de refroidissement rapide défavoriseront la cristallinité du polymère.

Il faut noter que, généralement, les polymères amorphes sont transparents et que les cristallins sont translucides ou opaques.

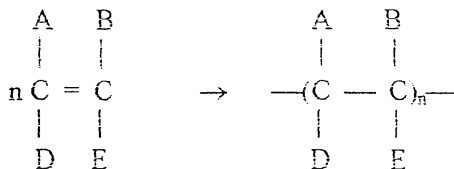
2. SYNTHÈSE DES POLYMÈRES

On peut distinguer deux grandes voies de synthèses :

- *polymérisation par addition* : appelée aussi communément « polymérisation »,
- *polymérisation par condensation* appelée « polycondensation ».

2.1. Polymérisation par addition

Cette polymérisation met en jeu des réactions d'addition et les monomères sont donc des composés insaturés (liaison π entre deux atomes de carbone). L'équation-bilan de la polymérisation peut s'écrire :



Parmi les principales matières on peut citer : les polyéthylènes (PE), le polypropylène (PP), le polychlorure de vinyle (PVC), le polytétrafluoroéthylène (PTFE), le polyacétate de vinyle (PVAC), le polyalcoolvinylique (PVAL), le polystyrène (PS), le polyacrylonitrile (PAN), le polyméthacrylate de méthyle (PMMA)...

Parmi les copolymères* retenons le copolymère éthylène/propylène, le polyacétochlorure de vinyle, le copolymère butadiène/styrène (SB), le copolymère styrène/acrylonitrile (SAN), le copolymère acrylonitrile/butadiène/styrène (ABS).

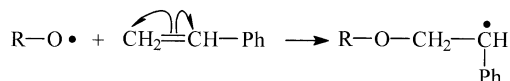
Suivant l'amorceur employé, plusieurs types de mécanisme peuvent être impliqués dans ces polymérisations : radicalaire (le plus fréquent), cationique, anionique, (en général peroxyde pour le mécanisme radicalaire, H^+ pour le cationique, OH^- pour l'anionique). Ils aboutissent à des réactions en chaîne, avec croissance de la chaîne d'un seul motif à chaque fois.

On peut y distinguer trois phases : amorçage, propagation et terminaison. Les initiateurs employés induisent le mécanisme et donc la nature de la rupture intervenant : rupture homolytique pour les mécanismes radicalaires, hétérolytique pour les mécanismes ioniques.

* Voir la définition des termes, en annexe.

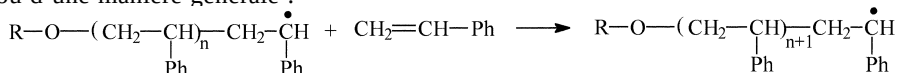
Exemple : Polymérisation radicalaire du système $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{C}_6\text{H}_5$ ou $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{Ph}$. L'amorceur est en général une molécule symétrique comme les peroxydes : $\text{R}-\text{O}-\text{O}-\text{R}$:

- *Amorçage :* $\text{R}-\text{O}-\text{O}-\text{R} \longrightarrow 2 \text{R}-\text{O} \cdot$ (par simple chauffage, 50, 60°C)



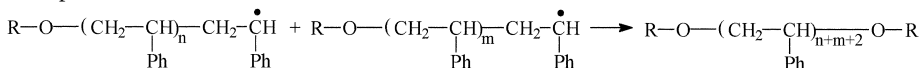
- *Propagation :* $\text{R}-\text{O}-\text{CH}_2-\underset{\text{Ph}}{\underset{|}{\overset{\cdot}{\text{CH}}}} + \text{CH}_2=\text{CH}-\text{Ph} \longrightarrow \text{R}-\text{O}-\text{CH}_2-\underset{\text{Ph}}{\underset{|}{\text{CH}}}-\text{CH}_2-\underset{\text{Ph}}{\underset{|}{\overset{\cdot}{\text{CH}}}}$

ou d'une manière générale :

