



2nd Congrès du Réseau Français d'Ingénierie du Sport 23 et 24 juin 2005





Les propriétés des polymères et des composites

Sommaire :

- 1) Structure des polymères
- 2) Leur composition
- 3) Les éléments composants un cahier des charges
- 4) Les outils d'aides à la sélection
- 5) Zoom sur l'outil de veille technologique «Plasturgienet.com »



Structures des polymères

Définition des polymères : composés obtenus par la combinaison de molécules simples de plus petites masses (monomères)

2 classes de matériaux

Les thermoplastiques

Les thermodurcissables

 : composite \neq thermodurcissable

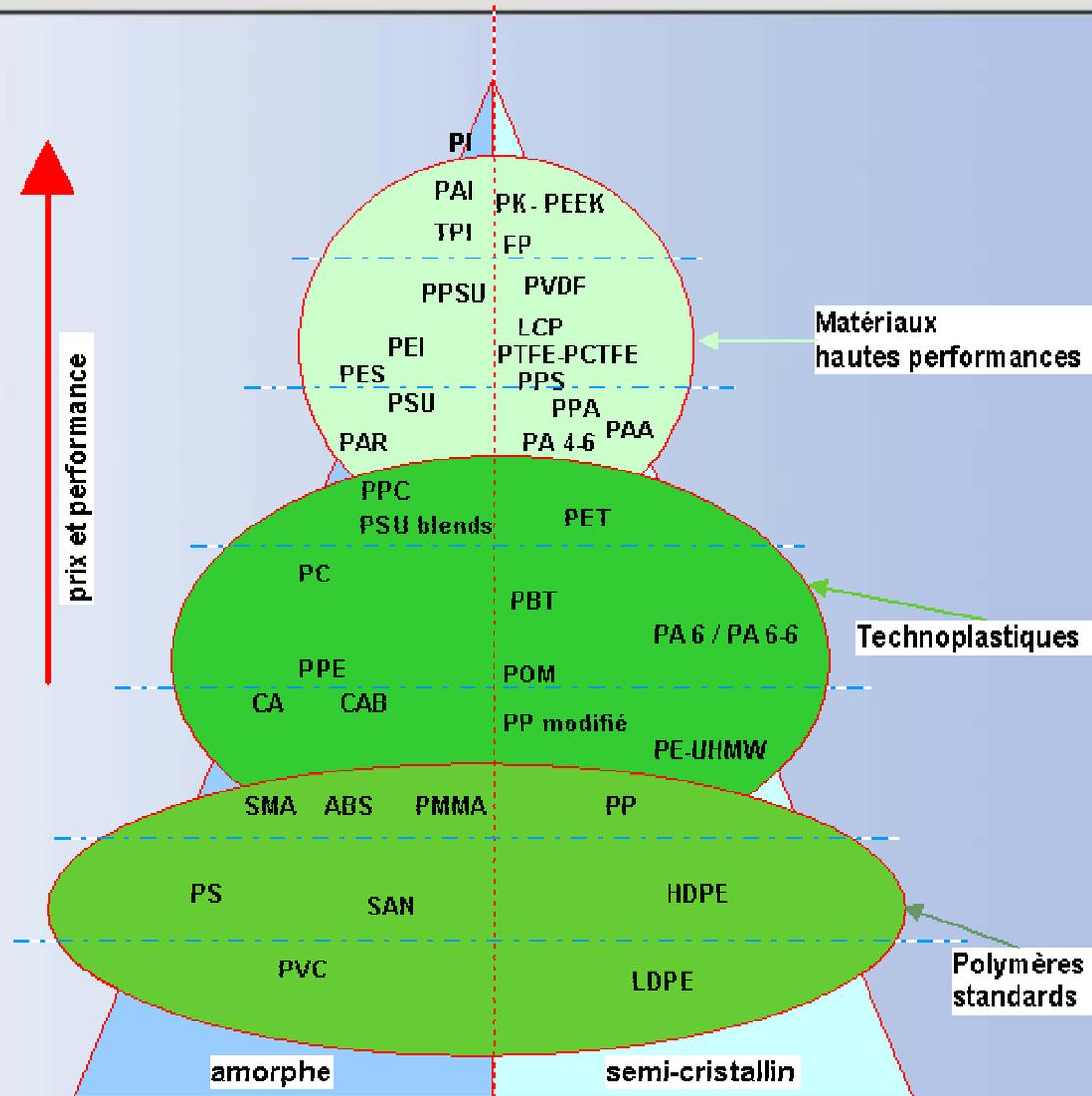


Les thermoplastiques

Définition :

Qualifie un polymère susceptible d'être, de manière répétée, ramolli par chauffage et durci par refroidissement.

A l'état ramolli, il pourra être mis en forme par injection, extrusion ou formage dans un moule.



Amorphe / semi-cristallin

État amorphe : Absence d'ordre des chaînes moléculaires

État cristallin : Existence d'un ordre à grande distance

	Amorphe	Semi-cristallin
Résistance à la fatigue	↓	↔
Résistance chimique	↓	↔
Tendance au gauchissement	↓	↔
Transparence	↑	↔
Résistance au fluage	↓	↔
Résistance à la traction	↓	↔
Résistance à la rupture	↔	↔
Propriétés électriques	↔	↔



Les thermodurcissables

Définition :

Qualifie un polymère ne pouvant être mis en œuvre qu'une seule fois et qui devient infusible et insoluble après polymérisation. Une fois durci, leur forme ne peut plus être modifiée.

Les principaux

- * Les polyesters insaturés
- * Les époxydes
- * Les phénoliques
- * Les aminoplastes
- * Les polyimides
- ..
- * Les caoutchoucs

Des techniques de mise en œuvre \neq de celles de thermoplastiques

Moulage au contact



Moulage par projection



Moulage par coulé



Moulage dans un moule fermé

- Injection** (poudre à mouler voire BMC)
- Transfert** (poudre à mouler, BMC)
- Compression** (BMC, SMC)



Un polymère c'est :

* une matrice polymère + des adjuvants + éventuellement des renforts

Les adjuvants :

- * Les plastifiants (exemple du PVC)
- * Les stabilisants anti-oxygènes (moins de 1%)
- * Les stabilisants thermiques (de 1 à 3%)
- * Les stabilisants lumières (moins de 1%)
- * Les colorants
- * Les anti-chocs
- * Les antistatiques
- * Les ignifugeants
- * Les lubrifiants, les agents nucléants, les adjuvants à relargage contrôlé..

