

INTRODUCTION ET GENERALITES SUR LES MATIERES PLASTIQUES

1. Généralités

A nos jours les pièces en matières plastiques peuplent notre vie quotidienne dans tous les domaines d'utilisation. La matière plastique remplace les autres matériaux à savoir, le métal, le carton, le bois, les verres, la céramique et autres matériaux. Qu'il s'agisse des châssis des fenêtres dans le bâtiment, des éléments de carrosserie et autres composants dans les domaines de l'automobile, de l'aéronautique et navale aussi les meubles, les appareils électroménagers, le matériel électrique, le matériel médical et les moyens de transport.

Partout l'utilisation des matériaux plastiques apportent des solutions de fabrications simples, de réalisations fiables et esthétiques suite à la diversité des procédés de mise en forme comme l'injection, l'extrusion et le thermoformage avec un prix de revient compétitifs, autant d'atouts qui concurrencent les autres matériaux tels que les métaux et le bois.

Produites essentiellement à partir du pétrole, les matières plastiques sont l'un des symboles du XXe siècle, Ces quelques dates montrent l'évolution rapide de cette industrie. Les exigences actuelles et les standards internationaux (aéronautique, espace) accélèrent le processus et l'intégration de la matière plastique.

Tableau I- 1 Chronologie de découverte des matières plastique¹

Famille	Désignation	Inventeur	Année	Première firme Productrice	Pays d'origine
NITRATE DE CELLULOSE	Celluloid	Frères HYATT	1870	ALBANY DENTAL PLATE	U.S.A.
GALALITHE			1889		ALLEMAGNE
ACETATE DE CELLULOSE			1905	BAYER	ALLEMAGNE
PHENOPLASTE	Bakélite	BACKELAND	1909	GENERAL BACKELITE	U.S.A.
CELLULOSE régénérée	Cellulose	BRANDEN-BERGER	1915	La CELLOPHANE	FRANCE
ALKYDE			1926	GENERAL ELECTRIC	U.S.A.
POLYMETHACRYLATE de METHYLE	Plexiglas	WULFF	1927	ROHM et HASS	ALLEMAGNE
AMINOPLASTE	Pollopas	POLLAK	1928		U.S.A.
POLYSTYRENE		STAUDINGER	1930	I.G. FARBEN	ALLEMAGNE
POLYVINYLE		OSTROMY-SLENSKY	1931	I.G.FARBEN	ALLEMAGNE
POLYETHYLENE	Basse densité Haute densité		1937	I.C.I.	GRANDE BRETAGNE
POLYVINYLIDENE	Saran		1940	DOW	U.S.A.

¹ Concevoir un produit injecté Connaissance des matières plastiques CFP

POLYAMIDE 6	Nylon	CAROTHERS	1941	DUPONT DE NEMOURS	U.S.A.
SILICONE			1941	GENERAL ELECTRIC	U.S.A.
POLYESTER	Résines		1942	PITTSBURGH GLASS	U.S.A.
POLYFLUORE	Téflon		1943	DUPONT DE NEMOURS	U.S.A.
A.B.S		DALY	1946		U.S.A.
POLYAMIDE 11	Rilsan	ZELNER et GENAS	1946	ORGANICO	France
EPOXYDE	Araldite	CASTAN	1947	CIBA	SUISSE
POLYURETHANE	Moltopren	Otto BAYER	1950	BAYER	R.F.A.
POLYSTYRENE expansé	Styropor		1951	BASF	R.F.A.
ACETAL	Delrin		1953	DUPONT DE NEMOURS	U.S.A.
POLYETHYLENE HD	Haute densité Bas se densité	ZIEGLER	1955	HOECHST	R.F.A
POLYPROPYLENE		NATTA	1957	MONTECATINI	ITALIE
POLYCARBONATE	Makrolon		1957	BAYER G. ELECTRIC	R.F.A.
POLYPHENYLENE	Noryl	HAY	1964	GENERAL ELECTRIC	U.S.A.
POLYAMIDE			1964	DUPONT DE NEMOURS	U.S.A.
POLYSULFONE			1965	UNION CARBIDE	U.S.A.
POLYMETHYL PENTENE	TPX		1965	ICI	GB
IONOMERE	Surlyn		1965	DUPONT DE NEMOURS	U.S.A.

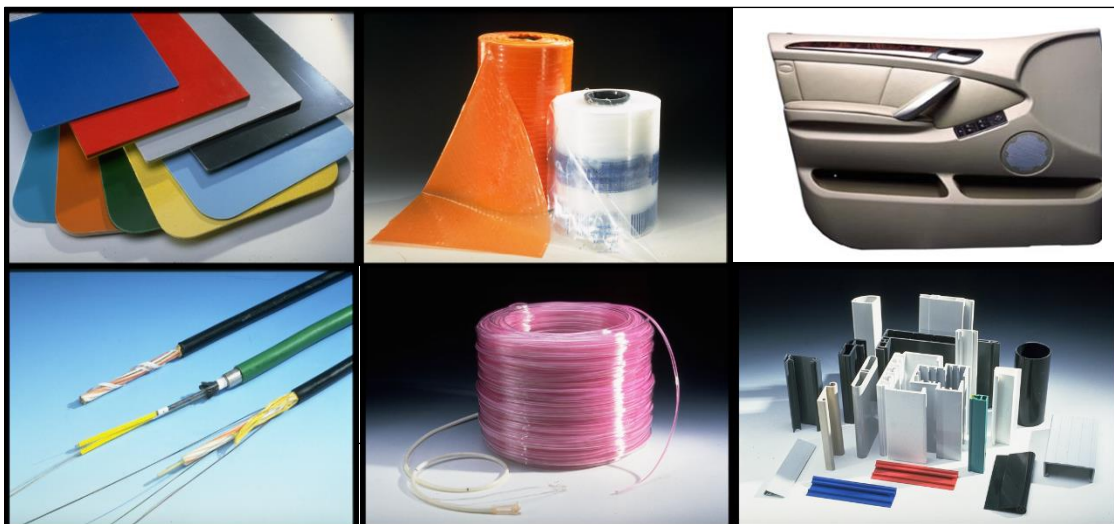


Figure 1- 1. Utilisation des matériaux plastiques

2. Définition et origines de la matière plastique

2.1. Définition de la matière plastique

Le terme « plastique » décrit une grande variété de composés organiques obtenus par synthèse chimique. Produites essentiellement à partir du pétrole, les matières plastiques sont l'un des symboles du XXe siècle, La bakélite (1909) est le plus ancien plastique entièrement synthétique.

Il existe également des plastiques naturels : poix, latex, bitume, brai, résines, laques, ambre, écaille, corne, et des plastiques d'origine animale généralement extraite du lait et utilisé dans la fabrication des produits médicaux.

