



MEC 3430 – Matériaux Polymères

□ INTRODUCTION et Chapitre 1 : POLYMÈRES ET ADDITIFS





Présentation

- Équipe d'enseignement
- Objectifs
- Description sommaire
- Structure du cours et évaluation
- Introduction aux matériaux polymères
- Chapitre 1





Équipe d'enseignement

Coordonnateur: Professeur Rachid Boukhili

Séances 1 à 4

Chargé de cours groupe : Djebbar Ait Messaoud

Séance 5 à 13

Responsable des TD et TP: Ennajimi Elmekki





Objectifs du cours

- Faire connaître le vocabulaire propre au domaine ainsi que les principales caractéristiques des plastiques, des élastomères et des composites

- Faire découvrir les bases du comportement mécanique de ces matériaux

- Rendre l'étudiant apte à choisir le bon matériau pour une application donnée et utiliser les méthodes de design propres à ces matériaux

- Donner un aperçu des principaux procédés de transformation de façon à pouvoir faire un bon choix pour une application donnée (Présentation de trois vidéo).





Description du cours

□ Introduction:

Histoire du développement des matériaux polymères. Polymères comme matériaux d'ingénieur, principaux domaines d'utilisation.

□ Polymères et leurs additifs:

Terminologie. Masse moléculaire et son importance. État physique (vitreux, caoutchouteux, semi-cristallin).

Température de transition. Orientation. Principaux additifs et leur rôle. Effet de charges et de renforts sur la rigidité.

Loi des mélanges, orientation des fibres.





Description du cours

□ Plastiques:

Types (amorphes vs semi-cristallin, thermoplastique vs thermodurcissables). Principaux plastiques commerciaux. Propriétés. Comportement des plastiques à long terme: essais de fluage et de relaxation. Résistance à la fatigue. Design: critère de sélection. Méthode de design pseudo-élastique et exemples d'application.

□ Éléments de viscoélasticité:

Fonctions viscoélastiques. Nombre de Déborah. Corps rhéologique. Étude phénoménologique des comportements viscoélastiques et présentation de modèles simples. Complaisance de fluage, module de conservation et de perte. Dissipation de l'énergie de déformation dans un matériau viscoélastique.





Description du cours

□ Élastomères:

Type (réticulés et thermoplastiques), principaux élastomères industriels, formulation. Comportement mécanique, fonction de travail, déformation uniaxiale, biaxiale, en cisaillement, équation de Mooney-Rivlin. Application pour sollicitations simples: compression, torsion, cisaillement.

□ Procédés de fabrication:

Discussion des procédés disponibles en fonction du matériau, de la taille, de la forme et de la quantité de pièces à fabriquer.





Structure du cours

□ Description:

- Cours de 3 crédits
- 3 heures de cours et 2 heures de labo (TD et TP) par semaine

□ Évaluation:

- 1 contrôle périodique (30%) →
- 1 examen final (35%)
- TD et TP (35%)

Voir sur Moodle la répartition du cours, TD et TP





Préalable: Matériaux (MTR1000-2000)

- Atomes, molécules et liaisons chimiques

- Terminologie « chimique »

- Résistance des matériaux
 - Loi de Hooke, rupture





Références

- Notes de cours disponibles à la Coopoly:
 - « Matériaux polymères »

- Notes de cours disponibles au fur et à mesure sur Moodle





Comment étudier ?

- Diapos sur Moodle et notes de cours
- Consultations avec le Professeur et le chargé de cours





introduction

- Importance des matériaux polymères
- Bref survol historique
- Les principaux polymères
- Les principaux procédés de transformation (vidéo)





Importance des polymères

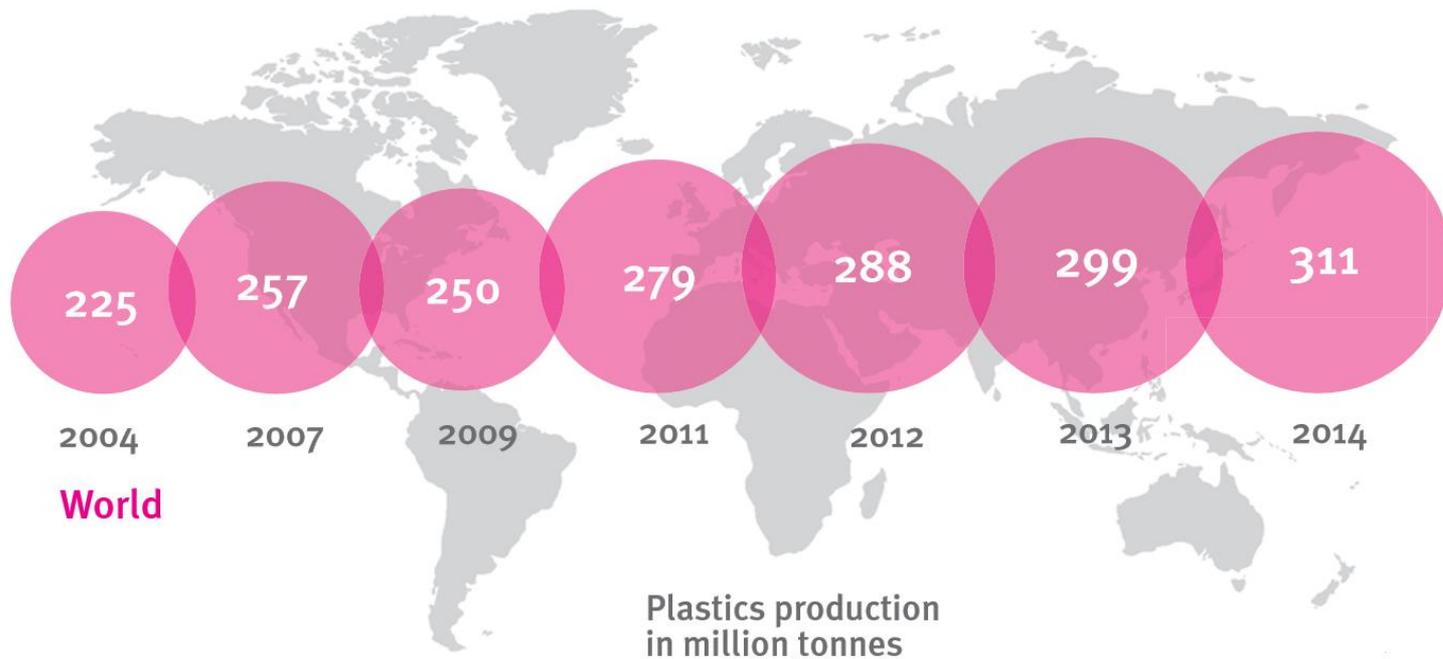
- Pourquoi s'intéresser aux polymères dans une formation en génie mécanique?
- Les plastiques, élastomères et composites forment la classe de matériaux (fabriqués) la plus utilisée en volume aujourd'hui.