Tendance actuelle : les nanomatériaux (↑ de l'aspect de surface, de la tenue à la chaleur, de la fluidité..)

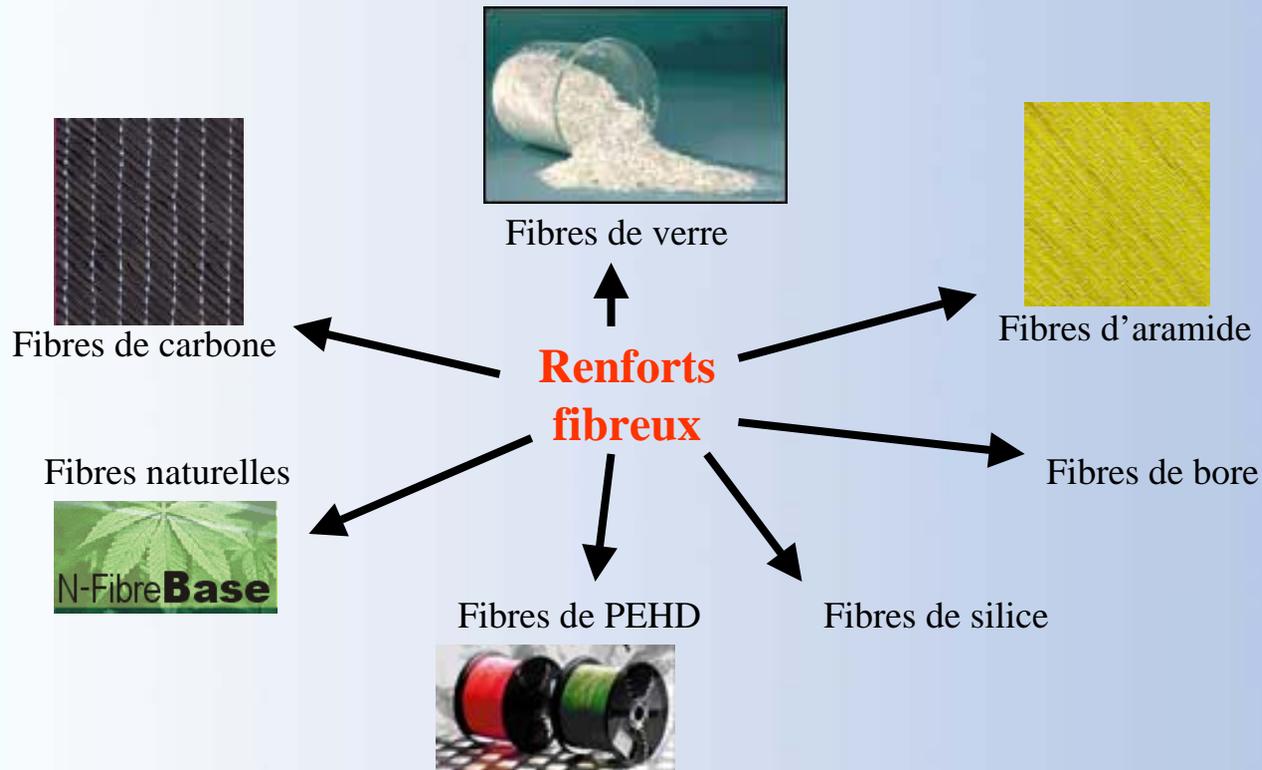


Composites

Si un matériau contient des « renforts », on dit alors qu'il s'agit d'un composite.

Définition composite:

Produit solide comportant au moins deux phases physiques distinctes, composé d'un matériau de liaison (matrice) et d'un matériau sous forme granulée, fibreuse ou lamellaire



Caractéristiques des fibres

Renforts	Diamètre du filament (µm)	Masse volumique (kg.m ⁻³)	Module d'élasticité longitudinal (Mpa)	Module de cisaillement (Mpa)	Coefficient de Poisson	Contrainte de rupture (traction) MPa	Allongement à rupture %	Coefficient de dilatation thermique °C ⁻¹
	d	?	E	G	?	s _r	A	a
Verre E	16	2 600	74 000	30 000	0.25	2 500	3.5	0.5*10 ⁻⁵
Verre R	10	2 500	86 000		0.2	3 200	4	0.3*10 ⁻⁵
Carbone HM	6.5	1 800	390 000	20 000	0.35	2 500	0.6	0.08*10 ⁻⁵
Carbone HR	7	1 750	230 000	50 000	0.3	3 200	1.3	0.02*10 ⁻⁵
Kevlar 49	12	1 450	130 000	12 000	0.4	2 900	2.3	-0.2*10 ⁻⁵
Bore	100	2 600	400 000			3 400	0.8	0.4*10 ⁻⁵
Silicate d'alumine	10	2 600	200 000			3 000	1.5	
Polyéthylène		960	100 000			3 000		

Tendance actuelle : développement des fibres PP ou PE dans le but de faciliter le recyclage (ex : PP + fibres PP)



Les charges

Les charges organiques

- *Charges cellulosiques
- *Farines de bois..