La matière plastique est composée principalement de polymères, qui a la propriété de se mettre en forme facilement par moulage, extrusion, coulage après un chauffage modéré (100-300 °C).

2.2. Organique des polymères

La matière plastique obéit aux lois de la chimie organique, les matières plastiques sont toutes à base des dérivés du carbone, elles sont classées dans les composés organiques .

- **les molécules** : la matière est composée d'éléments de base appelés - Molécules. la molécule est définie comme étant la plus petite partie du corps, c'est-à-dire la quantité minimale de matière présentant des propriétés physiques et chimiques de ce corps.
- **les atomes** : Une molécule peut être décomposée en éléments plus petits appelés Atomes. Cette décomposition entraîne un changement des propriétés. L'atome est la plus petite partie d'un corps pur électriquement neutres.
- **Les particules** : L'atome peut lui-même être décomposé en particules électriquement chargées ou neutres. Ces particules sont indivisibles.
 - Le proton : particule élémentaire chargée positivement.
 - Le neutron : particule élémentaire électriquement neutre.
 - L'électron : particule élémentaire chargée négativement.

Les éléments atomiques ont une valeur qui rentre dans la composition des diverses matières :

H : Hydrogène, C: carbone, N: Azote, O : Oxygène, S = Soufre, F : Fluor, Si : Silicium, Cl : Chlore).

▪ Les Monomères :

Les plastiques ou « polymères », sont élaborés par synthèse chimique (construit chimiquement) à partir de molécules de base appelées Monomères

polyéthylène	PE	$\text{— CH}_2\text{— CH}_2\text{—}$
polypropylène	PP	$\text{— CH}_2\text{— CH —}$ CH ₃

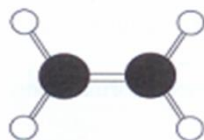


Figure I- 2. Molécule d'éthylène(PE)

▪ Les Polymères :

Sous l'action de la pression, de la chaleur et d'un catalyseur, les molécules, ou monomères, se regroupent entre elles pour former de longues chaînes appelées polymères, ou macromolécules. Une macromolécule peut contenir de plusieurs centaines à plusieurs millions de monomères

▪ Polymérisation

L'opération chimique liant les monomères entre eux, pour obtenir un polymère est appelée polymérisation.

▪ Copolymérisation

Lorsque deux ou plusieurs polymères, de même nature ou non, sont liés entre eux chimiquement l'opération est appelée copolymérisation.

▪ La polycondensation

La polycondensation est réalisée plus lentement que la polymérisation, mais l'enchaînement produit des résidus gazeux ou liquides.

▪ La polyaddition

La polycondensation, lorsqu'elle ne produit pas de produits résiduels, gazeux ou liquides, s'appelle polyaddition.

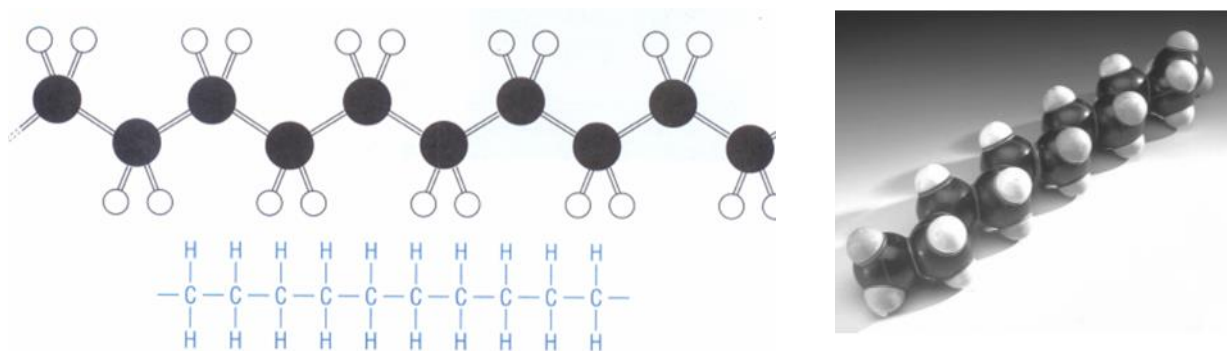


Figure I- 3. Macromolécule de polyéthylène (PE)

Une matière plastique est constituée des chaînes de polymères, quand elles sont de structure régulière, elles peuvent s'arranger les unes à côté des autres, au plus près, et donc avec des interactions les plus importantes possibles. Il se forme des zones de plus grande cohésion avec un arrangement régulier des atomes dans l'espace qui rappelle celui des cristaux moléculaires.

2.3. Obtention de la matière plastique

2.3.1. Origine de la matière plastique

La matière plastique utilisée par les industrielles sous plusieurs nuances et noms elle est constituée principalement d'un polymère, un adjuvant et un additif.

Ces différents composés sont introduits dans le polymère de base pour améliorer les propriétés mécanique, physiques, chimiques et thermique (résistance aux chocs, résistance au courant électrique, résistance au vieillissement, résistance aux hydrocarbures).

Les dosages des différents composants doivent être précis. L'action de la chaleur assure la transformation vers la matière première définitive .

Tableau I- 2. Classement des Principales matières plastiques

Les matières plastiques				
	De grande diffusion		Techniques	A hautes performances
	Prix faible (commodités)		Prix moyen (Polymères technique)	Prix élevé (Polymères hautes performances)
thermoplastique	PE PP PS PVC	ABS PMMA PUR	PA PC POM	PTFE PCTFE PVDF PSU PPS
thermodurcissables	PF MF-UF	PUR		SI PI

2.3.2. Les additifs

Les additifs entrent pour plus de 10 % dans la composition du produit fini.

- **Plastifiants** : les plastifiants sont des solvants lourds, qui incorporés au polymère de base, modifient sa structure. Le polymère modifié peut donner un matériau souple et flexible au lieu d'un matériau rigide.
- **Charges et renforts** : les charges et renforts sont utilisés en grande quantité dans le polymère pour diminuer son coût et augmenter la résistance mécanique du produit fini. Exemple : fibre de verre.
- **Agents gonflants** : les agents gonflants sont utilisés pour conférer une structure cellulaire - allégée au matériau après sa mise en forme. La transformation est réalisée sous l'action de la chaleur ou par réaction chimique.

2.3.3. Les Adjuvants

Les adjuvants entrent pour moins de 10 % dans la composition du produit fini, parfois moins de 1 %.

