



CPGE
PTSI-PT
Lycée Jean Zay - Thiers

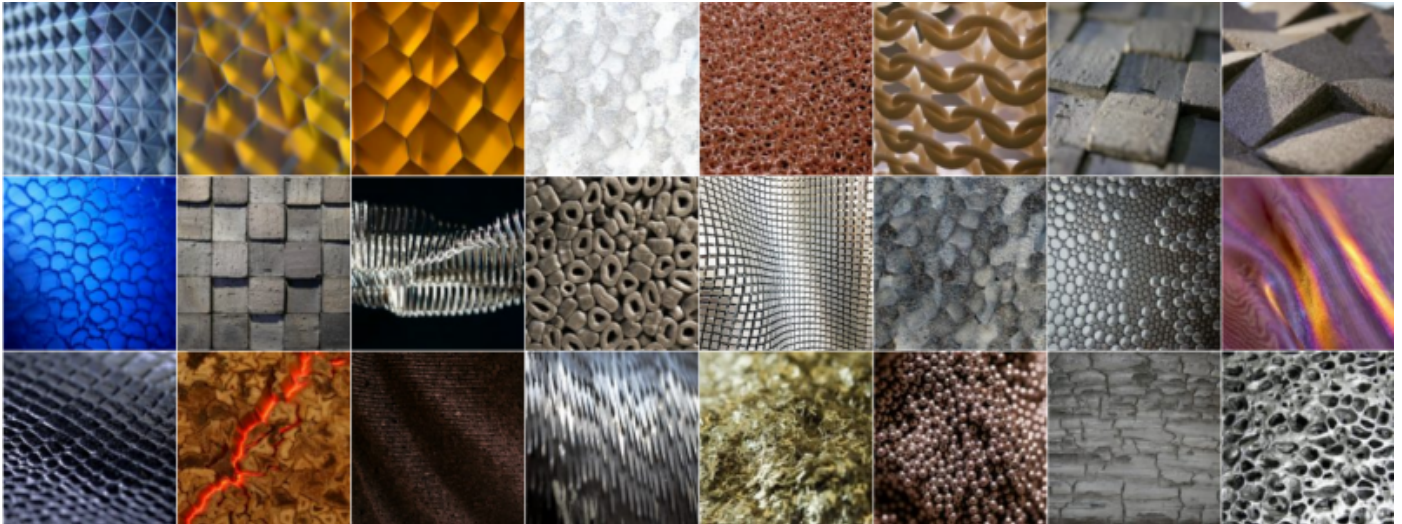
INTRODUCTION AUX MATÉRIAUX

Cours

Séquence 13 - Produit - Procédé - Matière

v1

Lycée Jean Zay - 21 rue Jean Zay - 63300 Thiers - Académie de Clermont-Ferrand



Compétences visées:

- A5-02** Comparer qualitativement les caractéristiques physiques des matériaux.
- A5-03** Justifier le choix d'un matériau et/ou d'un procédé.

Table des matières

1 Généralités sur les matériaux	3
1.1 Propriétés des matériaux	3
1.2 Classification des matériaux	4
1.3 Propriétés cristallines	4
1.3.1 Structure cristalline des matériaux métalliques	4
1.3.2 Structure cristalline des matériaux polymères	5
1.3.3 Structure cristalline des matériaux céramiques	5
2 Les caractéristiques mécaniques principales à travers les essais	5
2.1 Essai de traction	5
2.1.1 Principe de l'essai	5
2.1.2 Courbe contrainte - déformation	6
2.1.3 Interprétation des mesures	7
2.1.4 Caractéristiques déduites d'un essai de traction	7
2.2 Essai de résilience	7
2.3 Essai de dureté	8
2.4 Essai de fatigue	9



Introduction

Tous les produits que nous rencontrons autour de nous, sont réalisés à partir d'un matériau ou de plusieurs matériaux. Lors de la phase de conception d'un produit, il est nécessaire de choisir le ou les bons matériaux pour répondre aux attentes du cahier des charges.

Parmi la multitude de matériaux existants (matériaux métalliques, plastiques, composites, organiques ...) nous allons nous demander quels sont les critères qui ont poussé au choix d'un matériau. Le but de ce cours est donc de présenter les familles de matériaux ainsi que leurs caractéristiques. Il doit aussi permettre de décrire les essais permettant de déterminer les caractéristiques mécaniques de matériaux.

1 Généralités sur les matériaux

1.1 Propriétés des matériaux

Un matériau est choisi pour les fonctions qu'il doit remplir. Elles peuvent être multiples et de nature bien différentes, tant esthétiques que mécaniques, électrique, magnétique ...

Parmi les critères de choix d'un matériau, on peut citer les suivants (liste non exhaustive) :

Critères mécaniques

- être léger ;
- résister aux chocs ;
- résister aux efforts mécaniques ;
- résister à une sollicitation de fatigue.

Critères physique

- être magnétique ;
- avoir une température de fusion particulière ;
- conduire la chaleur ;
- limiter les dilatations thermiques ;

Critères chimiques

- résister à la corrosion ;
- être biodégradable ;
- être recyclable ;
- être respectueux de l'environnement.

Critères physico-chimiques

- être perméable ;
- avoir une absorption particulière.

Critères électrique

- être isolant ou conducteur électrique.

Critères de mise en forme

- être coulable ;
- être usinable ;
- être soudable.