Les charges minérales

- *Le carbonate de calcium
- *Le talc
- *Le mica
- *La wollastonite

Les oxydes et hydrates métalliques

Le verre

- *Les poudres de verre
- *Les billes de verre



Le noir de carbone



Effet des charges et additifs

Additive	Max. content (% w/w)	Elastic Modulus	Strain	Impact Strength	Dimensional Stability	Flame Retardancy
Glass fibres	60	+++	--	-	-	+
Minerals	40	+	-	-	++	+
Aramid Fibres	20	+	-	-	-	+
Elastomers	15	-	++	+++	-	-
UV stabilizers	1	-	-	-	0	0
Flame retardants Organic	20	-	--	--	+	+++
Flame retardant Inorganic	40	-	--	--	+	++++
Antistatic agents	5	-	--	--	0	0





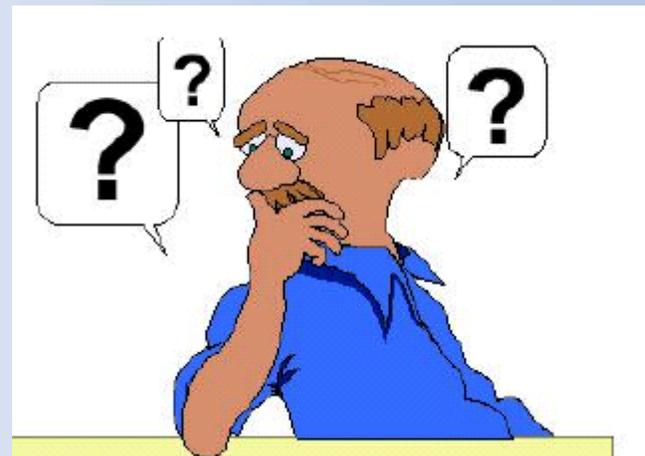
Comment choisir le bon matériau pour l'application?

Environ une centaine de
matrice polymère

+

Un grand nombre d'additifs et
de charges

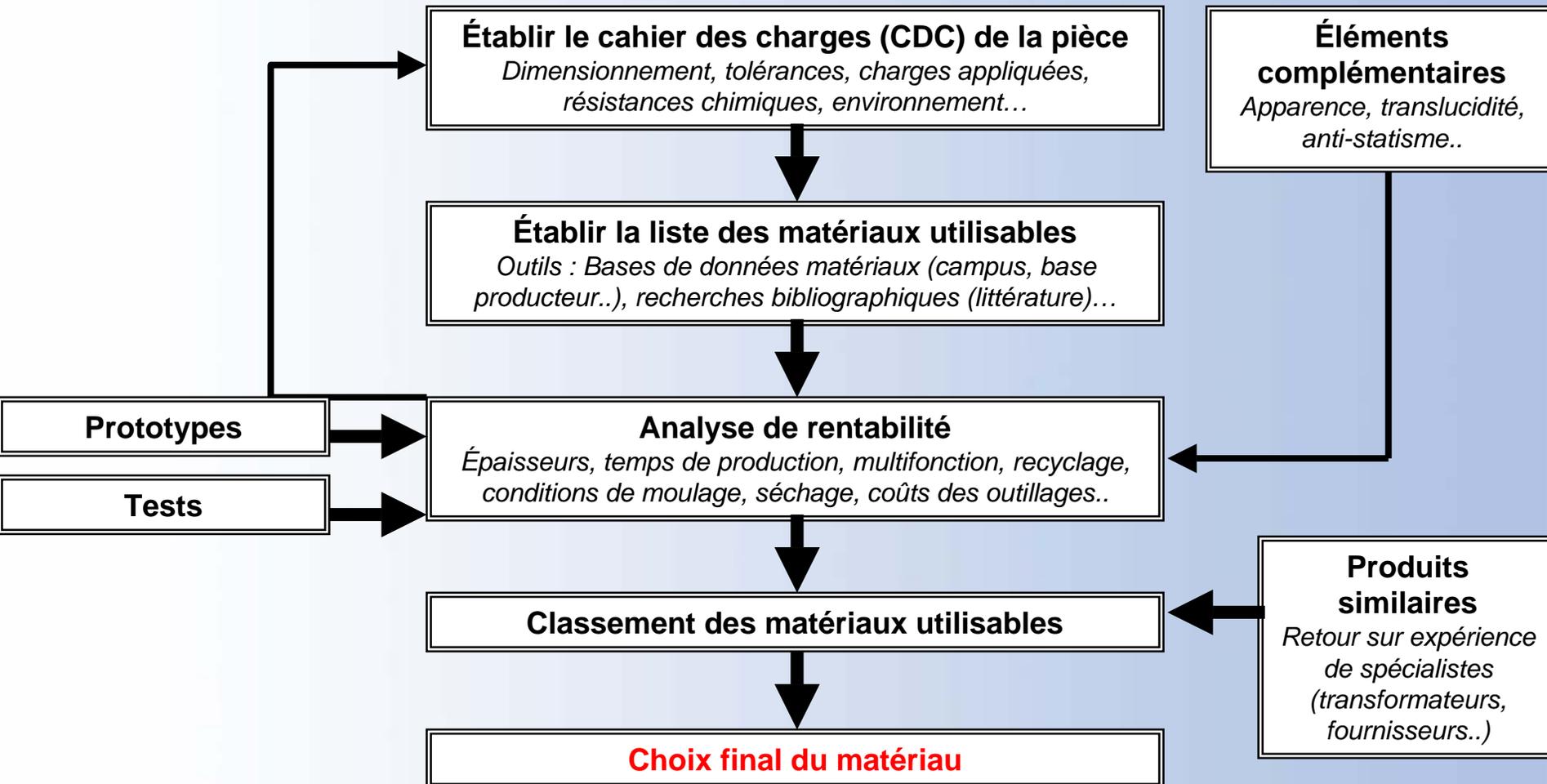
= une multitude de polymères



Les bases de données les plus complètes proposent plus de 60 000 grades.



Schéma de sélection des matériaux plastiques





Les éléments du cahier des charges

- * Propriétés physiques (densité, reprise d'humidité..)
- * Propriétés mécaniques (résistance aux efforts de traction, flexion, compression, torsion. Endurance. Résistance aux chocs, usure..)
- * Propriétés thermiques (températures d'utilisation, dilatation..)
- * Propriétés au feu (résistance au feu, dégagement de produits..)
- * Propriétés électriques (isolant, conducteur, anti-statisme..)
- * Propriétés optiques (transparence..)
- * Couleur / Aspect (gamme de couleur, état de surface, toucher..)
- * Vieillessement (résistance aux UV, ozone, température..)
- * Résistance aux agressions (chimiques, brouillard salin..)
- * Contraintes réglementaires (alimentarité, grade médical, métaux lourds, plastifiants, recyclabilité..)
- * Considérations économiques (prix de revient, durée de vie..)





