



# **PHYSIQUE DES MATÉRIAUX : PARTIE POLYMÈRES**

**1**

**Pr. J. Lecomte-Beckers**

**Chapitre 1 : Introduction**

# PHYSIQUE DES MATÉRIAUX : PARTIE POLYMÈRES

- Pr. Jacqueline Lecomte-Beckers

Département A&M

Service de Sciences de Matériaux Métalliques

Bat. B52/3 +2/411 – [jacqueline.lecomte@ulg.ac.be](mailto:jacqueline.lecomte@ulg.ac.be)

04/366.9193

- Henri-Michel Montrieux

Assistant Département A&M

Organisation & Présentation des labos/TP

Bat. B52/3 +2/413 – [hmmontrieux@ulg.ac.be](mailto:hmmontrieux@ulg.ac.be)

04/366.9156

# PHYSIQUE DES MATÉRIAUX : PARTIE POLYMÈRES

- Travaux pratiques (obligatoire)

Lundi 5 octobre à 8h

ou

Mercredi 7 octobre à 13h30

Rappels théoriques le jeudi 1 octobre 2009 à 16h30 lors du  
cours ex-cathedra (Bat. B37 S39)

Evaluation sur base du rapport à rendre pour le 12 novembre  
(par groupe de 4)

- Examen oral en janvier 2010

Combiné avec la partie métaux (50/50%)

Labo : 20%

Théorie & applications : 80%

# PHYSIQUE DES MATÉRIAUX : PARTIE POLYMÈRES

- Notes de cours

Disponibles au laboratoire de Sciences des Matériaux  
Métalliques (B52 0/719)

Partie Polymères : 10€

Partie Métaux : 15€

- Diapositives

[www.metaux.ulg.ac.be](http://www.metaux.ulg.ac.be) section Enseignement

# CHAPITRE 1 : INTRODUCTION

## ○ 1.1 Historique et perspectives

Les matériaux polymères « plastiques » ont eu et reprennent de l'importance sur l'échelle du temps des matériaux exploités par l'homme.

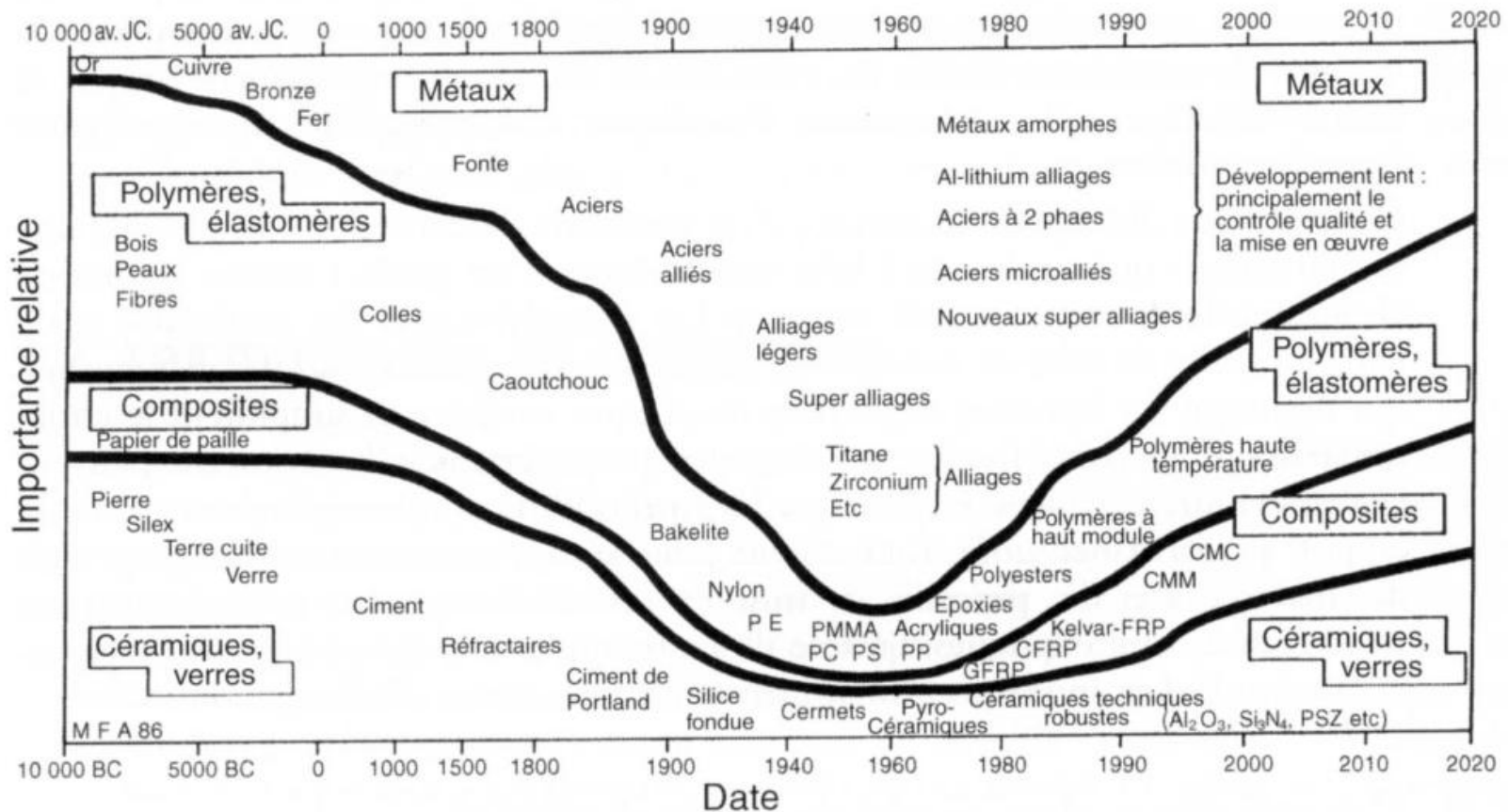
Les matériaux polymères sont utilisés depuis l'Antiquité sous des formes essentiellement naturelles (bois, peaux, fibres) qui ont été supplantées par les matériaux métalliques jusque la moitié du 20<sup>e</sup> siècle.