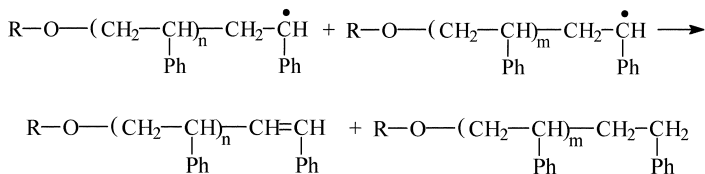


- *Terminaison :*

– duplication, entre deux macroradicaux :



– dismutation :



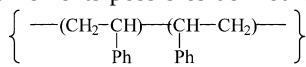
Il peut y avoir des réactions de transfert permettant des ramifications sur les chaînes : l'hydrogène partant du macroradical n'est plus sur le dernier motif mais provient d'un autre motif de la chaîne et il y aura donc deux électrons célibataires sur la même chaîne.

Remarques :

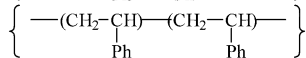
– Les amorceurs ne sont pas des catalyseurs puisqu'ils interviennent dans la formule chimique des macromolécules.

– Il peut y avoir deux enchaînements possibles de motifs :

tête/tête



ou tête/queue



– Pour les copolymères, les monomères peuvent être introduits en même temps dans le réacteur (copolymères statistiques et alternés) ou successivement (copolymères greffés et séquencés) :

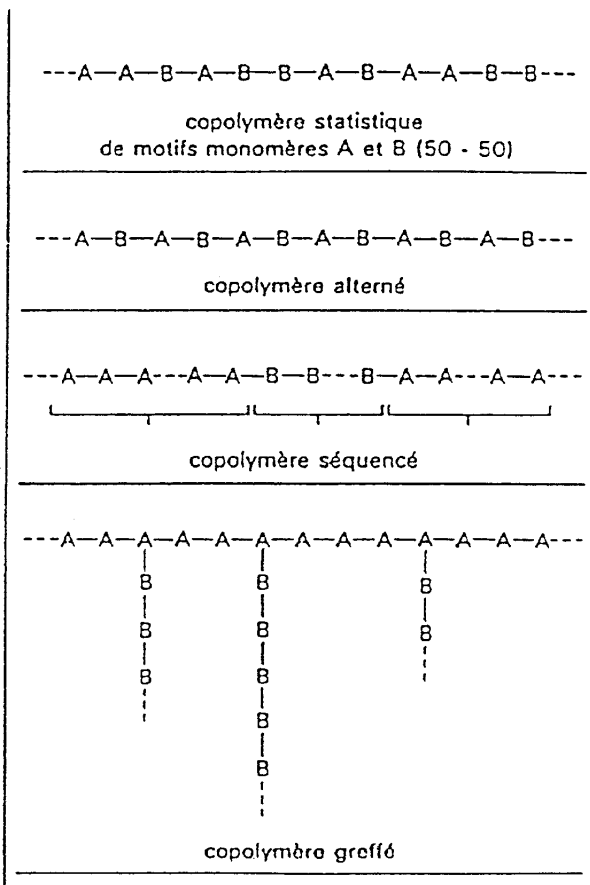


Figure 2

Polymérisations spécifiques

Les polymères obtenus à partir de monomères comme $\text{CH}_2 = \text{CHR}$ conduisent à des stéréo-isomères suivant la position des substituants R successifs par rapport au plan formé par la chaîne carbonée.

On peut distinguer trois stéréoisomères particuliers : atactique, isotactique et syndiotactique (voir figure 3).