Exemples de fiches techniques (1)

CAMPUS® Properties ²			
Rheological properties	Nominal Value	Unit	Test Method
Melt volume-flow rate (300°C/1.2 kg)	36.0	cm ³ /10min	ISO 1133
Mechanical properties 23°C/50%r.h.	Nominal Value	Unit	Test Method
Tensile modulus	2400	MPa	ISO 527-1, -2
Yield stress	65.0	MPa	ISO 527-1, -2
Yield strain	6.0	%	ISO 527-1, -2
Nominal strain at break	> 50.0	%	ISO 527-1, -2
Tensile creep modulus (1h)	2100	MPa	ISO 899-1
Tensile creep modulus (1000h)	1700	MPa	ISO 899-1
Charpy impact strength (+23°C)	No Break	kJ/m ²	ISO 179 /1eU
Charpy impact strength (-30°C)	No Break	kJ/m ²	ISO 179 /1eU
Puncture - maximum force (+23°C)	4800	N	ISO 6603-2
Puncture - maximum force (-30°C)	5800	N	ISO 6603-2
Puncture energy (+23°C)	50.0	J	ISO 6603-2
Puncture energy (-30°C)	55.0	J	ISO 6603-2
Thermal properties	Nominal Value	Unit	Test Method
Glass transition temperature (10°C/min)	150	°C	ISO 11357-1, -2
Temp. of deflection under load (1.80 MPa)	124	°C	ISO 75-1, -2
Temp. of deflection under load (0.45 MPa)	137	°C	ISO 75-1, -2
Vicat softening temperature (50°C/h 50N)	143	°C	ISO 306
Coeff. of linear therm. expansion (parallel)	0.000060	cm/cm/°C	ISO 11359-1, -2
Coeff. of linear therm. expansion (normal)	0.000060	cm/cm/°C	ISO 11359-1, -2
Burning Behav. at 1.6mm nom. thickn. (1.50 mm, UL)	V-2		ISO 1210
Burning Behav. at thickness h (2.90 mm, UL)	HB		ISO 1210
Oxygen index	28	%	ISO 4589-1, -2
Electrical properties 23°C/50%r.h.	Nominal Value	Unit	Test Method
Relative permittivity (100 Hz)	3.10		IEC 60250
Relative permittivity (1 MHz)	3.00		IEC 60250
Dissipation factor (100 Hz)	0.00050		IEC 60250
Dissipation factor (1 MHz)	0.0090		IEC 60250
Volume resistivity	> 1.0E+13	ohm-m	IEC 60093





Exemples de fiches techniques (2)

Volume resistivity	> 1.0E+13 ohm-m	IEC 60093
Surface resistivity	> 1.0E+15 ohms	IEC 60093
Electric strength	32 kV/mm	IEC 60243-1
Comparative tracking index	275	IEC 60112
Other properties	Nominal Value Unit	Test Method
Water absorption	0.30 %	ISO 62
Humidity absorption	0.12 %	ISO 62
Density	1200 kg/m ³	ISO 1183
Material specific properties	Nominal Value Unit	Test Method
Viscosity number	45.0 cm ³ /g	ISO 307, 1157, 1628
Test specimen production	Nominal Value Unit	Test Method
Processing conditions acc. ISO	ISO 7391-2	
Injection Molding, melt temperature	280 °C	ISO 294
Injection Molding, mold temperature	80.0 °C	ISO 10724
Injection Molding, injection velocity	200 mm/sec	ISO 294

Processing Information

Injection	Nominal Value Unit
Drying Temperature	121 °C
Drying Time	4.0 hr
Suggested Max Moisture	0.020 %
Suggested Max Regrind	20 %
Rear Temperature	229 to 257 °C
Middle Temperature	266 to 288 °C
Front Temperature	277 to 299 °C
Nozzle Temperature	266 to 277 °C
Processing (Melt) Temp	279 to 296 °C
Mold Temperature	65.6 to 104 °C
Injection Pressure	68.9 to 103 MPa
Back Pressure	0.345 to 0.689 MPa
Screw Speed	75 to 100 rpm
Clamp Tonnage	41 to 69 MPa
Screw L/D Ratio	20.0:1.0



Propriétés physiques

Densité (d) :



Les mousses
 $0,9 < d$
(*semelle de
chaussure s
planche de piscine*)

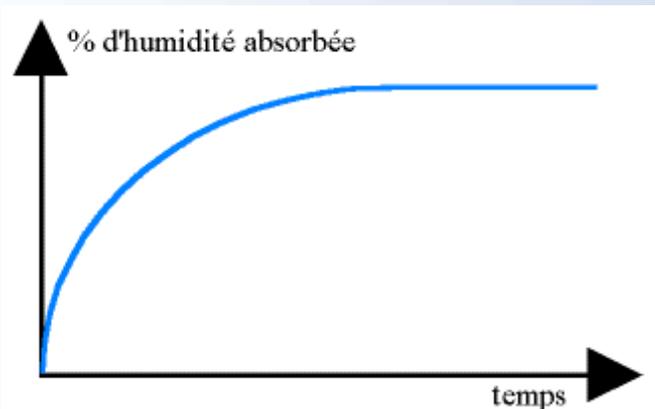


Matériaux compacts
 $0,9 < d < 1,7$



Matériaux densifiés
 $d > 2$
(*robots de nettoyage
de piscine*)

Absorption d'eau :



Influence sur :

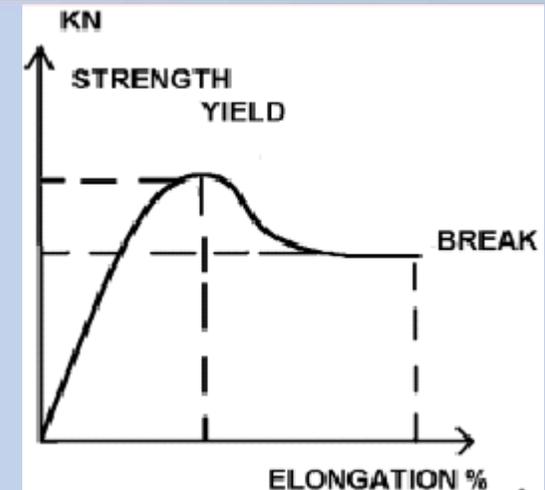
- * les propriétés électriques (\uparrow de la conductivité)
- * les propriétés mécaniques (l'eau joue le rôle de plastifiant)
- * le dimensionnement des pièces
- * risque d'hydrolyse lors de la transformation ou en utilisation