A partir des années 1930-1960, l'invention du nylon (1935), du polyéthylène (1933), du PMMA (1936), du PC (1953) et du PS (1959) ont contribué à renverser la domination des alliages métalliques.

Depuis les années 80, apparition des composites polymères renforcés par des fibres de verres puis des fibres de carbone ainsi que des polymères à plus haut module et à meilleure résistance à la T°.

# CHAPITRE 1 : INTRODUCTION

## 1.1 Historique et perspectives (suite)



# CHAPITRE 1 : INTRODUCTION

## ○ 1.1 Historique et perspectives (suite)

A l'avenir, le développement des matériaux polymères (et autres) devra se faire dans l'optique d'une gestion durable des ressources.

Le pétrole, comme source de matière première à l'industrie plastique, se raréfie depuis les années 2000. Mais de nouvelles possibilités s'ouvrent notamment avec l'arrivée des matières premières naturelles.

Exemple : sacs en plastique ou couverts jetables à base d'amidon de maïs (contiennent jusqu'à 50 % d'amidon naturel combiné à du PET)



# CHAPITRE 1 : INTRODUCTION

## ○ 1.1 Historique et perspectives (suite)

Les possibilités de recyclage des matériaux polymères à la fin de leur vie constituent un enjeu majeur, en particulier pour les polymères thermodurcissables et ceux qui sont mélangés à un autre matériau comme dans le cas des composites.

Le développement de composites et de plastiques à haute résistance ou aux propriétés particulières, comme les caoutchoucs ou les mousses, permet de prédire que les polymères resteront très probablement nécessaires à la fabrication de machines, d'outils ou de composants fonctionnels en général.

Les polymères sont une classe de matériaux très diversifiée → multiples utilisations

Les propriétés de ces matériaux dépendent très fortement :

- des monomères utilisés pour la polymérisation
- des additifs
- du mode de fabrication (comme c'est le cas pour les autres matériaux aussi)

# CHAPITRE 1 : INTRODUCTION

## ○ 1.2 Secteurs d'intérêt

- Les polymères sont des matériaux qui couvrent une large plage de propriétés (mécaniques, physiques, chimiques et optiques).
- Les ≠ domaines d'applications sont la construction mécanique, la robotique, l'énergétique ou encore l'aéronautique.