- **Les Colorants et les pigments** : les colorants solubles sont introduits dans le polymère, les colorants insolubles sont mis sous forme de dispersion au moment de la transformation de la matière plastique.
- **Les Lubrifiants** : les lubrifiants sont destinés à faciliter la mise en œuvre de la matière en particulier au cours de l'injection, ils réduisent le frottement entre la matière et l'acier de l'outillage. Ils sont utilisés entre 1 à 2 % de la matière d'œuvre.
- **Les Stabilisants** : les stabilisants sont destinés à ralentir ou retarder une transformation de la matière. Exemple : coloration aux ultraviolets.
- **Les fongicides** : les fongicides sont destinés à empêcher l'attaque des polymères par des organismes vivants. Ils sont utilisés pour les résines cellulosiques et vinyliques plastifiées et l'acétate de vinyle.

2.4. Structure des polymères :

Les différentes chaînes moléculaires s'organisent entre elles pour donner à la matière une structure. Des interactions physico-chimiques et des interactions géométriques vont se créer. On distingue deux types de structures.

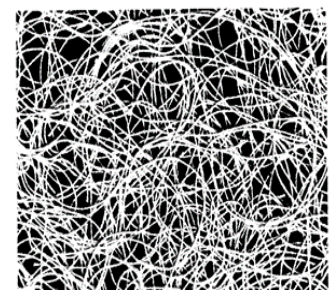
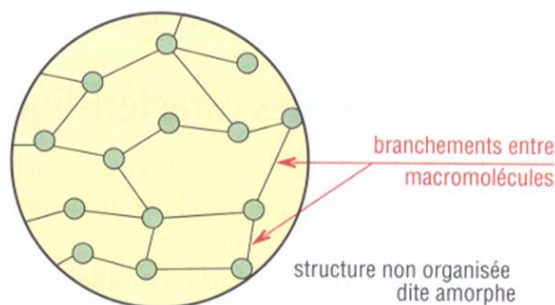
Tableau I- 3. Comparaison entre les matières semi cristalline et amorphe

Structure semi-cristalline	Structure amorphe
<ul style="list-style-type: none"> -Retrait important (1.5 à 3%) -Translucide ou opaque -Bonne tenue en température -Bonne résistance mécanique -Bonne résistance à l'abrasion -Bonne résistance sous contraintes -Coefficient de frottement moins important -Très bonne tenue à l'hydrocarbure 	<ul style="list-style-type: none"> -Retrait faible (0.2 à 1%) -Matériau transparent -Tenue en température moyenne -Résistance mécanique limitée -Faible résistance à l'abrasion -Résistance sous contrainte faible -Coefficient de frottement plus important -La tenue au hydrocarbure réduite
Exemple de quelques Polymères semi-cristallins	Exemple de quelques Polymères amorphes
<ul style="list-style-type: none"> • Polyéthylène (PE) • Polypropylène (PP) • Polyamide 6,6, 11,12 (PA) • Polyamide Imide ((PAI) • Polyoxyméthylène (POM)) • Polybutylène Téréphtalate (PBT) • Polyéthylène Téréphtalate (PETP) • Polyphénylène sulfure (PPS) 	<ul style="list-style-type: none"> • Acétobutyrate de Cellulose (CAB) • Polystyrène (PS) • Polystyrène choc (Styrène Butadiène) (SB) • Styrène Acrylonitrile (SAN) • Acrylonitrile Butadiène Styrène (ABS) • Polyméthacrylate de méthyle (PMMA) • Polychlorure de Vinyle (PVC) • Polycarbonate (PC)

2.4.1. La structure amorphe

La structure amorphe où les chaînes moléculaires en vrac, sans aucune organisation particulière

Figure I- 4. Pièce en Polyméthacrylate de méthyle ABS amorphe



2.4.2. La structure semi cristalline

La structure semi cristalline où une proportion variable des chaînes moléculaires, selon la nature du polymère, va s’organiser sous forme de cristallites. Une cristallite est la conséquence d’un repliement d’une chaîne moléculaire sur elle-même ou d’un agencement régulier et ordonné de celle-ci. Le reste de la structure est à l’état amorphe.

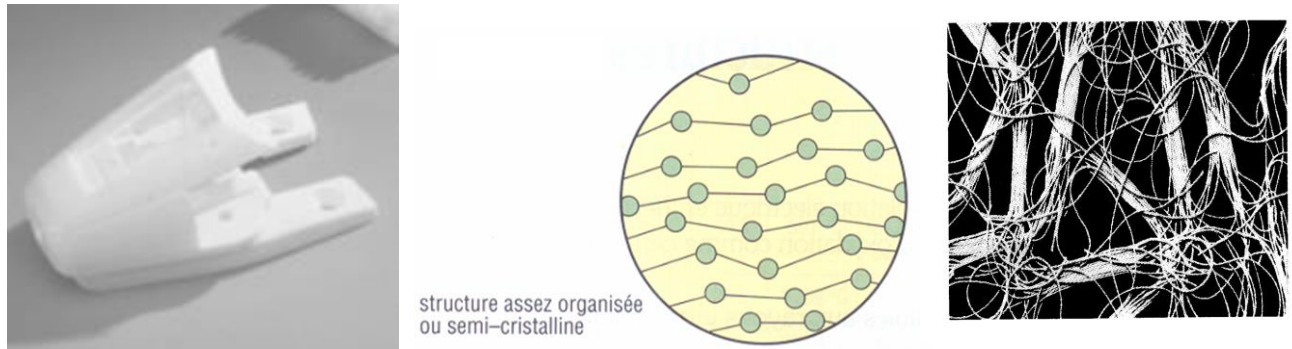


Figure I- 5. Pièce en polyamide PA semi cristallin

La cristallisation intervient lorsque les molécules d’un polymère s’organisent sous la forme d’un cristal. Plus la cristallisation est importante, plus le retrait l’est également.

La cristallisation est l’arrangement moléculaire sous forme de cristaux. Un taux de cristallisation élevé entraîne une augmentation du retrait. Un polymère semi- cristallin comporte donc deux phases (une Phase Amorphe et une Phase Cristalline).