Propriétés mécaniques (1)

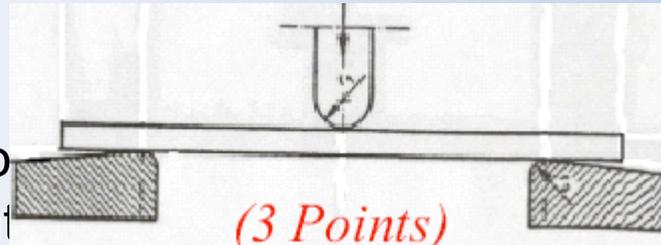
Essai de traction :

- Module d'élasticité (Module d'Young)
- Contrainte et allongement au seuil
- Contrainte et allongement à la rupture



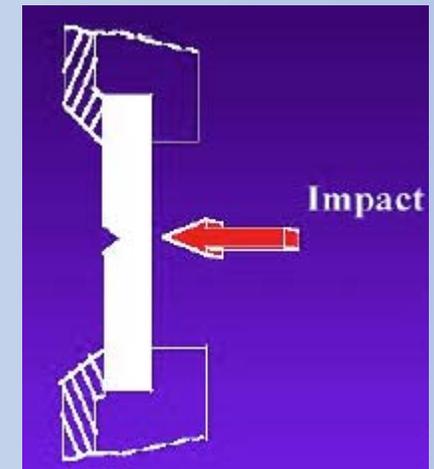
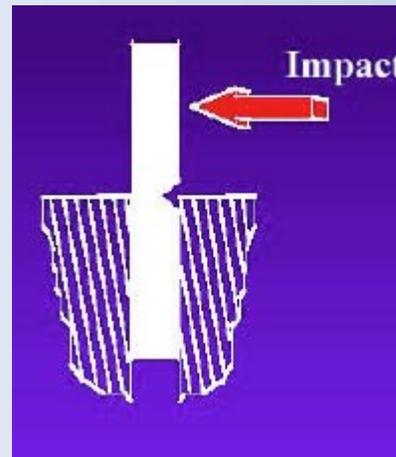
Autres essais :

- Essai de flexion
- Essai de compression
- Essai de cisaillement



Résistance aux chocs :

- Choc Charpy
- Choc Izod





Propriétés mécaniques (2)

L'élasticité :



Les polymères «classiques»

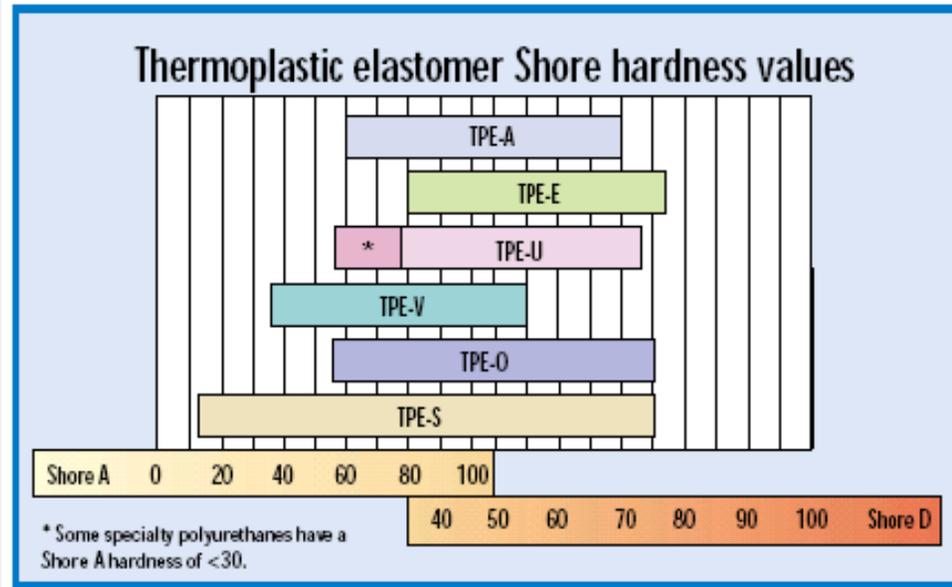


Les élastomères thermoplastiques (TPE)



Les caoutchoucs

Dureté shore :