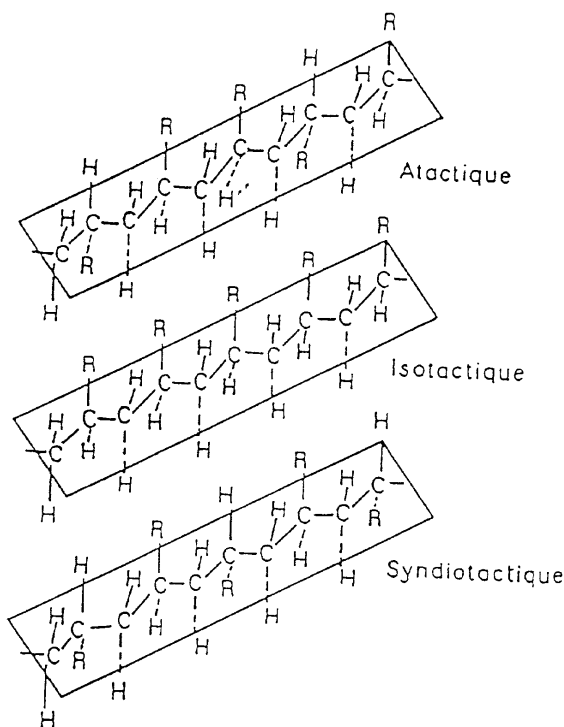


Figure 3

Les recherches de K. ZIEGLER et G. NATTA (prix Nobel de chimie en 1963) ont permis d'obtenir des macromolécules stéréorégulières (iso et syndiotactique), à l'aide de catalyseurs dits «stéréospécifiques» (complexes de trialkylaluminium, AlR_3 , avec des sels de titane comme TiCl_4 , sur support d'alumine et de silice). Les polymères ont alors une forte cristallinité, se traduisant par de meilleures propriétés mécaniques, des densités plus élevées ainsi que des points de fusion plus nets et plus élevés.

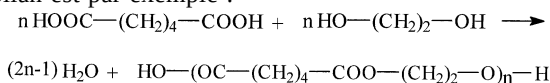
2.2. Polymérisation par condensation

Ces polymérisations mettent en jeu des condensations comme l'estérification ou l'amidification.

2.2.1. Les polyesters

Polyesters linéaires (TP)

L'équation-bilan est par exemple :



Les alcools employés sont saturés. Les acides peuvent être saturés ou aromatiques comme l'acide paraphtalique (ou téréphtalique).

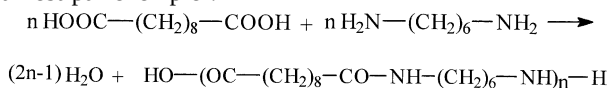
Polyesters pouvant former un réseau tridimensionnel (TD)

– Polyester insaturé obtenu à partir d'un diol saturé et d'un diacide insaturé comme l'acide butènedioïque : les macromolécules sont linéaires mais possèdent des insaturations et le réseau tridimensionnel est obtenu par ajout d'un monomère insaturé comme du styrène et l'ensemble subit une polymérisation par addition grâce à un initiateur et éventuellement à un catalyseur qui permet le durcissement à froid ; les chaînes de polyester sont donc reliées entre elles par des séquences de polystyrène, organisant un réseau tridimensionnel.

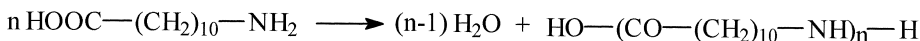
– Polyester obtenu à partir d'un diacide et d'un triol comme le glycérol : les trois groupes hydroxyle du triol permettent la croissance tridimensionnelle du polyester.

2.2.2. Les polyamides

Les polyamides utilisés actuellement sont tous linéaires et donc thermoplastiques. On les obtient soit à partir d'un diacide et d'une diamine soit à partir d'un acide aminé. L'équation-bilan est par exemple :



Les polyamides obtenus sont alors appelés PA x,y où x représente le nombre d'atomes de carbone de la diamine employée et y le nombre d'atomes de carbone du diacide :



Les polyamides sont alors désignés par PA x où x désigne le nombre d'atomes de carbone de l'acide aminé.