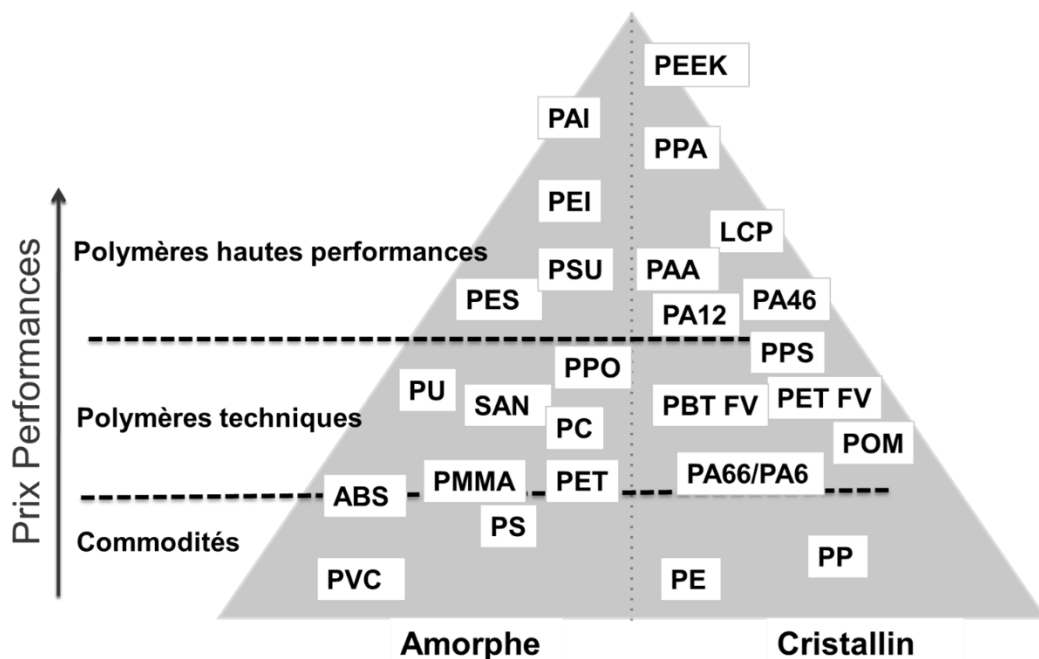


Figure I- 6. Les principaux polymères commerciaux classés par famille

2.5. Les formes commerciales des matières plastiques

La matière plastique première utilisée lors de sa mise en forme moyennant un des procédés peut être livrée sous une des formes suivantes :

- Granulés
- Poudre
- Résine
- Et des semi-produits (feuilles, films, pastilles, et fibres)



Figure I- 7. Formes de livraison de la matière plastique première

Quelques nuances de matière plastique communément utilisées sous leurs noms commerciaux et qui sont livrés sous forme de poudres ou de granulés.

Tableau I- 4. Utilisation des matières plastiques

Désignation de la matière	Abrév.	Exemples d'usage
Polyéthylène à haute densité	PEHD	Poubelles, bouteilles, tuyaux.
Polyéthylène à basse densité	PEBD	Poches, sacs, Sacs-poubelles. Flacons souples pour détergents
Polypropylène	PP	Pots de margarine et emballages alimentaires. Meubles de jardin. Caisses de transport, valises. Téléphones, pare-chocs de voiture.
Polystyrène acrylonitrile	SAN	Boîtes. Ordinateurs. Cassettes audio et vidéo
Polychlorure de vinyle	PVC	Poches à sang. Cartes de crédit Châssis de fenêtres, tubes et tuyaux
Polytéréphtalate d'éthylène	PETP	Bouteilles d'eau minérale Plaques allant au four. Anoraks, rembourrages de duvets et films vidéo
Polyuréthane	PUR	Rembourrages pour ameublement. Semelles de chaussures de sport. Roues de rollers
Acryliques	PMMA	Dessus de robinets Lunettes de protection Verres de feux de voiture.
Polycarbonates	PC	CD. Vitrines de banques Casques de pompiers

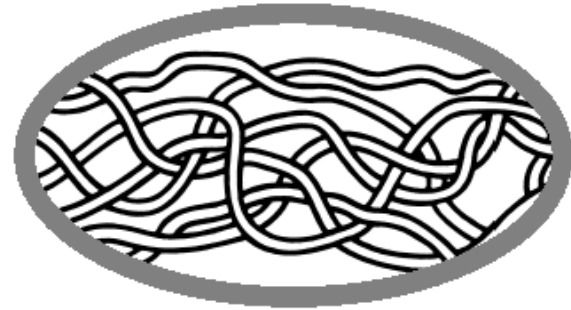
3. Les familles des matières plastiques

Les matières plastiques utilisées à l'échelle industrielle sont très diverses mais elles peuvent être classées en deux grandes classes :

- **Les Thermoplastiques :**

Ces composés sont constitués d'enchaînement "unidimensionnels", résultant de molécules simples.

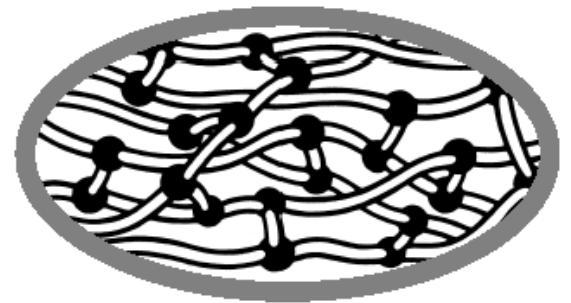
Par chauffage ou refroidissement successifs, on peut modifier l'état physique et la viscosité de ces matières de façon réversible.



- **Les Thermodurcissables :**

Ces composés sont constitués par des macromolécules s'étendant dans les trois directions de l'espace, d'autant plus rigides que le réseau tridimensionnel est dense.

L'objet final est dans un état irréversible (infusible, insoluble).



3.1. Thermoplastiques.

C'est de loin la famille la plus utilisée : ils représentent près de 90 % des applications des matières plastiques. Ils sont moins fragiles, plus faciles à fabriquer (machine à injecter et cadences élevées) et permettent des formes plus complexes que les thermodurcissables.

Ils existent sous forme rigide ou souple, compacte ou en faible épaisseur, sous forme de feuille très mince (film...), de revêtement, expansé ou allégé...

3.1.1. Propriétés principales.

Ils ramollissent et se déforment sous l'action de la chaleur. Ils peuvent, en théorie, être refondus et remodelés un grand nombre de fois tout en conservant leurs propriétés ; ils sont comparables à la cire ou à la paraffine.

Insensibles à l'humidité, aux parasites, aux moisissures (sauf polyamides) ils peuvent être fabriqués dans une gamme de couleurs très étendue.

Inconvénients : fluage élevé ; coefficient de dilatation linéaire élevé, entraînant un retrait important au moment du moulage ; combustible ; sensible aux ultraviolets.

3.1.2. Principales familles

- **Thermoplastiques de grande diffusion.**

À eux seuls, ils représentent de 70 à 80 % du total des plastiques mis en œuvre. On y trouve les polyéfines (polyéthylène, polypropylène), le polystyrène et les PVC (polychlorure de vinyle).

▪ **Thermoplastiques techniques.**

Les polyamides, proche du nylon textile, sont les plus utilisés du groupe : ils comportent de nombreuses variantes, de bonnes caractéristiques mécaniques, et une bonne tenue aux températures.