Historique

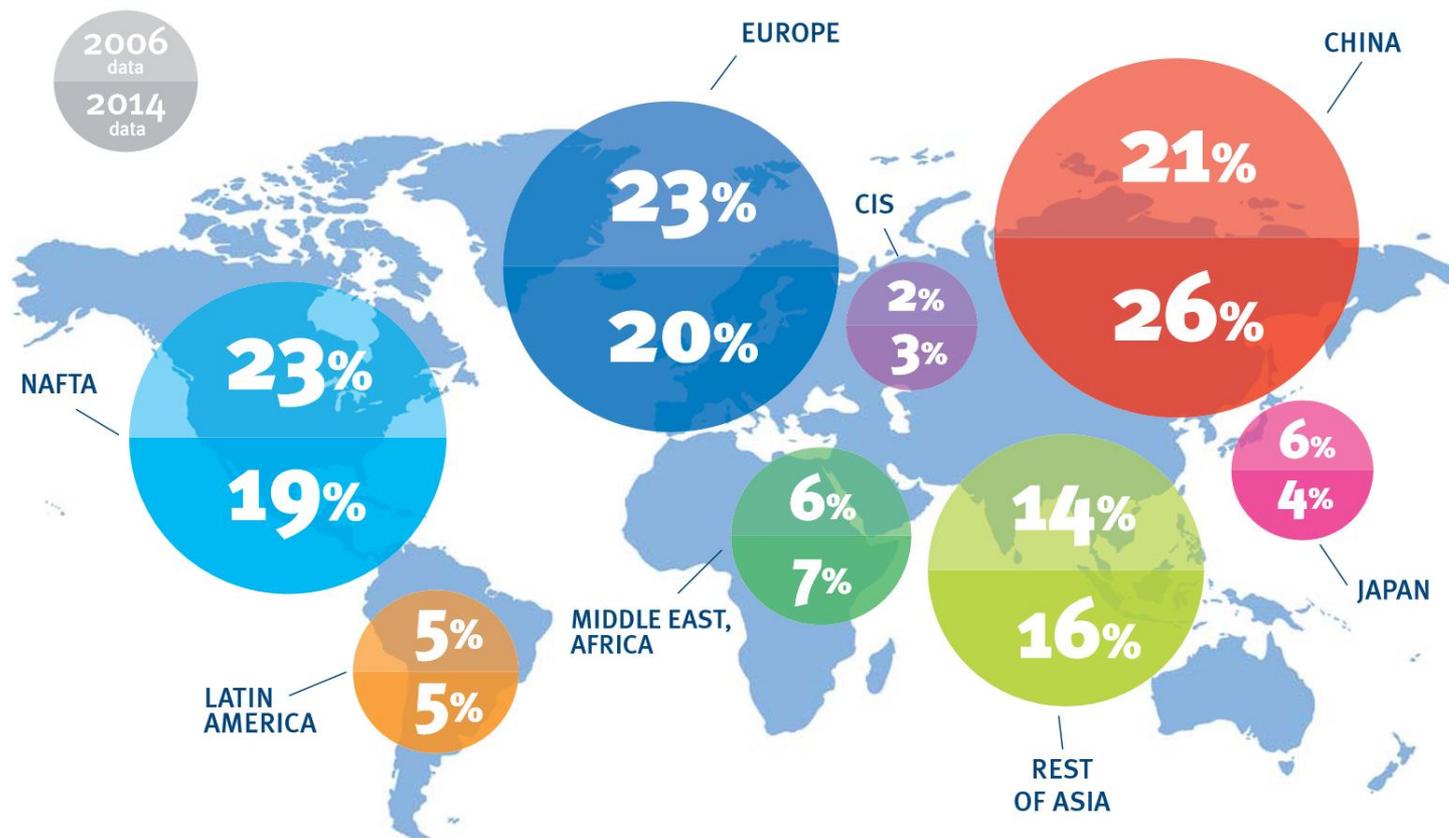
- Pourquoi étudier ces matériaux?
 - Utilisation croissante dans l'industrie!!