2.2.3. Autres polycondensations

Il existe d'autres polymères, non moins importants, obtenus par condensation. Parmi les plus courants on peut citer :

Les polycarbonates (PC)

Ils sont obtenus par exemple à partir du phosgène Cl-CO-Cl et d'un diphenol. Ils sont linéaires et très transparents.

Les phénoplastes (nom commercial : bakélite)

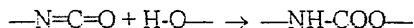
Les phénoplastes dont les monomères sont un phénol et un aldéhyde. Ils sont thermodurcissables.

Les aminoplastes

Ils sont obtenus à partir de composés aminés comme l'urée ou la mélamine et du méthanal et sont aussi thermodurcissables.

Les polyuréthanes

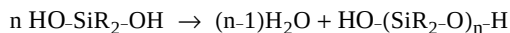
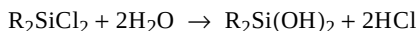
Les polyuréthanes dont la polymérisation fait intervenir des polyisocyanates et des polyols suivant le schéma :



A ceci s'ajoutent d'autres réactions entre la fonction isocyanate et les corps à hydrogènes mobiles comme l'eau, les amines, les acides organiques suivant le même schéma. On obtient des macromolécules soit linéaires soit tridimensionnelles conduisant à des thermoplastiques, des thermodurcissables, des élastomères, des mousses.

Les silicones

Elles désignent un groupe très varié de composés chimiques intermédiaires entre la chimie organique et la chimie minérale, les molécules étant constituées d'atomes de silicium liés à des atomes de carbone et d'hydrogène. Ils sont obtenus par déshydratation de silanols provenant eux-mêmes de chlorosilanes hydrolysés suivant le schéma, si l'on part d'un dialkylchlorosilane :

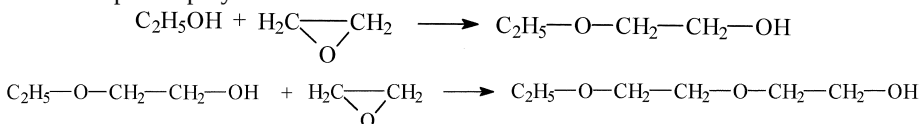


Suivant la nature du chlorosilane on obtient des thermoplastiques, des thermodurcissables ou des élastomères.

Les polyéthers

On classe dans cette famille les polymères dont le motif est de la forme : $-(CR_2-O-CR_2)-$. On y trouve les polyoxyméthylènes (POM), les polyoxyéthylènes (POE), les polyoxyphénylènes (PPO) et les polyépoxydes (EP).

Exemple de polymérisation du POE :



L'éthanol joue le rôle d'un initiateur, et les réactions mises en jeu ne sont pas des réactions d'addition mais des réactions de condensation sans formation de résidus comme l'eau ; on parle alors de *polyaddition*.

3. TECHNIQUES DE POLYMÉRISATION

Il existe quatre grands procédés de polymérisation.

- *Polymérisation en masse* : le réacteur ne contient que les monomères, l'initiateur et éventuellement, le catalyseur.
- *Polymérisation en solution* : la polymérisation se fait dans un solvant généralement organique comme l'éthylbenzène ou le toluène.
- *Polymérisation en suspension* : les monomères et l'initiateur (soluble dans la phase organique) sont dispersés dans l'eau, en présence d'agents stabilisateurs comme l'agar-agar.
- *Polymérisation en émulsion* : la polymérisation se fait aussi dans l'eau en présence d'agents émulsifiants comme les savons, et l'initiateur est soluble dans la phase aqueuse.

4. GRANDEURS MOYENNES

Les polymères ne sont pas des corps purs, chimiquement parlant, puisque toutes les macromolécules dans un échantillon de matière n'ont pas toutes le même degré de polymérisation ; c'est le phénomène de *polydispersité*.