<b>Application</b>	<b>Parties en polymère (ou en élastomère)</b>
Automobile	Mousse de pare-choc, finition intérieure, sièges, cache du moteur, garde boue, pneu, poignée de porte, volant, cadrans, réservoir,...
Avion	Sièges, bacs de rangements, roue d'atterrissage, poignées, aménagement du sol, tuyaux de ventilation, gilet de sauvetage, ...
Eolienne	Pâles en composite, isolants, gaine des câbles
Chaîne de montage	Tapis roulant, guides, tuyaux, pièces isolantes, écrans, manettes, ...

- D'autres secteurs comme le génie civil, l'électronique, l'électricité, la physique et la chimie, appliquées utilisent des quantités massives de polymères comme matériau isolant, récipient, d'emballage...

# CHAPITRE 1 : INTRODUCTION

## ○ 1.2 Secteurs d'intérêt (suite)

Le choix des matériaux se fait en concurrence avec les autres classes de matériaux.  
(verres, céramiques, métaux)

Exemple : choix de matériau isolant électrique, léger et bon marché

Ce sont les matériaux polymères comme les mousses ou le PE, le PVC, PS qui sont les mieux classés (meilleur rapport « *résistivité électrique / coût massique, masse volumique* »)



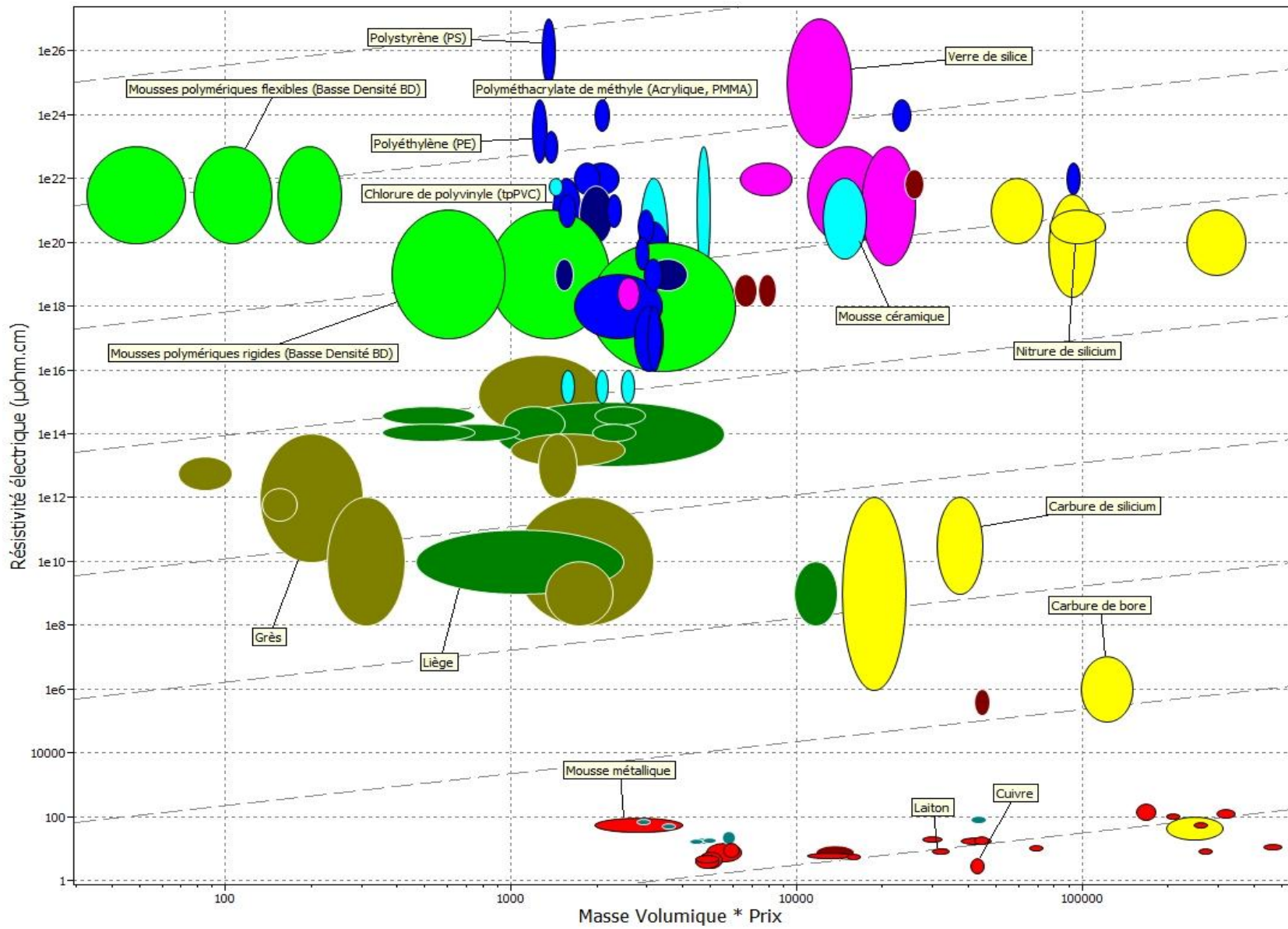
Gaine isolante de câbles coaxiaux sont en PVC, le diélectrique en PE et le feuillard isolant en PET