Industrie importante dans le monde

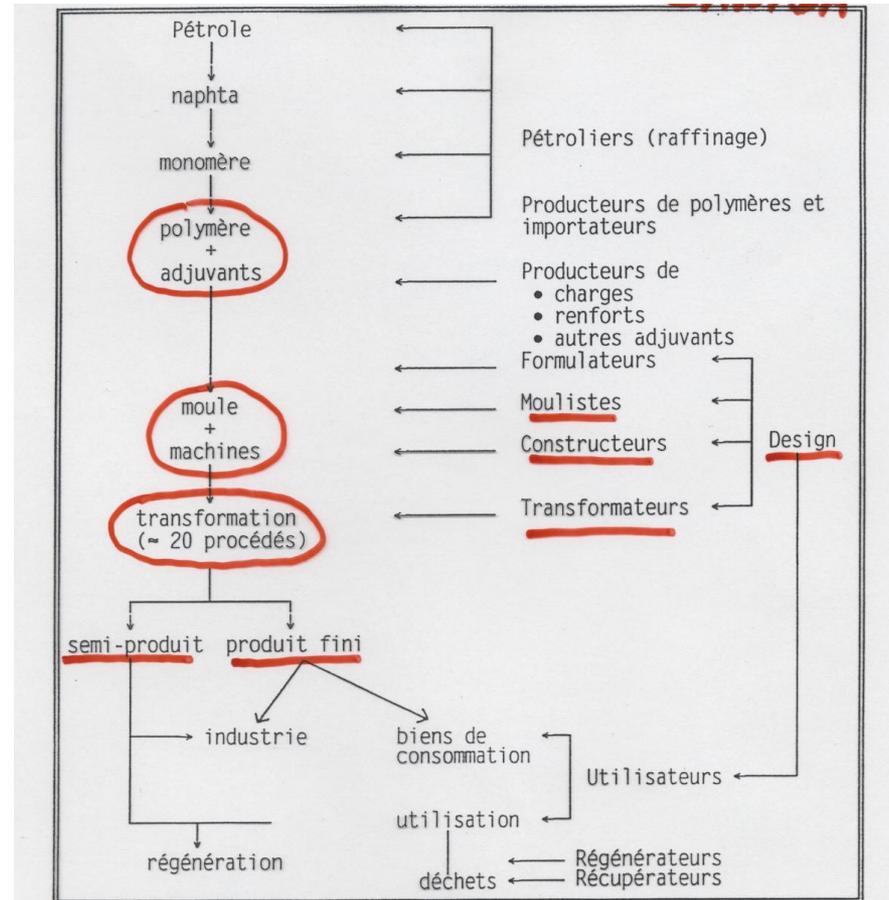
China is the largest producer of plastics materials*, followed by Europe





Industrie importante au Canada

- Environ 150 000 emplois au Canada dans divers secteurs allant de la fabrication de la matière première aux fabricants de moules et machines ainsi qu'aux transformateurs.





Importance d'un cours sur les matériaux polymères

- La majorité des notions fondamentales acquises dans la formation d'ingénieur en mécanique sont illustrées à partir d'exemples basés sur des matériaux métalliques avec des hypothèses de départ relatives à ces matériaux et qui ne sont pas toujours vérifiables pour les matériaux plastiques.
- Lors de la conception de pièces avec ces matériaux, les critères de design utilisés peuvent être complètement différents de ceux utilisés pour les métaux.





Quelques définitions

Un polymère est une substance composée de longues chaînes moléculaires appelées **macromolécules**.

Une macromolécule résulte de l'enchaînement par liaison covalente, **d'unités constitutives** (ou groupe d'atomes) appelées 'meres' (provenant du grec 'meros' qui signifie partie)

Par exemple, dans la macromolécule suivante:



A est l'unité constitutive. Elle est formée d'un groupe d'atomes qui se répète





Quelques définitions

- Polymères naturels...
 - Bois (cellulose), laque de sécrétion d'insecte, coton, cuir, cartilage, amidon, résine d'arbre, ADN etc..

- Polymères semi-synthétiques...
 - Basés sur des produits naturels qui ont subi une transformation.

- Polymères synthétiques
 - Produits entièrement synthétisés en laboratoire dans le but d'atteindre des propriétés spécifiques.





Avantage des polymères

- La matière plastique offre beaucoup d'avantages comparativement à d'autres matériaux. Son utilisation permet non seulement de réduire les coûts et d'accroître les rendements des produits, mais aussi de contribuer au développement durable, comme le démontrent les exemples suivants:

- **Pièces pour véhicules automobiles:**
La matière plastique est de plus en plus utilisée dans l'industrie de l'automobile, dans des applications allant des panneaux de carrosserie aux pièces de compartiment moteur et du tableau de bord. La substitution du métal à la matière plastique permet d'alléger les véhicules et de réduire la consommation d'essence, ce qui contribue à la conservation du pétrole et à la réduction des émissions de gaz d'échappement.





Avantage des polymères

□ Emballage:

La matière plastique permet de créer avec le rendement voulu des emballages plus légers et moins volumineux que le verre, le métal ou le papier. Le poids et le volume du produit final, étant réduits, cela contribue à la conservation de l'énergie pendant le transport.