On définit donc, pour un polymère, des grandeurs moyennes comme la masse molaire moyenne en nombre, $\overline{M}_n$ et la masse molaire moyenne en poids, $\overline{M}_w$. Si un

échantillon de matière a été fractionné en «i» parties isomoléculaires de masse molaire M_i , de quantité de matière n_i et de masse m_i , on a :

$$\overline{M}_n = \frac{\sum M_i \cdot n_i}{\sum n_i} \quad \text{et} \quad \overline{M}_w = \frac{\sum M_i \cdot m_i}{\sum m_i}$$

L'indice de polydispersité I_p est le rapport : $I_p = \frac{\overline{M}_w}{\overline{M}_n}$.

I_p est toujours plus grand que un et plus il est proche de un, moins le polymère est dispersé.

5. ILLUSTRATIONS EXPÉRIMENTALES

5.1. Préparation de quelques matières plastiques

5.1.1. Synthèses du PMMA

Procédé en masse

Dans un tube à essai introduire du méthacrylate de méthyle (le tiers du tube environ) et ajouter une pincée de peroxyde de benzoyle ou de la pâte C.50 (Laboratoires CHAMPIN - B.P. 9 - 27400 ACQUIGNY - Tél. : 02 32 50 22 09). Homogénéiser le mélange et placer le tube dans un bain-marie à 60-70°C pendant une vingtaine de minutes au moins. Pour récupérer le PMMA, il est nécessaire de briser le tube.

On peut faire une inclusion en mettant dans le mélange, avant polymérisation, un objet suspendu à un fil.

Procédé en émulsion

Dans un ballon tricol de 250 cm³ muni d'un thermomètre, d'un agitateur mécanique et d'un réfrigérant à boules, introduire 80 mL d'eau puis 15 g de méthacrylate de méthyle, 0,5 g à 1 g d'agar-agar et 0,5 g à 1 g de peroxyde de benzoyle ou le double de pâte C.50. Chauffer à 80°C maximum pendant une heure en maintenant une agitation moyenne et régulière. Refroidir, filtrer sur büchner et laver à l'eau. On obtient des perles de PMMA de grosseurs variables suivant l'agitation et la quantité de peroxyde employé.

5.1.2. Synthèse du PS

Le monomère disponible dans le commerce contient généralement un inhibiteur de polymérisation, l'hydroquinone. Pour l'éliminer, verser 15 mL de styrène dans une ampoule à décanter et secouer énergiquement le tout avec 25 mL de soude à 2 % ; décanter, éliminer la phase aqueuse et laver la phase organique avec de l'eau ;

recupérer le styrène et le sécher avec du chlorure de calcium. Pour la polymérisation procéder comme pour le PMMA.

5.1.3. Dépolymérisation du PMMA ou du PS

Dans un tube à essais mettre quelques morceaux de PMMA ou de PS ; boucher le tube par un tube à dégagement. Chauffer et recueillir les vapeurs condensées dans un autre tube contenant une solution de brome dans du tétrachlorure de carbone.

5.1.4. Préparation du PA6,6

Préparer une solution S_1 de chlorure d'adipyle à 5 % dans du cyclohexane et une solution S_2 d'hexaméthylènediamine à 5 % dans l'eau. Verser 5 mL de S_1 dans un petit bécher ou dans une boîte de Pétri, puis lentement, à la pipette, le même volume de S_2 , en évitant le mélange des deux solutions. Avec une pince, tirer une fibre de l'interface et l'enrouler sur un agitateur en verre. Laver dans un mélange éthanol/eau, 50/50 puis avec de l'eau. Sécher dans une étuve à 100°C ou sur du papier filtre. On peut colorer la fibre en ajoutant à S_2 un indicateur coloré.