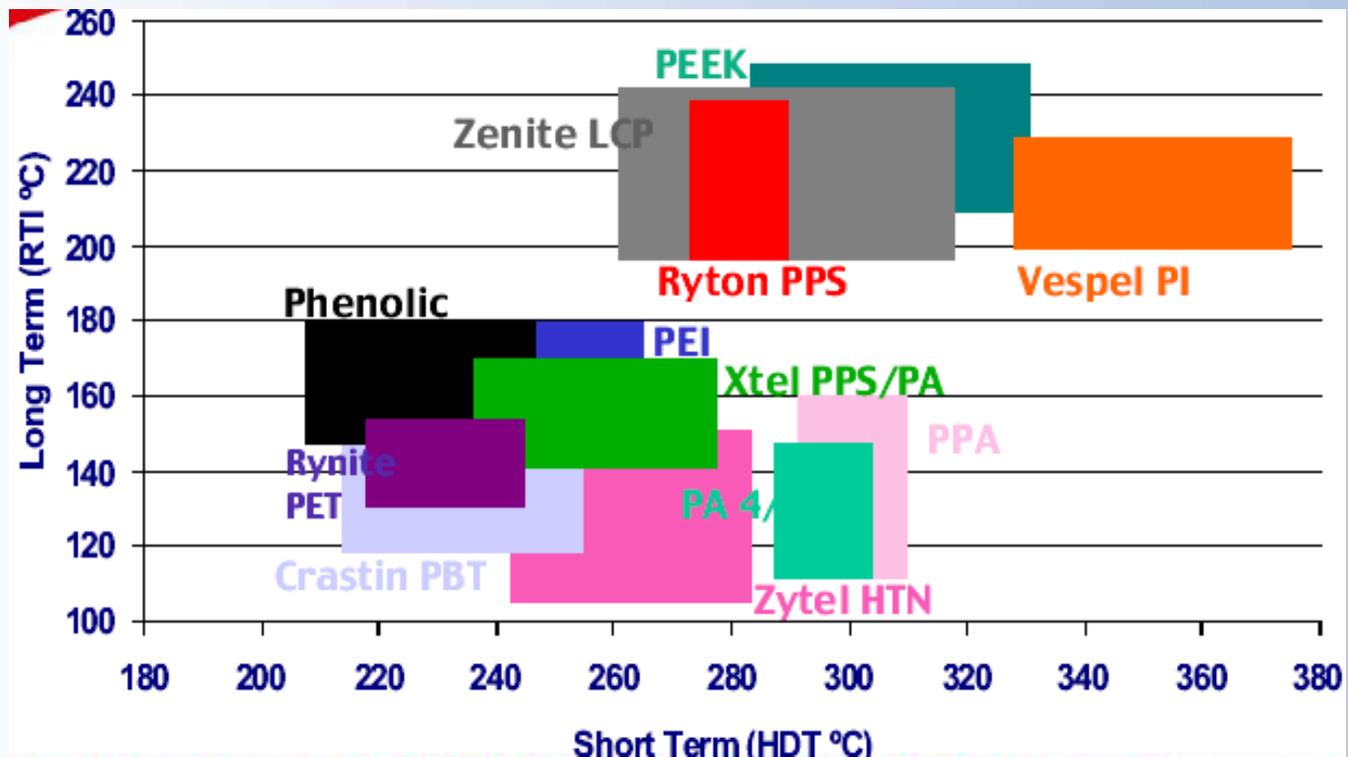


Propriétés thermiques

Grandeurs caractéristiques d'un polymère:

- Tf (t°C de fusion), Tg (t°C de transition vitreuse), Tc (température de cristallisation)
- TFC (t°C de fléchissement sous charge) ou en anglais HDT
- VICAT (t°C de ramollissement Vicat)
- Coeff de dilatation thermique, Conductivité thermique, Chaleur spécifique

Température d'utilisation :

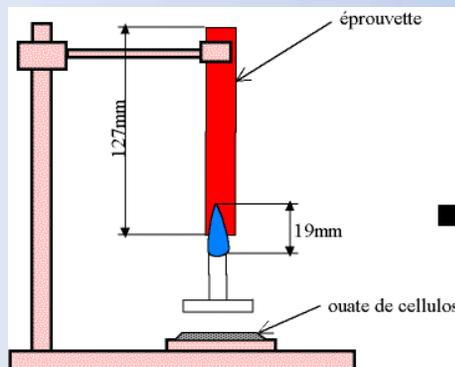
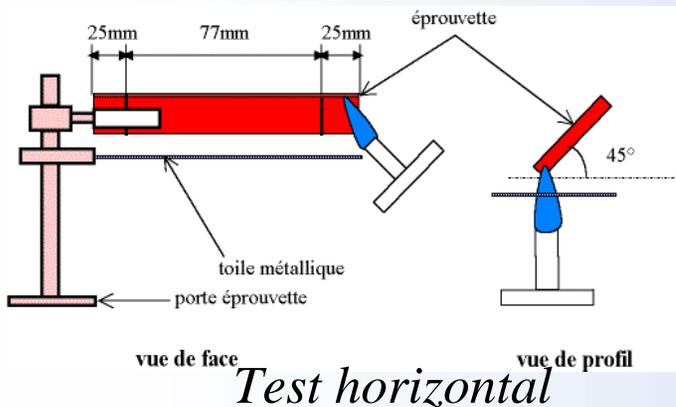




Propriétés de résistance au feu

Les différents types de tests :

L'essai UL94 :

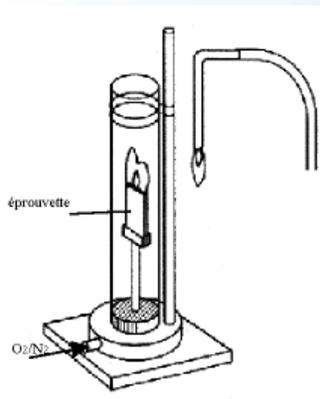


Test vertical

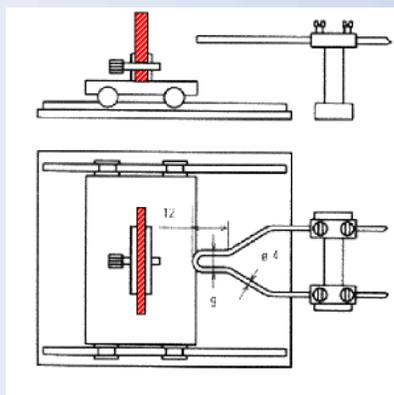
Classement de la matière :

- *HB
- *V2
- *V1
- *V0

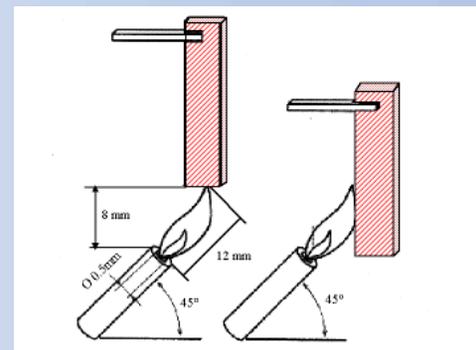
L'indice d'oxygène :



Fils incandescent :



Brûleur aiguille :