Les polycarbonates sont transparents et résistants aux chocs (verres correcteurs, vitrage anti-effraction...).

Les polyesters, voisins des fibres textiles polyesters, sont transparents et imperméables aux gaz (applications voisines des polyamides). Les polyacétals résistent à la fatigue, à l'eau et aux solvants (lave-linge, lave-vaisselle...).

▪ **Thermoplastiques hautes performances.**

Plus coûteux, ils sont caractérisés par leur résistance à la chaleur et par des propriétés électriques élevées. Les résines fluorées (PTEE, PCTEE, PVDF) sont les plus classiques ; elles résistent à presque tous les agents chimiques, ne vieillissent pas, ne brûlent pas, ont de bonnes qualités frottantes. Les polysulfones et les polysulfones de phénylènes (PPS), plus récents, transparents, allient résistance à la température, propriétés mécaniques et électriques élevées.

3.2. Les thermodurcissables

Ils ne ramollissent pas et ne se déforment pas sous l'action de la chaleur. Une fois créés il n'est plus possible de les remodeler par chauffage. Au moment de la mise en œuvre, ils ramollissent dans un premier temps, puis durcissent de manière irréversible sous l'action prolongée de la chaleur.

3.2.1. Propriétés principales.

Ils présentent une bonne tenue aux températures élevées (> 200°C), aux attaques chimiques, une meilleure résistance au fluage que les thermoplastiques (conservent une meilleure stabilité dimensionnelle dans le temps), une bonne rigidité pour un prix de matière première peu élevé et faible retrait au moulage.

Inconvénients : mise en œuvre moins pratique et plus lente que les thermoplastiques ; pas de moulage par injection et cadences de fabrication assez faibles.

3.2.2. Principales familles.

- Les phénoplastes (PF) noirs ou bruns (bakélite) et les aminoplastes blancs ou crème (urée formaldéhyde UF, mélamine-formol MF) sont les plus courants et les moins coûteux.
- Les époxydes (EP), les polyesters (UP) et les polyuréthanes (PUR) peuvent être classés dans le groupe des plastiques techniques.
- Pour les hautes performances, plus coûteux, on a les polyamides PF, qui conservent leurs propriétés mécaniques et électriques au-delà de 300°C, et les silicones SI, qui résistent à la chaleur et ont des propriétés mécaniques élevées.

3.3. Les élastomères ou caoutchoucs.

Ils sont obtenus par synthèse chimique, comme les plastiques, et possèdent des propriétés comparables à celle de caoutchouc naturel. Le néoprène (1930) fut le premier caoutchouc de synthèse [3].

Applications : pneumatiques, courroies, tapis, tuyaux, amortisseurs, joints d'étanchéité, revêtements divers, pièces mécaniques, chaussure.

3.3.1. Principales caractéristiques.

La propriété la plus remarquable est l'élasticité ou la capacité à s'allonger sans se rompre (A% très élevé, jusqu'à 1000 %). À l'opposé le module d'élasticité longitudinal E reste très petit (< 10 N/mm² : près de 200 000 pour les aciers) traduisant une faible rigidité.

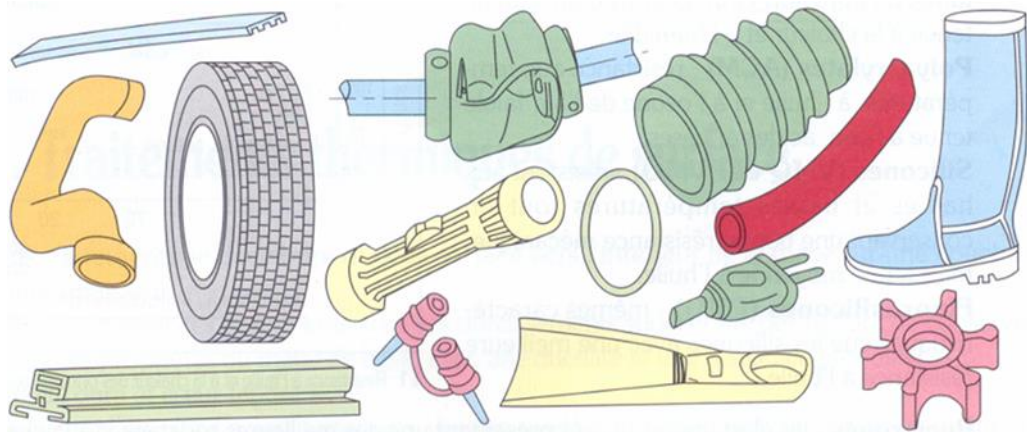


Figure I- 8. Exemples de pièces en élastomères

3.3.2. Élastomères vulcanisés.

Ce sont les plus traditionnels. La vulcanisation consiste à incorporer du soufre au caoutchouc afin d'améliorer la résistance tout en maintenant l'élasticité. Ils peuvent être extrudés ou moulés.

Les Principales nuances sont : caoutchouc naturel, nitrile, butyle, chlorurée, EPDM (éthylène propylène), SBR (styrène-butadiène), Fluorés (FPM)

3.3.3. Élastomères thermoplastiques.

Plus récents, ils ont les qualités des élastomères vulcanisés haut de gamme avec en plus la simplicité de mise en œuvre des plastiques thermoplastiques (moulage par injection, pas de vulcanisation) [1].

Les Principales nuances sont :

- Polyuréthane (PUR) : grande dureté, résistance à l'abrasion et au déchirement, faible tenue à la chaleur et à l'humidité.
- Polyacrylates (ACM) : résistance aux températures, à l'huile et à l'ozone de l'air, faible tenue à l'eau.
- Silicones (VMQ et PVMQ) : résistent aux hautes et basses températures tout en conservant une bonne résistance mécanique, mais tenue moyenne à l'huile.
- Fluorosilicones (FMQ) : même caractéristiques que les silicones avec une meilleure résistance à l'huile.

4. Caractérisation des MP

Généralement une matière plastique est choisie lors de la conception d'un produit suite à une vérification à des caractéristiques de conception, qui peuvent être :

- Des caractéristiques mécaniques
- Des caractéristiques physiques
- Des caractéristiques chimiques
- Des caractéristiques thermiques

Des essais sont normalisés nous permet de caractériser ou vérifier une caractéristique du matériau.

4.1. Essai de traction, compression et flexion

L'éprouvette calibrée est soumise à un effort de traction selon son axe principal, à vitesse constante, jusqu'à sa rupture. On mesure la force mise en jeu, c'est-à-dire la force correspondant à l'allongement progressif de l'éprouvette.