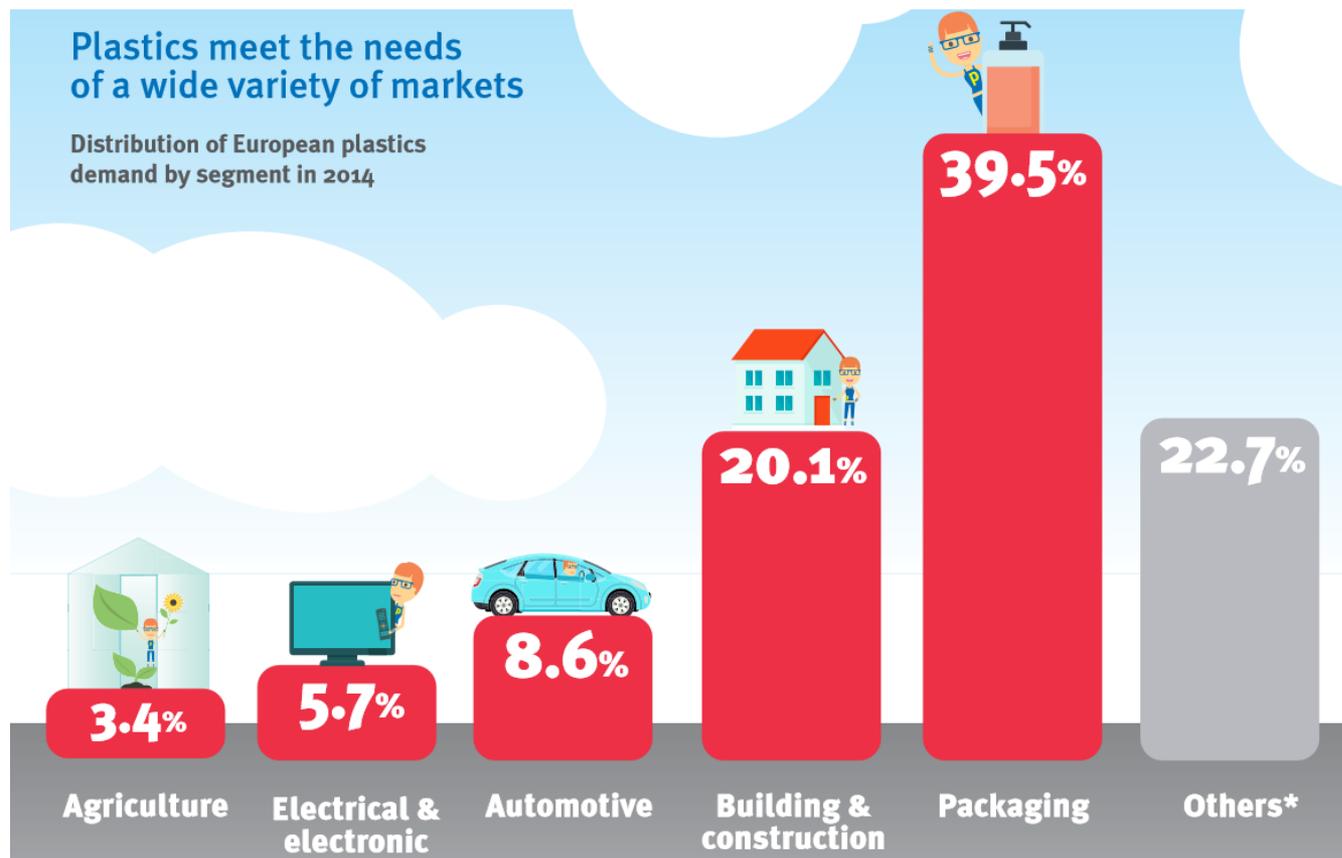
□ Articles de construction:

Les fenêtres et les portes de PVC n'ont pas besoin d'être peintes. Les émanations de solvants des peintures sont donc réduites. L'efficacité thermique des constructions est aussi améliorée, ce qui réduit la quantité d'énergie consommée pour le chauffage et la climatisation.





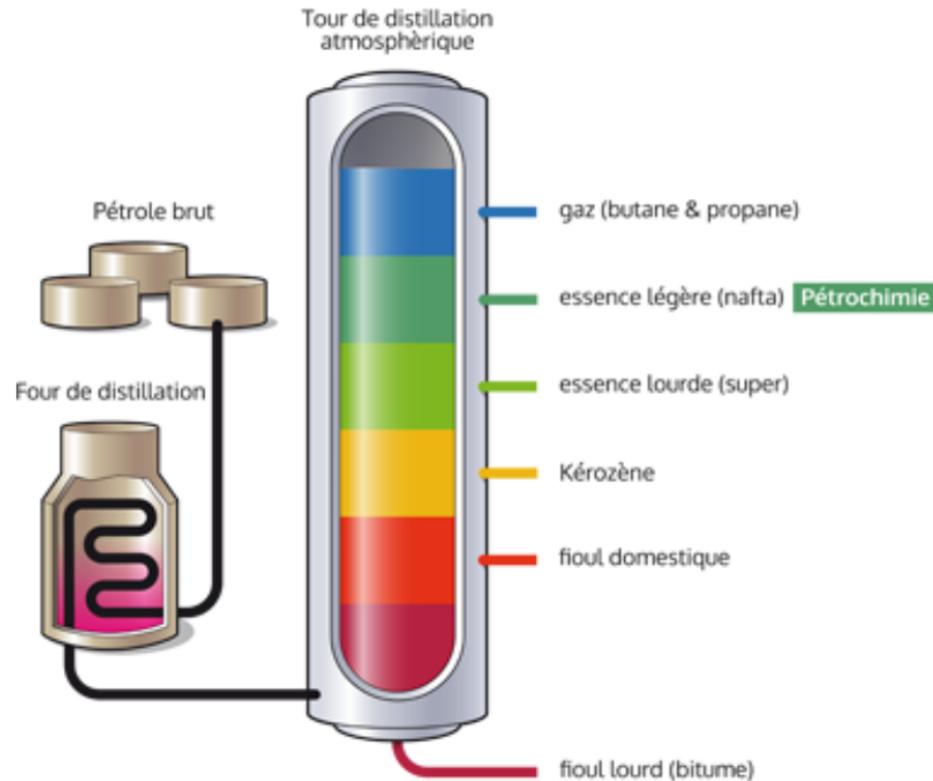
Marché de l'utilisation finale





Pétrole vs plastique

- Un faible pourcentage des ressources pétrolières (4 à 6 %) est utilisé pour la fabrication de polymères





Historique

In 1863: \$10000 prize offered by the **Phelan and Collander Company** for a new synthetic material to make **billiard balls**





Historique

- 1869: Les frères Hyatt inventent le celluloïd (par nitration de la cellulose du bois puis mélange à chaud avec du camphre).

Application: prothèse dentaire, touches de piano, poignée de couteaux, bijoux, colliers et manches de chemise, touches de piano. etc...