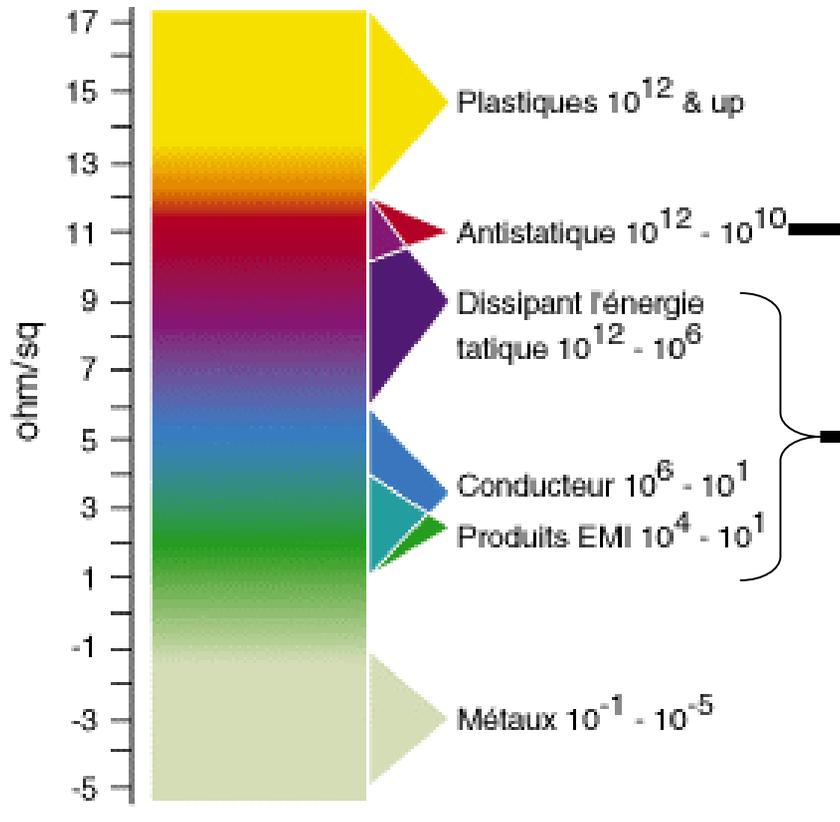


Mise en place des Euroclasses dans le domaine de la construction



Propriétés électriques

Résistivité de surface :



Ajout de :

-Noir de carbone (si couleur importe peu)
-Composés chimiques (garde la transparence mais action à cours terme)

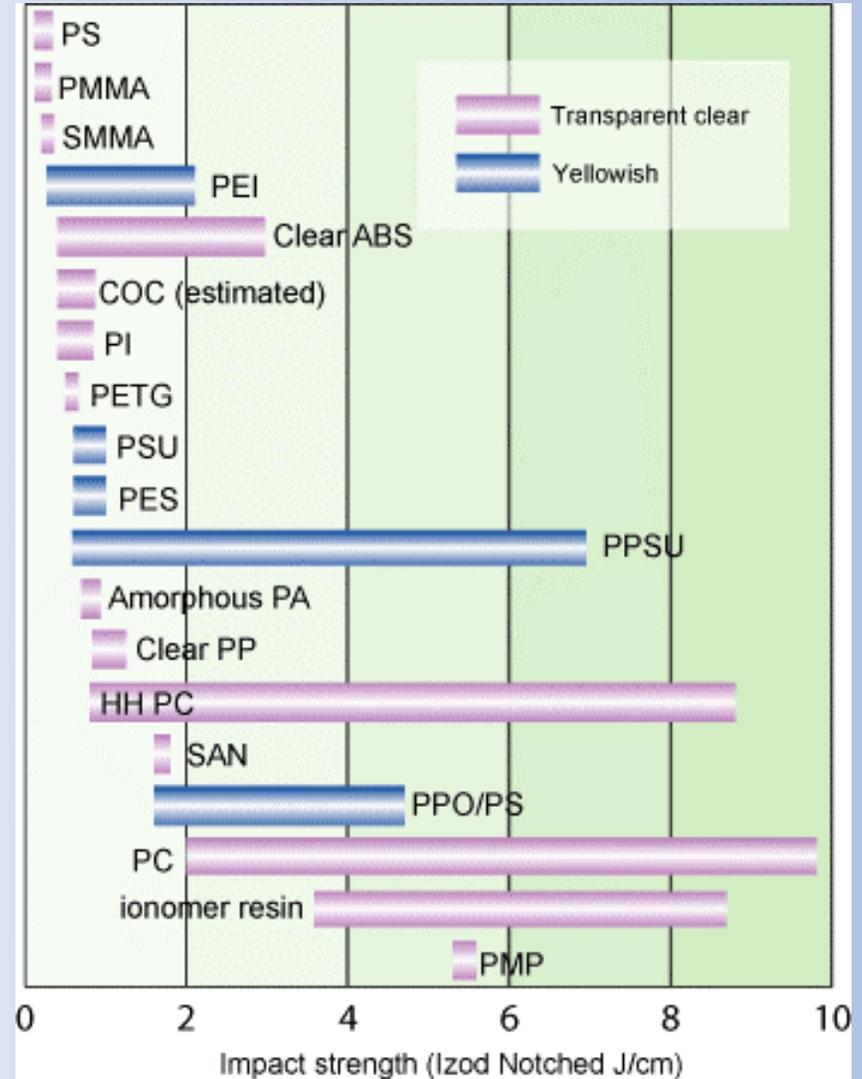
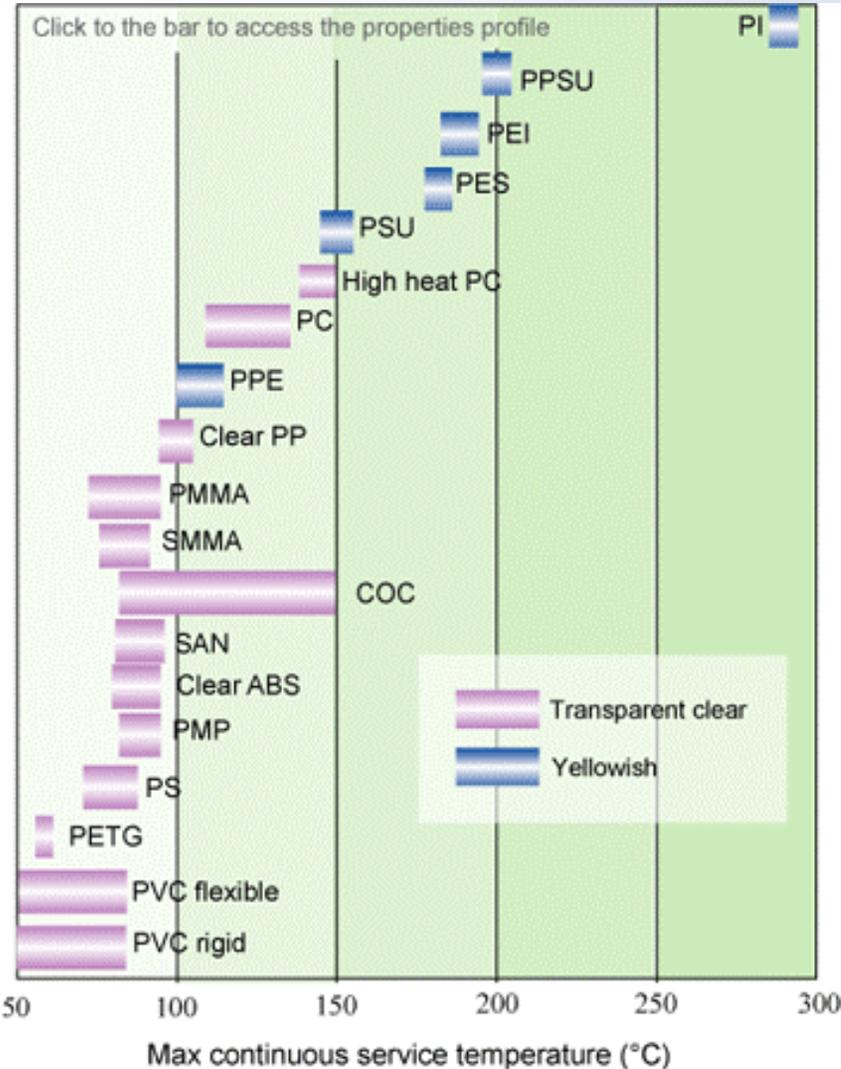
-Fibres métalliques (Al, Cu, Bronze, Inox)
-Billes métalliques