La forme de la courbe résultante est fonction :

- De la matière testée,
- De la température de la matière
- De la vitesse de traction,
- Du sens d'écoulement de la matière

Le comportement mécanique des plastiques est différent de celui des métaux. Il dépend de la structure, de la composition, du mode de fabrication, de la forme de la pièce, de la température, du temps et de l'humidité.

Le pourcentage d'allongement (A%) est plus faible pour les thermodurcissables (<1%, se déforment peu avant rupture, sont plus fragiles et plus sensibles aux chocs) qui présentent aussi, en générale, une dureté plus élevée. La résistance en compression est souvent plus élevée que la résistance en traction : 50 à 100 % pour les thermoplastiques, parfois plus de 100 % pour les thermodurcissables. [3]

A : les thermodurcissables, B : les thermoplastique et C : les élastomères

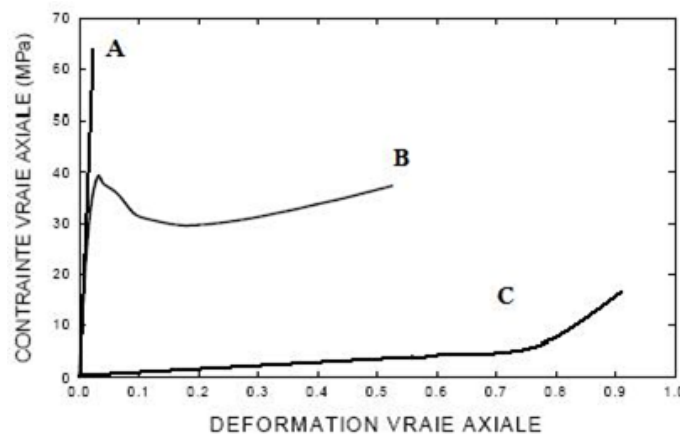


Figure I- 9. Comportement des différents polymères (TP, TD et élastomère) en traction.

Le phénomène de fluage

Le fluage est l'une des caractéristiques essentielles des matières plastiques. Il peut être mis en évidence par un essai de traction.

À la mise en charge de l'éprouvette, un allongement dL_0 se produit instantanément. Si la charge (F) est maintenue, l'éprouvette continue progressivement de s'allonger au cours du temps (allongement retardé).

Plus la température est élevée, plus le phénomène est accentué.

Si la charge F est supprimée, le phénomène s'inverse, l'éprouvette récupère rapidement une partie de l'allongement réalisé (récupération instantanée), puis progressivement et plus lentement une autre partie (récupération retardée).

La déformation résiduelle qui subsiste mesure le fluage.

La destruction des liaisons, le glissement entre les macromolécules, le frottement interne retardant les déformations sont les principales causes du fluage.

Le phénomène apparaît également pour des métaux travaillant sous charge à de hautes températures (fours, moteurs, réacteurs...).

Remarque : les fibres de renforcement (verre, kevlar, carbone...) permettent de corriger le phénomène de fluage [5].

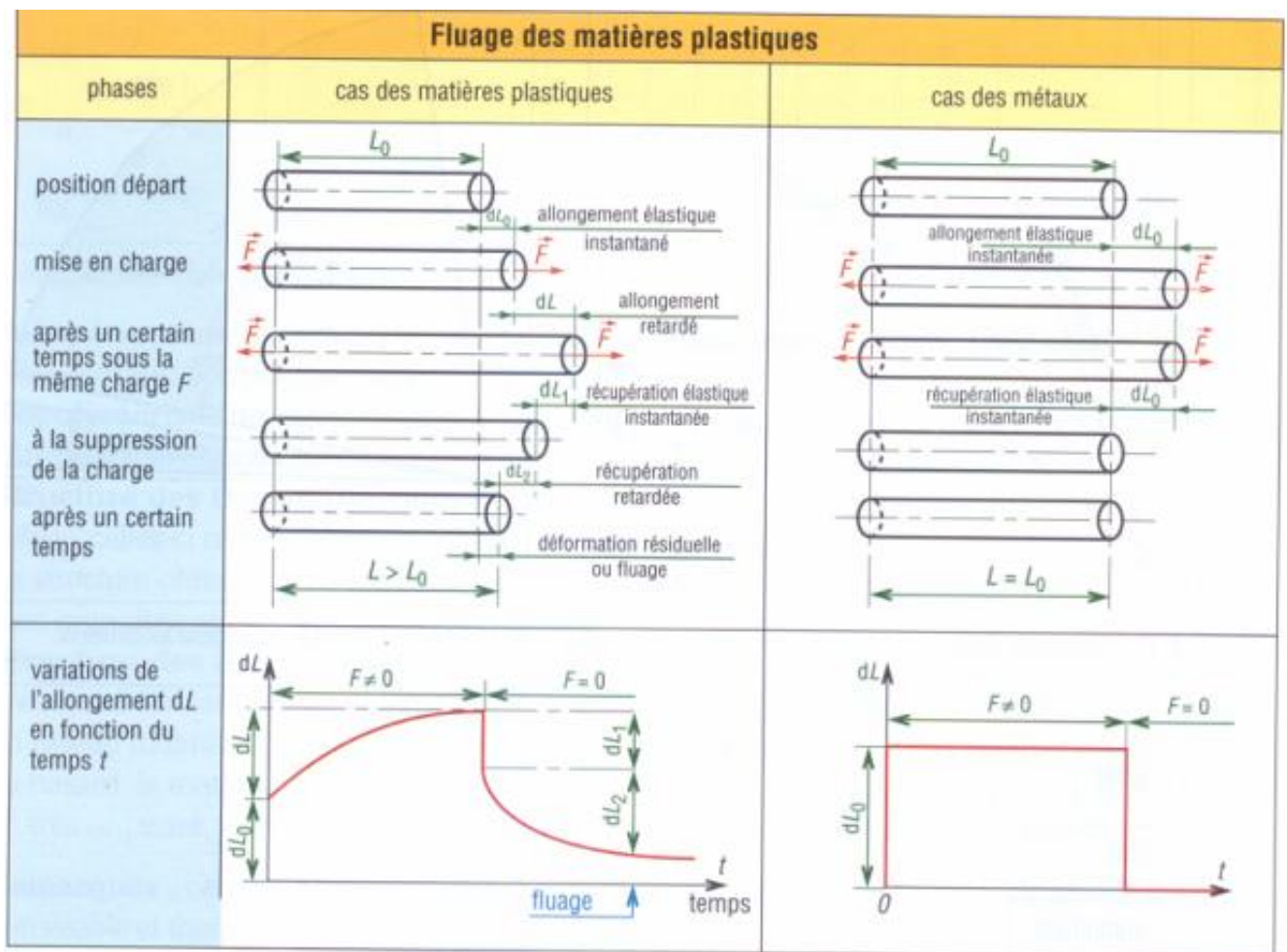


Figure I- 10. Essai de fluage des matières plastiques

4.2. Essai de dureté

Elle est mesurée en appuyant une bille ou un cône d'un matériau très dur (diamant, acier trempé) sur la surface du matériau. Les essais sont normalisés et des méthodes sont proposées comme le montre la figure suivante.