Problème d'inflammabilité: 39 explosions et incendies en 36 ans



Figure 2-5 Celluloid baby rattles show the intricate detail that could be molded into decorative and functional articles. These doll-like figures, precursors of the famed Kewpie doll, were among the first plastic products (circa 1890) to be made by the Hyatt blow-molding technique.





Historique

- 1890: Pellicule pour photos et films





Historique

Le concept de macromolécule a été formulé au début du 20^{ième} siècle par le chimiste allemand Staudinger (Prix Nobel de chimie en 1953).

□ Les polymères ne datent pas d'hier

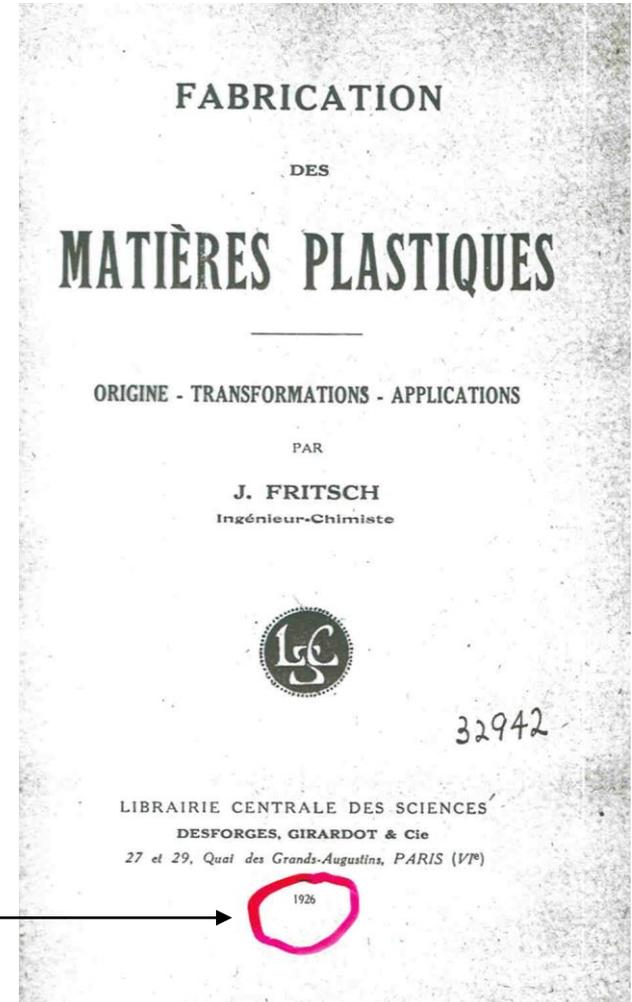
■ Réelle émergence:

1920-1930

■ Fort développement:

À partir de la deuxième guerre mondiale

1926 !!





Historique

En 1935 : Synthèse du nylon par Wallace Hume Carothers –chimiste américain de la compagnie Du Pont de Nemours.

Commercialisé pour la première fois sous la forme d'une brosse à dent dont les poils étaient en nylon.

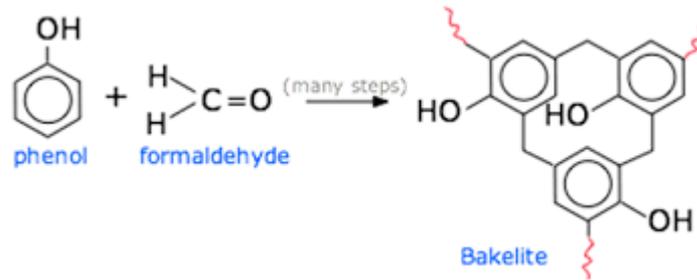
Actuellement grande utilisation dans l'automobile.





Historique

- 1907: Découverte de la Bakélite par le chimiste Baekeland



Premier polymère thermodurcissable complètement synthétique à être commercialisé

- 1910: production industrielle de la bakélite





Historique

Utilisation de la bakélite



Figure 5-7 These early Bakelite parts were made between 1909 and 1921. The distributor (upper right) was used in the World War I Liberty Motors; the Edison record was molded in 1912.





Historique

- 1940: Démonstration par Ford du potentiel des plastiques pour la résistance aux impacts.





Historique

- 1953: La corvette est produite en série « The plastic car »
 - Utilisation de résine polyester et de fibres de verre