5.2. Propriétés de quelques matières plastiques

On peut proposer notamment :

- *essais de densité* : ce test permet de définir si la matière est une polyoléfine (PE ou PP) ; en effet seules celles-ci ont une densité inférieure à 1 (exceptées les matières expansées comme le PS expansé) ;
- *test de Belstein* : pour l'identification du PVC. On chauffe un fil de cuivre et on prélève un peu d'échantillon de PVC avec ce fil chauffé ; on plonge alors le fil dans la flamme d'un bec bunsen : la flamme se colore en vert, coloration due à la présence de l'élément chlore.

Différenciation entre thermoplastiques (TP) et thermodurcissables (TD)

Introduire un morceau de plastique dans un tube à essais et présenter celui-ci à la flamme. Observer l'évolution de la matière : si celle-ci se ramollit, il s'agit d'un TP ; si elle ne fond pas mais se dégrade, il s'agit d'un TD.

Les établissements Rougier et Plé* proposent des «kits» simples d'emploi pour quelques manipulations comme latex et résines pour moulages, polyester pour inclusion...

* 13-15, boulevard des Filles du Calvaire - 75003 PARIS - Tél. : 01 42 72 82 90
ou B.P. 492 - 91164 LONGJUMEAU Cedex

Annexe

DÉFINITIONS DE QUELQUES TERMES

Macromolécules

Molécules géantes composées de plusieurs milliers, voire de centaines de milliers d'atomes liés entre eux par des liaisons covalentes.

Exemples : diamant, graphite, ADN, cellulose, soufre mou, amidon et bien sûr tous les polymères fabriqués actuellement.

Polymères

Ensembles de macromolécules dans lesquelles on retrouve un ou plusieurs motifs répétitifs dont le nombre, dans une macromolécule, s'appelle *degré de polymérisation*.

Il existe des homopolymères (un seul type de motif par chaîne), des copolymères (au moins deux types de motifs par chaîne) et des mélanges de polymères.

Monomères

Composé(s) de départ qui, par réaction chimique, conduit(sent) aux macromolécules de la matière.

Exemples :

- chlorure de vinyle, $\text{CH}_2 = \text{CHCl}$ pour le polychlorure de vinyle (PVC),
- acide 6-aminohexanoïque $\text{NH}_2-(\text{CH}_2)_5-\text{COOH}$ pour le PA6.

Matière plastique

Matériau qui, à au moins un stade de sa mise en œuvre, est suffisamment fluide ou modelable pour être mis en forme avant de se solidifier et d'acquérir sa résistance mécanique.

Une matière plastique se compose généralement :

- d'un polymère ou résine qui confère les propriétés principales à la matière obtenue et qui gouverne éventuellement un classement par famille,

– d'additifs (adjuvants, charges) destinés à faciliter la mise en œuvre de la matière, à améliorer certaines caractéristiques physiques ou chimiques ou à diminuer le prix de revient de la matière. Ces additifs peuvent composer jusqu'à 90 % de la masse de la matière plastique.

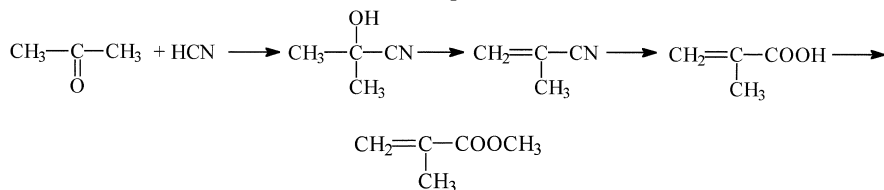
Exemples :

- lubrifiants : pour faciliter le démoulage,
- plastifiants : pour donner plus de souplesse et rendre les matières moins cassantes,
- stabilisants : pour combattre les causes et effets des dégradations de la matière,
- colorants et pigments,
- ignifugeants, antistatiques, fongicides...

LE POLYMÉTHYLMÉTACRYLATE

Les polymères acryliques constituent une très grande famille de matériaux thermoplastiques (et quelquefois thermodurcissables) dérivant essentiellement de l'acide acrylique ($\text{CH}_2=\text{CH}-\text{COOH}$), et de l'acide méthacrylique ($\text{CH}_2=\underset{\text{CH}_3}{\text{C}}-\text{COOH}$).