	<i>Matière</i>
<i>Ame centrale</i>	<i>Cuivre</i>
<i>Diélectrique</i>	<i>Polyéthylène expansé (PE)</i>
<i>Tresse</i>	<i>Aluminium</i>
<i>Feuillard</i>	<i>Polyester (PET)</i>
<i>Gaine</i>	<i>PVC (blanc), PE (noir)</i>

Matériau	Coût massique (€/kg)
PET	1.11-1.22
PE	1.26-1.39
PVC	1.04-1.14
PS	1.23-1.36
PMMA	1.67-1.84
Caoutchouc	2.68-2.95
Alliage d'aluminium	1.77-1.94
Acier allié	0.704-0.774

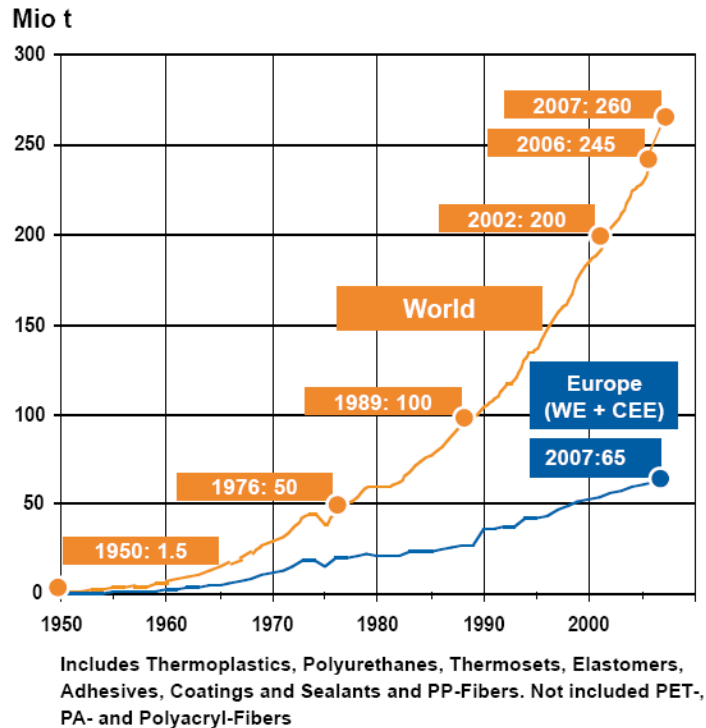
# CHAPITRE 1 : INTRODUCTION

## 1.2 Secteurs d'intérêt (suite)



# CHAPITRE 1 : INTRODUCTION

## ○ 1.3 Quelques chiffres (production)



Source: PlasticEurope Market Research Group (PEMRG)

Production mondiale et européenne de plastiques

- Croissance exponentielle de la production depuis 1950

- L'Europe produit deux fois moins que le reste du monde. Cette tendance s'accroît depuis les années 70 en raison d'une croissance moins forte de la production.

- En 2007, 25% du plastique mondial a été produit en Europe (soit 65 Mt sur 260 Mt)