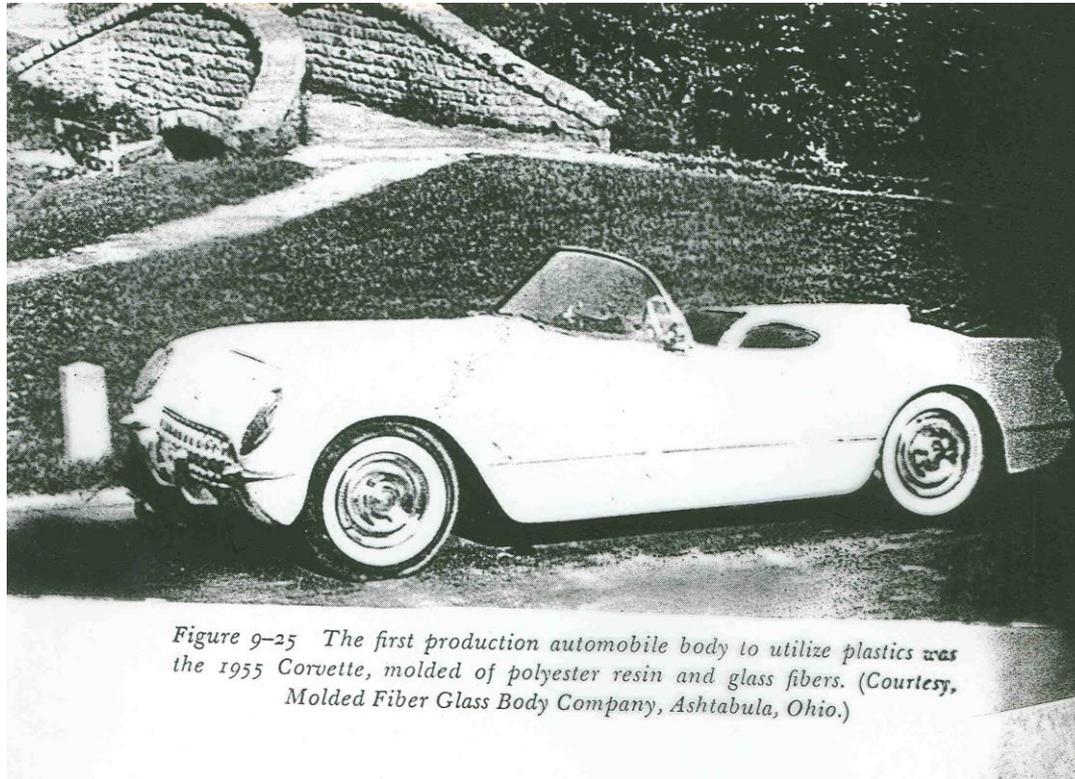


Figure 9-25 The first production automobile body to utilize plastics was the 1955 Corvette, molded of polyester resin and glass fibers. (Courtesy, Molded Fiber Glass Body Company, Ashtabula, Ohio.)





Historique

L'arrivée du HDPE (1953 – chimiste allemand Ziegler) a entraîné l'augmentation de l'utilisation du procédé d'extrusion-soufflage pour la fabrication de bouteilles et de réservoir d'essence.

Figure 8-45 High-density polyethylene solved the packaging problem for the bleaches and detergents and tremendously expanded the market for blow-molded bottles.

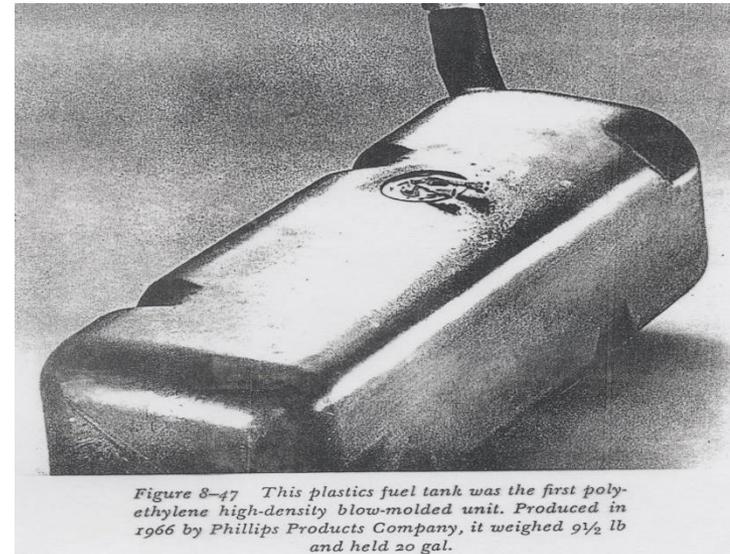


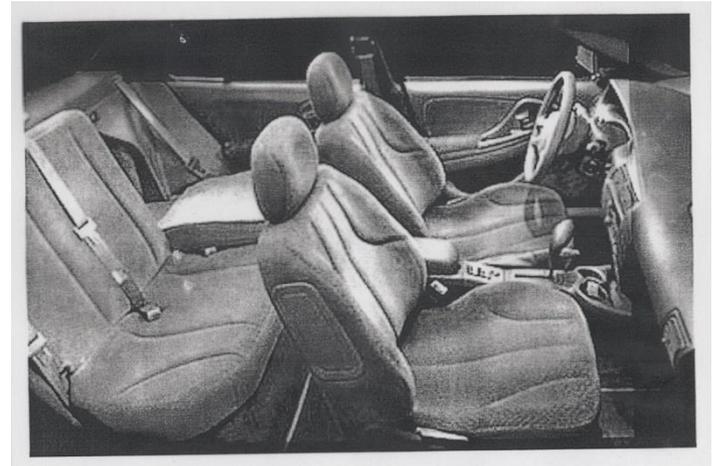
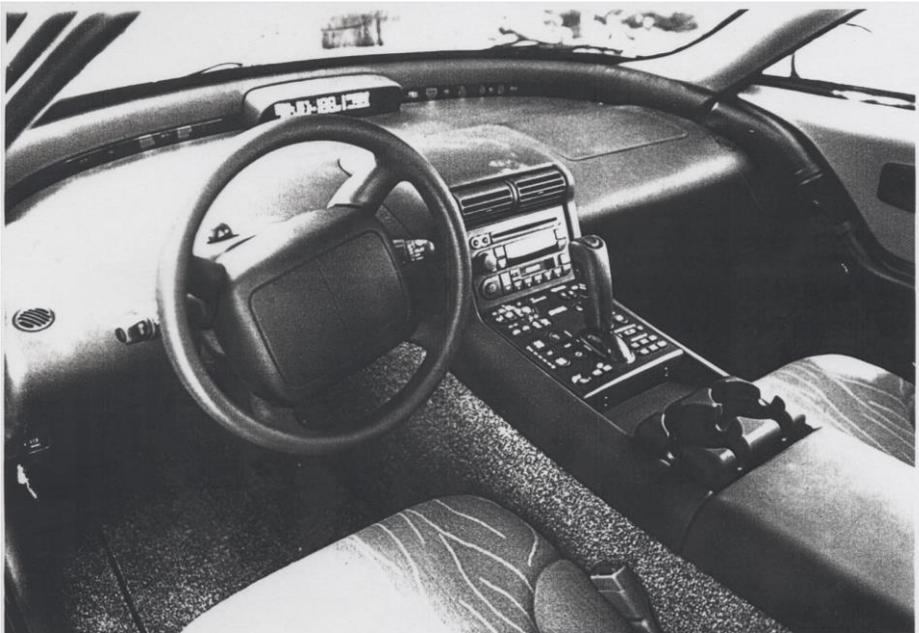
Figure 8-47 This plastics fuel tank was the first polyethylene high-density blow-molded unit. Produced in 1966 by Phillips Products Company, it weighed 9½ lb and held 20 gal.