Le monomère du PMMA est obtenu à partir de l'acétone :



Le monomère est un liquide sirupeux, incolore, nocif et bouillant à 100°C.

Les masses molaires du polymère peuvent être de 100 000 à 150 000 g/mol (en suspension) et de 1 000 000 à 3 000 000 g/mol (en masse).

Les macromolécules ont peu de ramifications et les groupes esters, volumineux sont une des causes de l'amorphisme du polymère.

Propriétés du PMMA

- Le polymère est insipide et sans odeur et de qualité alimentaire.
- Il possède des propriétés optiques exceptionnelles (92 % de transmission lumineuse) ; sa tenue au temps est exceptionnelle sans adjuvants.
- Sa densité est de 1,18 ; sa température de fusion est supérieure à 200°C, et sa transition vitreuse est comprise entre 110 et 135°C.
- Il se raye facilement.
- Il est soluble dans le monomère, certaines cétones, des hydrocarbures chlorés et certains esters.
- La dégradation, avec restitution du monomère, commence vers 200°C ; il s'enflamme difficilement, mais après inflammation, la combustion continue seule.

Applications

Enseignes, objets décoratifs, matériel sanitaire (baignoires), éléments de toiture transparents, phares, balises, scintillateurs (polymères fluorescents qui émettent un signal lumineux au passage d'une particule radioactive).

LE POLYSTYRÈNE

Dans cette famille, on classe le PS et les copolymères destinés à améliorer certaines propriétés du PS.

Obtention du monomère :



C'est un liquide incolore à l'odeur pénétrante, irritant sur la peau et les muqueuses, inflammable et qui peut donner avec l'air des mélanges explosifs. Il bout à 145°C et polymérise facilement à l'air (c'est pourquoi il est additionné d'un inhibiteur de polymérisation, généralement l'hydroquinone).

La polymérisation se fait par un procédé en masse ou en suspension et est amorcée par un peroxyde (le peroxyde de benzoyle colore la matière).

Les masses molaires varient de 150 000 g/mol à 500 000 g/mol.

Le polymère est atactique ce qui peut expliquer son amorphisme et sa transparence.

Propriétés

- Le PS est une résine transparente, brillante (PS cristal), insipide, sans odeur et non toxique.
- $d = 1,05$ et sa transition vitreuse est de 90°C .
- Il est peu résistant aux chocs (d'où les copolymères) et fragile à la traction et à la flexion.
- Il commence à se décomposer vers 250°C avec émission de styrène ; il est très combustible et brûle avec formation de gouttelettes enflammées.

PS expansé

On le prépare en suspension dans l'eau avec un colloïde protecteur, éventuellement un ignifugeant et un agent porogène (comme le pentane) ; la bouillie obtenue est refroidie, essorée et séchée. Puis les particules sont préexpansées par de la vapeur d'eau et les perles sont stockées à l'air libre avant d'être soudées entre elles par chauffage au cours du moulage.

Copolymères (le SB, le SAN et l'ABS)

La fabrication de l'ABS est complexe ; schématiquement on peut la représenter de la façon suivante :

- préparation d'une résine SAN,
- préparation d'un caoutchouc greffé : greffage de styrène ou d'acrylonitrile ou des deux sur un tronc de polybutadiène,
- obtention d'un ABS par mélange de façon appropriée des phases résine et caoutchouc greffé.

Applications

Emballages (produits laitiers, photographie, produits pharmaceutiques et cosmétiques) ; électroménager (intérieur des réfrigérateurs et congélateurs) ; appareils audiovisuels (carcasses des postes récepteurs, cassettes pour CD) ; ameublement et matériel de bureau (chaises, tabourets, étagères, luminaires, stylos à bille, machines à calculer) ; jouets ; loisirs (camping).