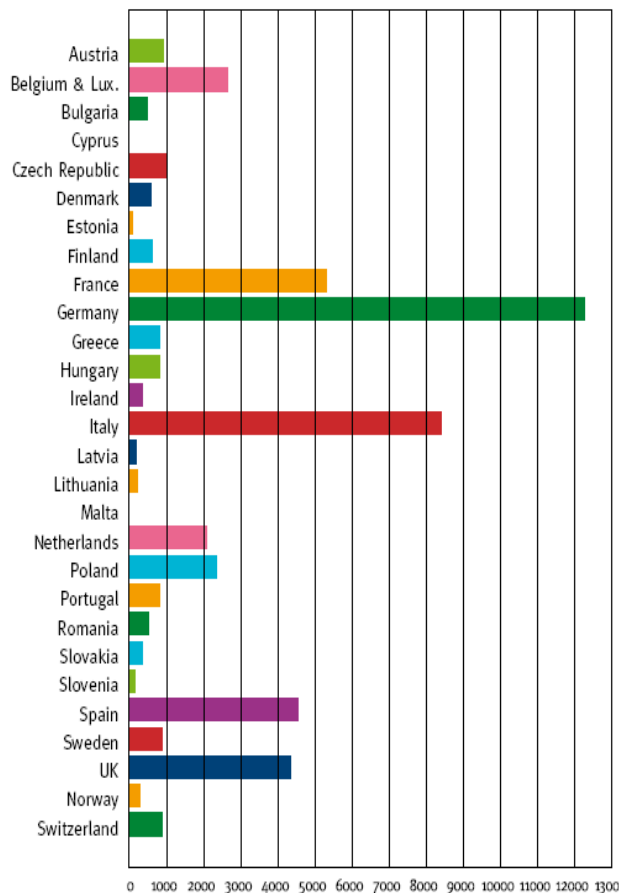
A titre de comparaison (2005) :

- Production mondiale d'acier : 1100 Mt

- Production mondiale d'aluminium : 30 Mt

# CHAPITRE 1 : INTRODUCTION

## ○ 1.3 Quelques chiffres (suite)



Source: PlasticEurope Market Research Group (PEMRG)

- La Belgique et le Luxembourg (regroupés dans les statistiques) se retrouvent à la 6<sup>e</sup> place (2.7 Mt en 2007), devant les Pays-Bas (2.1 Mt) et derrière l'Allemagne (12 Mt).

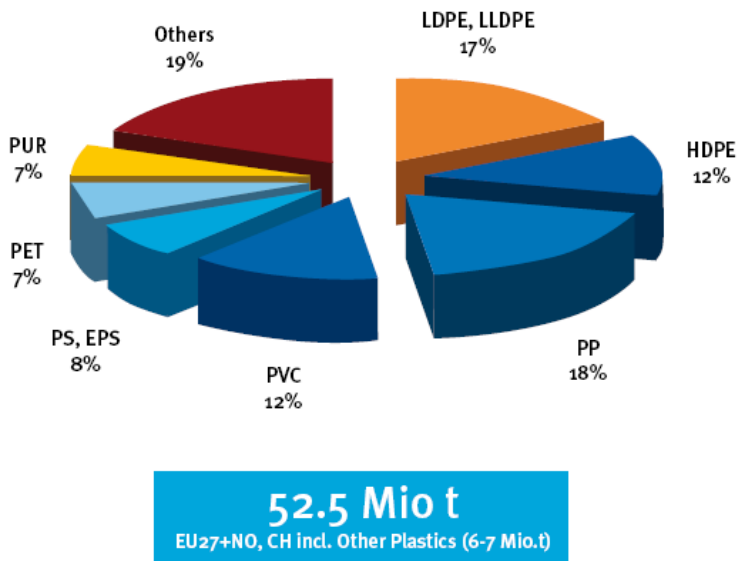
- Les autres leaders européens sont :

- L'Italie : 8.3 Mt
- La France : 5.2 Mt
- L'Espagne : 4.5 Mt
- La Grande-Bretagne : 4.3 Mt
- La Pologne : 2.3 Mt

Répartition de la production européenne de polymères en 2007

# CHAPITRE 1 : INTRODUCTION

## ○ 1.3 Quelques chiffres (suite)



Source: PlasticEurope Market Research Group (PEMRG)

Répartition de la demande en polymères  
au niveau européen

L'essentiel de la fabrication (67%) est constitué par :

- Le polyéthylène (LDPE, LLDPE, HDPE) : (29 %)

LDPE : Low Density Polyéthylène  
LLDPE : Linear Low Density Polyéthylène  
HDPE : High Density Polyéthylène