Utilisation

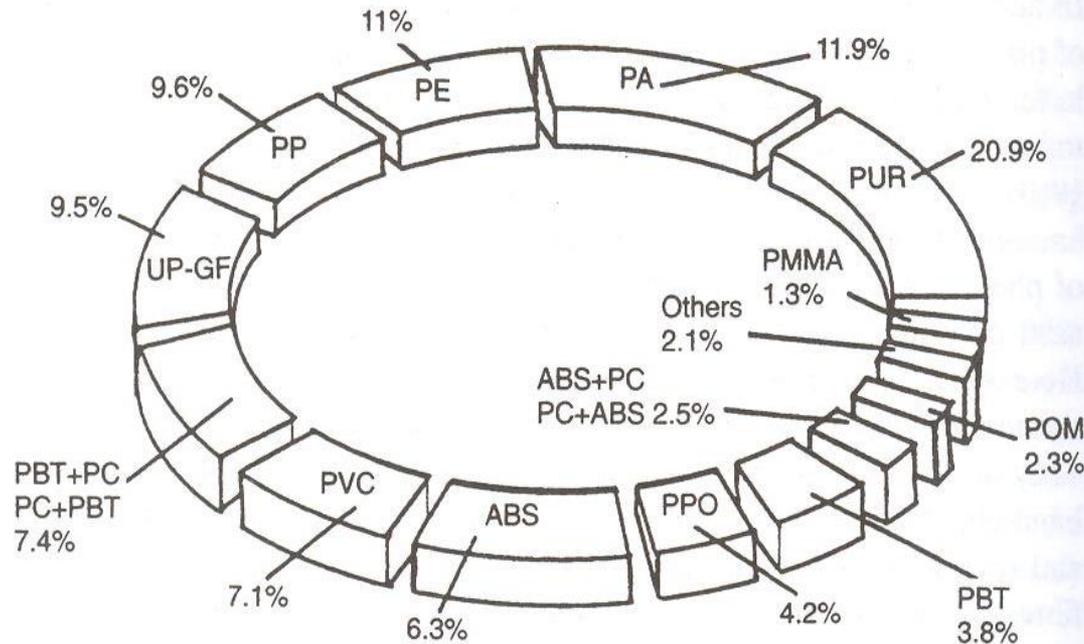
- Les polymères sont maintenant utilisés presque partout dans l'automobile





Utilisation

plastics used in the BMW 5 series are shown in Figure 0.4: they constitute 10% of the vehicle's mass: 149 kg comprising 13 major types of plastics, in order of application:



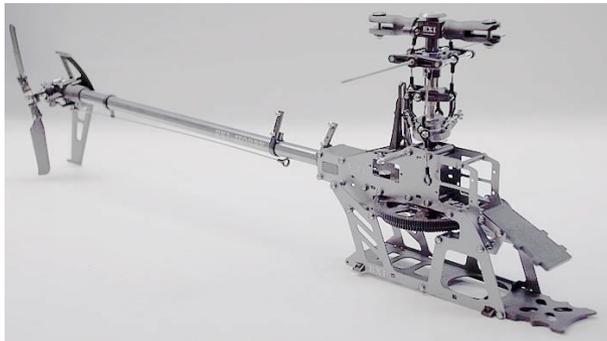
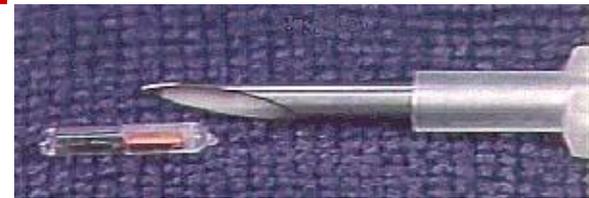
0.4 How the cookie crumbles: plastics use in the BMW 5 series. For the key to the symbols (PP = polypropylene, etc.) see 0.N.1.

- 58% à l'intérieur
- 27% à l'extérieur
- 8% dans le châssis
- 7% dans le moteur





Utilisation





Principaux polymères

Trois grandes familles de polymères. Les thermoplastiques, les thermodurcissables et les élastomères

- Thermoplastiques (semi cristallins et amorphes)
 - Ils peuvent être « ramollis » par chauffage
 - Ils peuvent être mis en forme dans des moules lorsqu'ils sont à l'état « ramollis »
 - Ils ne peuvent atteindre l'état gazeux, ils se dégradent avant d'atteindre cet état.
 - Ils sont disponibles sous forme de granules, de feuilles ou de poudre.
 - Quelques exemples: polyéthylène (PE), polycarbonate (PC), Polystyrène (PS) , polychlorure de vinyle (PVC), etc...