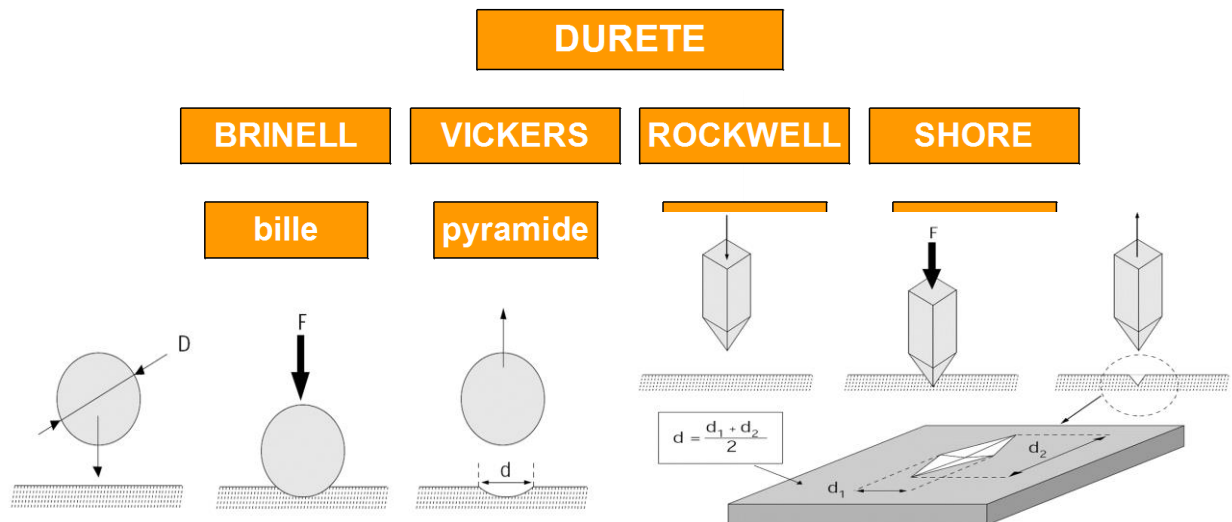


Figure I- 11. Les différents essais normalisés de mesure de dureté [5].

L'essai consiste à faire pénétrer progressivement l'indenteur de forme et de résistance appropriées (sphère, pyramide, cône...) en appliquant une force F sur la surface de l'échantillon et en la maintenant pendant un temps précis. Si le matériau est plastiquement déformable, une empreinte de surface latérale S et de profondeur e subsiste après retrait de la charge.

La dureté s'exprime alors par : $H = \frac{F}{S}$ H : nombre sans dimension (selon les normes)

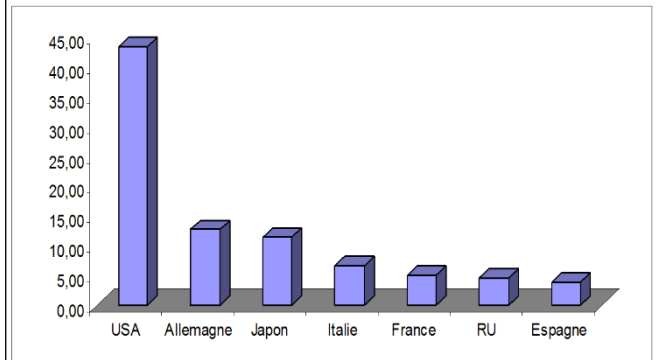
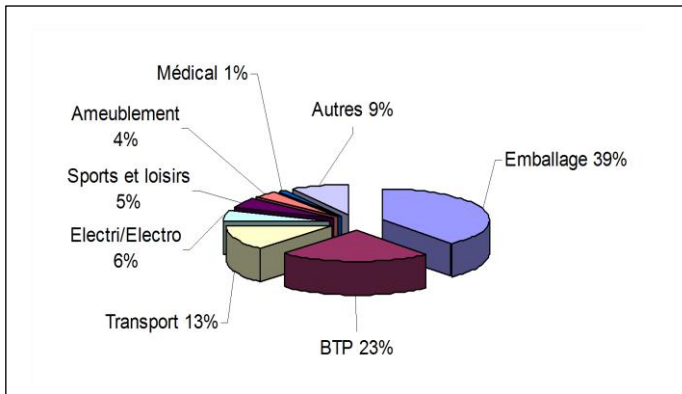
4.3. Autres essais

Plusieurs essais peuvent être menés pour voir le comportement de la matière on site.

- Essais aux feux
- Essais thermiques
- Essais au choc
- Mesure de l'humidité et Vérification de la couleur

5. Utilisation des MP

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 les pièces techniques (automobiles, électricité, électroménager) ; et 6% dans les biens de consommation (ameublement, vêtements, chaussures).