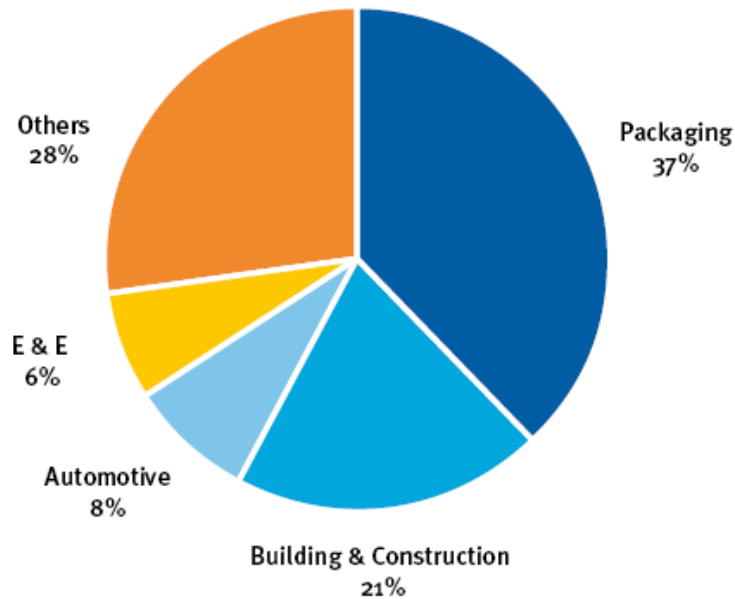
- Le polypropylène (PP) : (18 %)

- Le chlorure de polyvinyle (PVC) : (12%)

- Le polystyrène (PS) : (8%)

# CHAPITRE 1 : INTRODUCTION

## ○ 1.3 Quelques chiffres (suite)



- L'emballage et la construction représentent plus de la moitié de la demande (58 %)

- L'automobile : 8 %

- L'électricité – électronique : 6 %

Répartition de la demande en polymères par secteur d'activité

# CHAPITRE 1 : INTRODUCTION

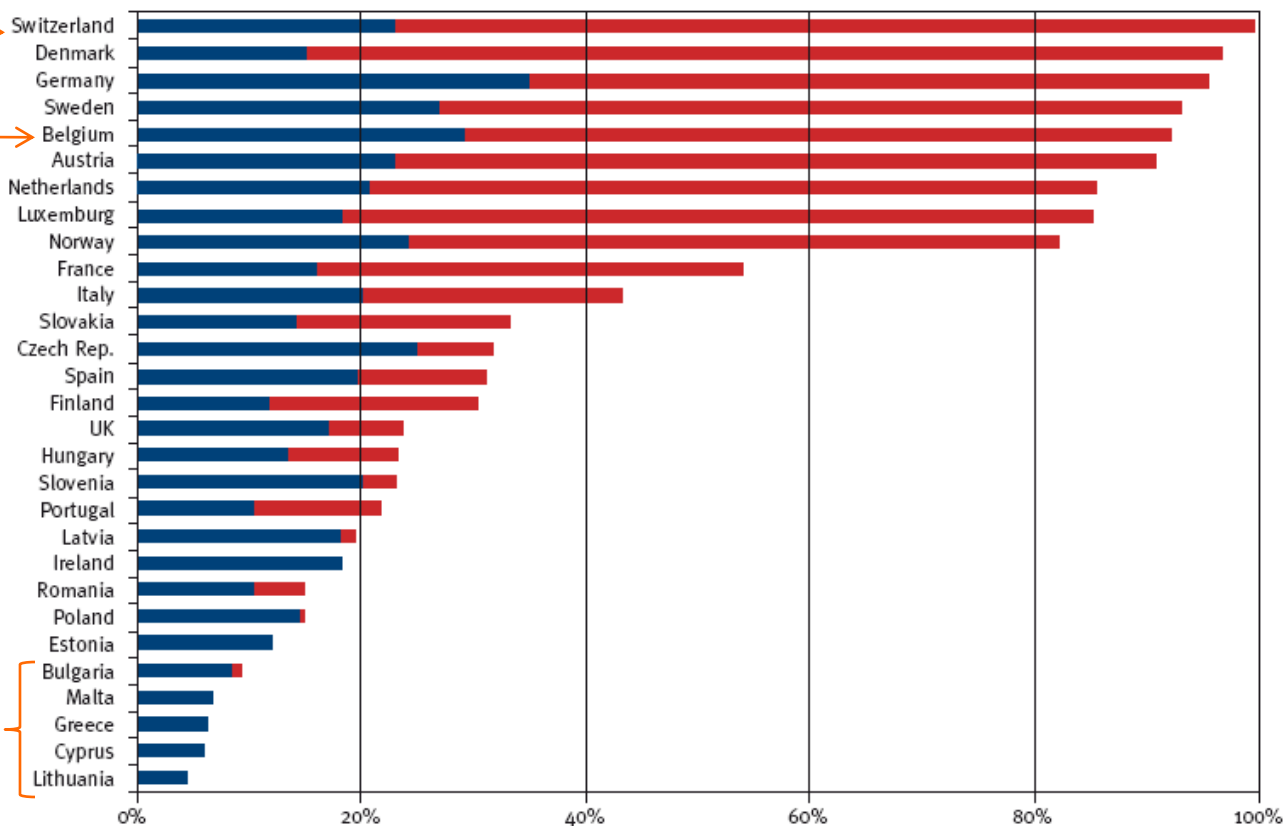
## 1.3 Quelques chiffres (suite)