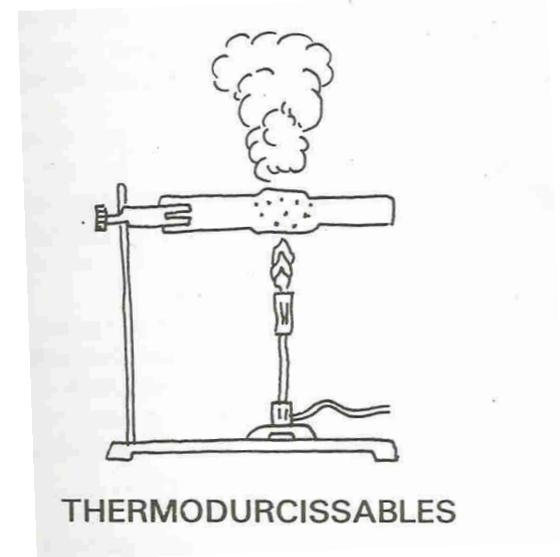




Principaux polymères

□ Thermodurcissables

- Une fois durcis et moulés, il n'est plus possible de les chauffer pour les former à nouveau car ils se dégradent.
- Pour être moulés, ils se forment sous forme de semi-produits
 - Résine + catalyseur



- Quelques exemples: polyester insaturé (UP), époxy, Phénolique





Principaux polymères

□ Élastomères (du mot élastique et polymère)

- Quelques exemples: Caoutchouc naturel et synthétique, polybutadiène, polychloroprène, EPDM





Principaux procédés de transformation

- Extrusion
 - Coextrusion (2 PVC flexible/rigide)
 - Extrusion-gonflage (sacs)

- Moulage par injection
(bouchons, couvercles, etc.)

- Extrusion-soufflage
(bouteilles)





Principaux procédés de transformation

- Moulage par compression
Thermodurcissable (plateaux, etc.)

- Rotomoulage
Réservoirs

- Thermoformage





Projection d'une vidéo

« Techniques de fabrication des plastiques »





Chapitre 1

Polymères et leurs additifs:

Terminologie. Masse moléculaire et son importance. État physique (vitreux, caoutchouteux, semi-cristallin). Température de transition. Orientation. Principaux additifs et leur rôle. Effet de charges et de renforts sur la rigidité. Loi des mélanges, orientation des fibres.





Rappels

1.1 Matériaux

- Métaux et alliages
- Céramiques et verres
- Polymères organiques
- Composites

1.2 Organisation de la matière

- Gazeux, Liquide, Solide

1.3 Nature des polymères organiques

- Polymères linéaires
- Polymères ramifiés et tridimensionnels





Matériaux

- ❑ Les propriétés des matériaux sont en grande partie déterminées par la nature des liaisons chimiques entre les atomes
 - ❑ Métaux et alliages
 - ❑ Céramiques et verres
 - ❑ Polymères organiques
 - ❑ Composites





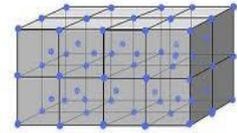
Métaux

- Caractéristiques générales
 - Opagues et brillants
 - Conducteurs
 - Modules élevés
 - Ductiles et dures
 - Peu résistants à la corrosion



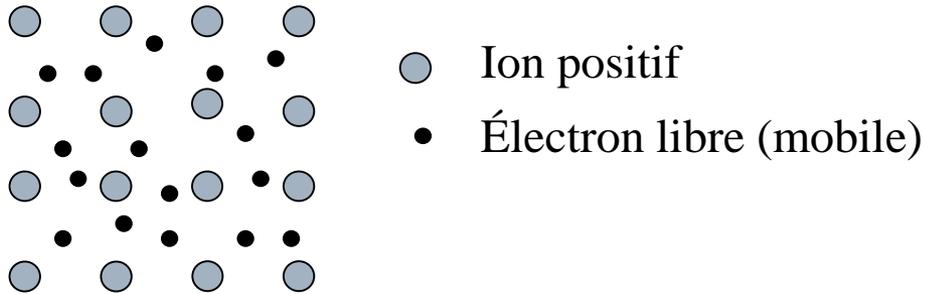


Métaux



crystal de fer: en bleu les ions Fe⁺, en gris le nuage électronique

- Principalement utilisés sous forme d'alliage
- Propriétés des métaux proviennent des liaisons métalliques



- ✓ Liaisons fortes et isotropes (agit de manière identique dans toutes les directions)
- Applications:
 - Construction (poutres, etc.)
 - Conductivités électrique et thermique
 - Automobile
 - Aéronautique





Céramiques

Matériaux inorganiques (ni organiques ni métalliques) et de nature chimique très variée

Composés formés d'atomes métalliques et d'un élément métalloïde

- Oxydes (Al_2O_3 , BeO , SiO_2)
- Nitrures (BN , AlN , ..)
- Carbures (UC , TiC , ..)
- Borures
- Sulfures

Propriétés proviennent des liaisons (fortes):

- Ioniques (+) A : B (-)
- Covalentes A : B
- ✓ Pas d'électrons libres: mauvais conducteurs





Céramiques

- Caractéristiques générales
 - Modules élevés – Dures
 - Fragiles
 - Résistance à l'abrasion
 - Température d'utilisation élevée ($\text{SiO}_2 = 1700\text{ °C}$, $\text{HfC} = 3950\text{ °C}$)
 - Stabilité dimensionnelle
 - Légèreté ($\text{SiO}_2 = 2\text{ g/cm}^3$, $\text{ZrO}_2 = 5.8\text{ g/cm}^3$)





Céramiques

- Applications:
 - Construction (béton, verre, etc.)
 - Outils de coupe
 - Médicale (prothèse de hanche)
 - Isolation (four de hautes températures)
 - Arts (porcelaine)





Polymères organiques

- Caractéristiques générales:
 - Modules faibles
 - Valeurs typiques: 0,001 – 3 GPa
 - Valeurs extrêmes 0 – 100 GPa
 - Modules varient avec la température
 - Conductivité thermique faible
 - Conductivité électrique presque nulle
 - Résistance à la corrosion
 - Grandes déformations réversibles (~100%)
 - Aucun ne présente de résistance intéressante à $T > 200^{\circ}\text{C}$
 - Faciles à mettre en **forme**





Polymères organiques

- Applications
 - Emballage
 - Construction
 - Automobile
 - Jouets
 - Fibres synthétiques
 - Peintures
 - Colles
 - Etc.