Consommation 2008 en Million de Tonnes

Figure I- 12. Les pourcentages par domaine d'application des matières plastiques

Tableau I- 5. Caractéristiques des principales matières plastiques

Principales matières plastiques																		
	symbole	(1) aspect	densité	températures limitées (°C)	caractéristiques mécaniques				résistance chimique				(3) exemples d'emploi					
					R _r (daN/mm ²)	E (daN/mm ²)	A% chocs IZOD entallés	acides		bases alcalis		(2) solvants		(2) huiles	(2) usage	(2) moulage		
								(2) forts	(2) faibles	(2) forts	(2) faibles							
								(2) ne casse pas	(2) pas	(2) B	(2) S							
thermoplastiques	polyéthylène basse densité	PE-LD	TRL-OQ	0,92	100	0,5-3	20-40	200-600	ne casse pas	F	B	B	B	B	B	B	1 2	
	polyéthylène haute densité	PE-HP	TRL-OQ	0,96	120	2-4	80-180	20-80	F	B	B	B	B	B	B	B	3 4	
	polypropylène	PP	TRP-OQ	0,91	130	3-7	140-200	250-600	7-25	F	B	B	B	B	B	B	1 3 6	
	polychlorure de vinyle	PVC	rigide	TRP-OQ	1,38	70	4-6	150-350	5-80	2-100	B	B	B	B	S	B	B	1 3
			souple	TRP-OQ	1,20	70	1-3	1-4	150-450									
	polystyrène	PS	TRL-OQ	1,05	80	3-7	200-320	5-75	3-20	F	B	B	B	S	B	F	B	1 2 5
	ABS*	ABS	TRL-OQ	1,10	110	3-6	200-250	10-50	10-50	F	B	B	B	S	B	B	F	1 2 3
	poly (méthacrylate de méthyle)	PMMA	TRP-OQ	1,20	85	5-9	220-320	4-10	2-3	F	B	S	F	F	B	B	S	2 3 5 6
	acétate de cellulose	CA	TRP-OQ	1,30	90	3-6	80-250	20-50	6-45	S	F	F	F		B	B	B	1 2 3 5
	polyamide	PA	TRP-OQ	1,15	160	5-10	90-280	15-300	3-50	S	B	B	B	B	B	B	B	1 3 4
	polycarbonate	PC	TRP-OQ	1,20	130	5-7	240-280	80-120	65-100	F	B	S	F	F	B	B	B	1 2 5
	polyoxyméthylène	POM	TRL-OQ	1,40	90	6-7	300	35-75	5-15	S	B	F	F	B	B	B	B	1 3 4
polytétrafluoroéthylène	PTFE	OQ	2,20	+260 -200	2-4	35-80	250-500	16	B	B	B	B	B	B	B	B	4 6	
thermodurcissables	phénoplastes**	PF	TRP-OQ	1,3	190	3-6	270-800	1-3		S	F	S	S	S		B	B	1 2
	polyesters	UP	TRP-OQ	1,2	190	5-15	280-400	1-3	8-100	S	F	S	F	F		F	B	2 3
	polyépoxydes	EP	TRL-OQ	1,5	280	2-12	250-400	2-15	2-50	F	B	F	B	B	B	B	B	2 3 6
	polyimides	PI		1,6	250	2-10	250-500	2-10		B	B	B	B	B	B	B	B	1 7
	silicones	SI	OQ	1-2	230	2-5	350-800	1-5		F	B	F	F	F	F	F	B	7

(1) TRL : translucide
TRP : transparent
OQ : opaque

(2) B : bon
F : faible à moyen
S : mauvais (soluble)

(3) ① : pièces mécaniques (engrenages, cames, rotors)
② : petits carters, boîtiers, jouets, petit outillage
③ : grands bâtis, cuves, containers, réservoirs, coques
④ : pièces de frottement (coussinets, paliers, glissières)
⑤ : pièces pour l'optique (vitres, luminaires, diffuseurs)
⑥ : applications chimiques, thermiques
⑦ : enrobage, étanchéité, isolant

* acrylonitrile styrène acrylate
** résine phénol formaldéhyde

Tableau I- 6. Désignation des matières plastique

Abréviation	Nom du matériau	Abréviation	Nom du matériau
ABAK	Acrylonitrile-butadiène-acrylate	PEI	Polyétherimide
ABS	Acrylonitrile-butadiène-styrène	PEK	Polyéthercétone
ACS	Acrylonitrile-polyéthylène chloré-styrène	PEKEKK	Polyéthercétoneéthercétonecé
AEPDS	Acrylonitrile/éthylène-propylène-	PEKK	Polyéthercétonecétone
AMMA	Acrylonitrile-méthacrylate de méthyle	PEOX	Poly(oxyde d'éthylène)
ASA	Acrylonitrile-styrène-acrylate	PES	Polyéthersulfone
CA	Acétate de cellulose	PESTUR	Polyester-uréthane
CAB	Acétobutyrate de cellulose	PET	Poly(éthylène téréphtalate)
CAP	Acétopropionate de cellulose	PEUR	Polyéther-uréthane
CF	Crésol-formaldéhyde	PF	Phénol-formaldéhyde
CMC	Carboxyméthylcellulose	PFA	Polymère perfluoro alcoyl
CN	Nitrate de cellulose	PFEP	Perfluoro(éthylène-propylène)
CP	Propionate de cellulose	PI	Polyimide
CSF	Caséine-formaldéhyde	PIB	Polyisobutylène
CTA	Triacétate de cellulose	PIR	Polyisocyanurate
EC	Éthyl cellulose	PMI	Polyméthacrylimide
EEAK	Éthylène-acrylate d'éthyle	PMMA	Poly(méthacrylate de méthyle)
EMA	Éthylène-acide méthacrylique	PMMI	Poly(N-méthyl méthacrylimide)
EP	Époxyde, époxy	PMP	Poly(méthyl-4 pentène-1)
E/P	Éthylène-propylène	PMS	Poly- α -méthylstyrène
ETFE	Éthylène-tétrafluoroéthylène	POM	Poly(oxyméthylène),
EVAC	Éthylène-acétate de vinyle	PP	Polypropylène
EVOH	Éthylène-alcool vinylique	PPE	Poly(phénylène éther)
FF	Furanne-formaldéhyde	PPOX	Poly(oxyde de propylène)
LCP	Polymère à cristaux liquides	PPS	Poly(sulfure de phénylène)
MBS	Méthacrylate-butadiène-styrène	PPSU	Poly(phénylène sulfone)
MC	Méthyl cellulose	PS	Polystyrène
MF	Mélaamine-formaldéhyde	PSU	Polysulfone
MMABS	Méthylméthacrylate-acrylonitrile-	PTFE	Polytétrafluoroéthylène
MPF	Mélaamine-phénol-formaldéhyde	PUR	Polyuréthane
PA	Polyamide	PVAC	Poly(acétate de vinyle)
PAEK	Polyacryléthercétone	PVAL	Poly(alcool vinylique)
PAI	Polyamidimide	PVB	Poly(butyril de vinyle)
PAK	Polyacrylate	PVC	Poly(chlorure de vinyle)
PAN	Polyacrylonitrile	PVDC	Poly(chlorure de vinylidène)
PAR	Polyarylate	PVDF	Poly(fluorure de vinylidène)
PB	Polybutène	PVF	Poly(fluorure de vinyle)
PBAK	Poly(butyl acrylate)	PVFM	Poly(formal de vinyle)
PBT	Poly(butylène téréphtalate)	PVK	Poly(carbazole de vinyle)
PC	Polycarbonate	PVP	Poly(vinylpyrrolidone)
PCTFE	Polychlorotrifluoroéthylène	SAN	Styrène-acrylonitrile
PDAP	Poly(phtalate de diallyle)	SB	Styrène-butadiène
PDCPD	Polydicyclopentadiène	SI	Silicone
PE	Polyéthylène	SMAH	Styrène-anhydride maléique
PEBA	Poly(éther bloc amide)	SMS	Styrène- α -méthylstyrène
PEEK	Polyétheréthercétone	UF	Urée-formaldéhyde
PEEKK	Polyétheréthercétonecétone	UP	Polyester insaturé
PEEST	Polyétherester	VCE	Chlorure de vinyle-éthylène