Figure 10. Recycling and energy recovery rate per country

■ Recycling rate 2007 ■ Energy Recovery rate 2007

Valorisation 100%  
Recyclage 23%

Valorisation 90%  
Recyclage 30%



Valorisation énergétique quasi nul  
Recyclage < 10%

(1) [http://www.prognos.com/Singleview\\_306+M5c828d79ff6.o.html](http://www.prognos.com/Singleview_306+M5c828d79ff6.o.html)

Taux de recyclage et de valorisation énergétique  
des polymères usagés dans les pays de l'UE

# CHAPITRE 1 : INTRODUCTION

## ○ 1.4 Propriétés mécaniques

### A. Qualitativement

Les propriétés mécaniques des polymères sont plus faibles que celles des métaux.  
(hors mis une ductilité qui peut être du même ordre)

- E (Métaux)  $\approx$  100 x E (polymères)

Les propriétés mécaniques des polymères peuvent être comparées à celles des céramiques.

- E (Module de Young), Rr (Limite de rupture) (polymères) < E, Rr (céramiques)

- ténacité (polymères)  $\sim$  ténacité (céramiques)

- Résilience (polymères) > Résilience (céramiques) [ $K_{1c} = \sqrt{EG_c}$ ]

# CHAPITRE 1 : INTRODUCTION

## ○ 1.4 Propriétés mécaniques (suite)

### B. Quantitativement

Les différentes propriétés mécaniques caractéristiques des polymères varient fortement.

- E est faible (1-5 GPa) et très faible pour les caoutchoucs (1-5 MPa)
- $R_r$  (polymères) est médiocre par rapport aux métaux courants (+ de 100 MPa)
- Ductilité très élevée (polymères)
- Taux de déformation élastique très important pour les caoutchoucs (élastomères)
- $T_g \delta$  (Taux d'absorption des vibrations) est loin d'être négligeable pour les polymères en général et est plus important encore pour les caoutchoucs

Les propriétés des polymères peuvent aussi varier au sein d'une même variété comme par exemple pour le polyéthylène (PE) où leurs propriétés mécaniques sont d'autant meilleures que leur densité est élevée.

# CHAPITRE 1 : INTRODUCTION

## ○ 1.5 Propriétés physiques & électriques

- La densité des polymères courants est comprise entre 0.5 et 2
- Les mousses en polyuréthane (PU) sont peu denses et la densité peut descendre jusqu'à 0.05
  
- La plupart des polymères sont de bons isolants (résistivité électrique  $\approx 10^{20}$   $\mu\text{ohm cm}$ )
- Les métaux sont de très bons conducteurs (résistivité électrique  $\approx 10^{-1}$   $\mu\text{ohm cm}$ )

Les propriétés magnétiques des polymères sont très proches de celles du vide.

Au niveau optique, la transparence des polymères dépend fortement de l'état structural :

- Les polymères purs et non cristallins sont souvent transparents
- Les polymères semi-cristallins sont soit translucides soit opaques

# CHAPITRE 1 : INTRODUCTION

## ○ 1.6 Propriétés toxicologiques

Le problème de la toxicité des polymères est complexe. Il existe plusieurs origines possibles au niveau de la toxicité :

- Propre à une chaîne polymère qui se décompose dans certaines conditions en produits toxiques (chlorés, fluorés, insaturés, cycliques) volatiles ou solubles dans un solvant
- Due à la présence de monomères ou de polymères à faible poids moléculaires qui sont solubles ou volatiles
- Due aux additifs présents dans la masse polymère et qui s'en échappent