Problématique actuelle : rendre les polymères techniques transparents (PC, PET, PA transparents..) antistatiques



Propriétés optiques

La transparence :





Couleur aspect

Couleurs à effets spéciaux par mélange-maîtres:



Effet granite, pierre et marbré



Effet fibré



Effet nacré



Effet « flip-flop »



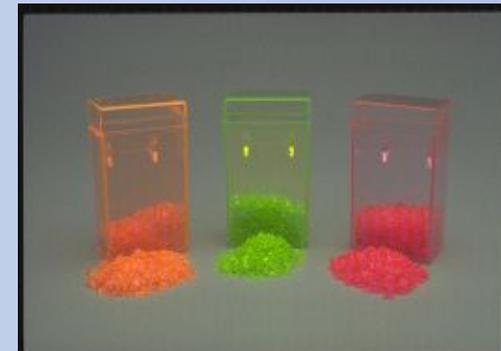
Effet métallisé



Effet phosphorescent



Effet thermochromique



Effet fluorescent ou photochromique



Vieillessement

Les polymères ont une très bonne résistance au vieillissement en comparaison d'autres matériaux (métaux, bois..)

Mais il faut même tenir compte de quelques limites :

Vieillessement physique :

- Absorption de solvant (plastification, gonflement différentiel, craquelage, fissuration)
- Perte d'adjuvants (stabilisant, plastifiant)
- Fissuration sous contrainte en milieu tensio-actif (stress-cracking)
- Dilatations différentielles (hétérogénéité du matériau et gradients de $t^{\circ}\text{C}$)

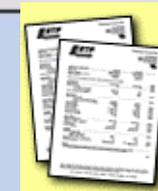
Vieillessement chimique :

- Thermique : (en présence ou non d'oxygène)
- Photochimique : (radiation solaire)
- Hydrolytique (ex : composite, polyuréthane à base ester)
- Biochimique (eau salée, moisissures, bactéries)
- En milieu réactif

Les outils de sélection (1)

La « littérature »

- La documentation des producteurs matières
- Les revues spécialisées (ex : Kunststoffe, Injection Molding, Caoutchoucs et Plastiques..)
- Les livres spécialisés (exemple : fonds documentaire du PEP)



Les bases de données bibliographiques

- Plasturgienet.com (<http://www.plasturgienet.com>)
- Inist (<http://articlesciences.inist.fr>)
- Rapra (<http://www.rapra.net>)
- Dialog (<http://www.dialog.com>)



Les outils de sélection (2)

Les bases de données matériaux (en ligne) gratuites



-Les sites de producteurs matières

-Campus (<http://www.m-base.de/wv50>)



-MC Base (<http://www.m-base.de>)

-Matweb (<http://www.matweb.com>)



-Fibres naturelles (<http://n-fibrebase.net>)

Les bases de données payantes

-Sofine (en monoposte)

-Prospector (<http://prospector.ides.com>)



Les centres techniques de Plasturgie

-Le PEP dispose d'un service spécialisé dans la sélection des matériaux





www.plasturgienet.com





Plasturgienet permet de :

- **Faire un état de l'art sur un produit, un procédé, une caractéristique**
- **Puis faire une veille sur ce produit, ce procédé ou cette caractéristique**
- **Trouver les données techniques sur les propriétés des matériaux**

Plasturgienet.com : un outil de veille

La veille consiste en la mise en place d'un système à la carte : création de profil (choix de 43 thématiques représentant des centres d'intérêt), diffusion sélective d'information par mail : chaque semaine vous êtes avertis des nouveautés.

Ce profil lecteur ou centres d'intérêt peut être modifié à loisir.



Contenu

Plasturgienet se compose de :

- **Une base de données de type bibliographique**
Elle contient des références de documents ayant un rapport avec l'activité Plasturgiste.
Des thèses, ouvrages, articles, conférences ...
- **Une base de données numérique**
Contient des informations relatives aux propriétés des matériaux , des applications, des informations sur les alliages
- **Un module de Push**
Il permet aux utilisateurs de créer leur profil et de recevoir, grâce à leur mail, une veille ciblée

Les services du centre de documentation du PEP

- **Centre de documentation** (en consultation libre et gratuite sur place)
 - 4000 références (ouvrages, thèses, fiches techniques)
 - 70 abonnements (à des revues)

- **Service de Veille technologique et stratégique**
 - État de l'art
 - Diffusion sélective d'informations (interrogations périodiques)
 - Traitement et analyse d'informations

- **Service de Recherche matériau**
 - Rédaction de cahier des charges
 - Expertise matériaux et process
 - Recherche de matériaux de substitution en fonction du cahier des charges