Critères esthétiques

- être esthétique ;
- pouvoir être teinté / peints.

Critères économiques

- être le moins cher possible.

La complexité des systèmes étudiés implique dans bien des cas de choisir des matériaux répondants à plusieurs de ces critères. Dans la suite de ce cours, nous analyserons quelques-unes de ces propriétés en vue de définir des critères de choix.

1.2 Classification des matériaux

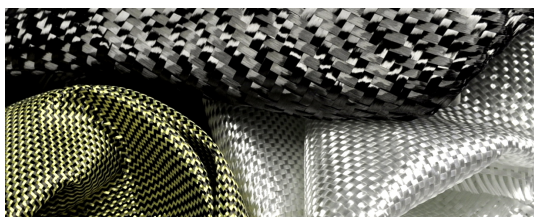
Les matériaux peuvent être classifiés en différentes grandes familles.

Les **matériaux métalliques** sont en général, solides, denses, bons conducteurs de chaleur et d'électricité et leurs comportements élastique et plastique permettent de les déformer. On distingue les métaux ferreux (aciers et fontes) et les matériaux non ferreux (alliages de cuivre, d'aluminium, de magnésium, de titane ...).



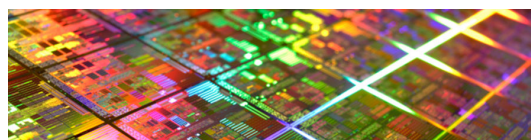
Les **matériaux polymères** sont en général de bons isolants électriques et thermiques, ils sont légers de facile à mettre en œuvre. Les polymères les plus employés peuvent être à fibres naturelles (bois, papier, chanvre, coton,...), en matière plastique (thermoplastiques, élastomères ou thermodurcissable), caoutchoutiques (naturels et artificiels) ainsi que les colles, résines et peintures.

Les **matériaux céramiques** sont en général des matériaux très durs et rigides, ils ont également une très bonne résistance thermique et électrique. Ils sont fragiles et difficiles à mettre en forme. On distingue les céramiques traditionnelles (ciment, argile, plâtre ...) et les céramiques techniques.



Les **matériaux composites** sont une association de plusieurs matériaux pour n'en former qu'un seul, ils ont souvent des propriétés supérieures à des matériaux "simples", car ils les matériaux qui le composent sont choisis pour leurs propriétés spécifiques. Ils sont composés de deux matériaux non miscibles appelés matrice et renfort.

D'autres matériaux comme les semi-conducteurs ou les supraconducteurs possèdent des caractéristiques électriques qui leur permettent de trouver de nombreuses applications industrielles.



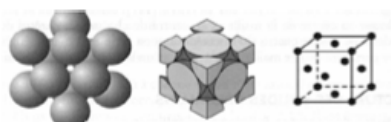
1.3 Propriétés cristallines

Les propriétés des matériaux sont bien souvent reliées à la structure cristalline de ces derniers, c'est à dire, l'architecture à l'échelle microscopique des atomes entre eux.

1.3.1 Structure cristalline des matériaux métalliques

La structure microscopique des métaux est cristalline, c'est-à-dire qu'ils sont composés de mailles élémentaires qui se répètent dans les trois dimensions. Cette structure cristalline va changer leurs propriétés physiques, un même matériau n'aura pas les mêmes propriétés suivant sa structure cristalline. Par exemple le diamant en le graphite sont tous deux composés de carbone, mais leurs propriétés sont bien différentes, cela est dû à leurs organisations cristallines. Dans le cas des alliages de plusieurs métaux, on retrouve le même genre de dépendance à la microstructure.

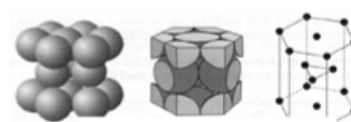
Exemple de structures cristallines des métaux :



Maille cubique face centrée



Maille cubique centrée

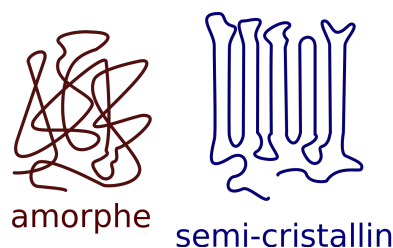


Maille hexagonale compacte

1.3.2 Structure cristalline des matériaux polymères

La microstructure des polymères est composée de chaînes d'atomes, plus ou moins longue, plus ou moins organisée. Les polymères sont souvent décrits comme étant cristallins ou amorphes, il est plus exact de décrire les plastiques par leur degré de cristallinité.

- Les matériaux amorphes n'ont pas un ordre établi dans leur structure moléculaire qui les compose et peuvent être comparés à un bol de spaghettis cuits.
- Les matériaux cristallins présentent une structure hautement organisée. La longueur des chaînes polymères contribue à leurs habiletés à cristalliser.



Principales caractéristiques des plastiques cristallins et amorphes

Pourcentage hautement cristallin	Pourcentage hautement amorphe
Grande résistance à la chaleur	Faible résistance à la chaleur
Point de fusion précis	Point de fusion graduel
Plus opaque	Plus transparent
Plus de contraction au refroidissement	Moins de contraction au refroidissement
Endurance réduite à basse température	Endurance accrue à basse température
Stabilité dimensionnelle supérieure	Stabilité dimensionnelle inférieure
Moins de déformation	Plus de déformation

1.3.3 Structure cristalline des matériaux céramiques

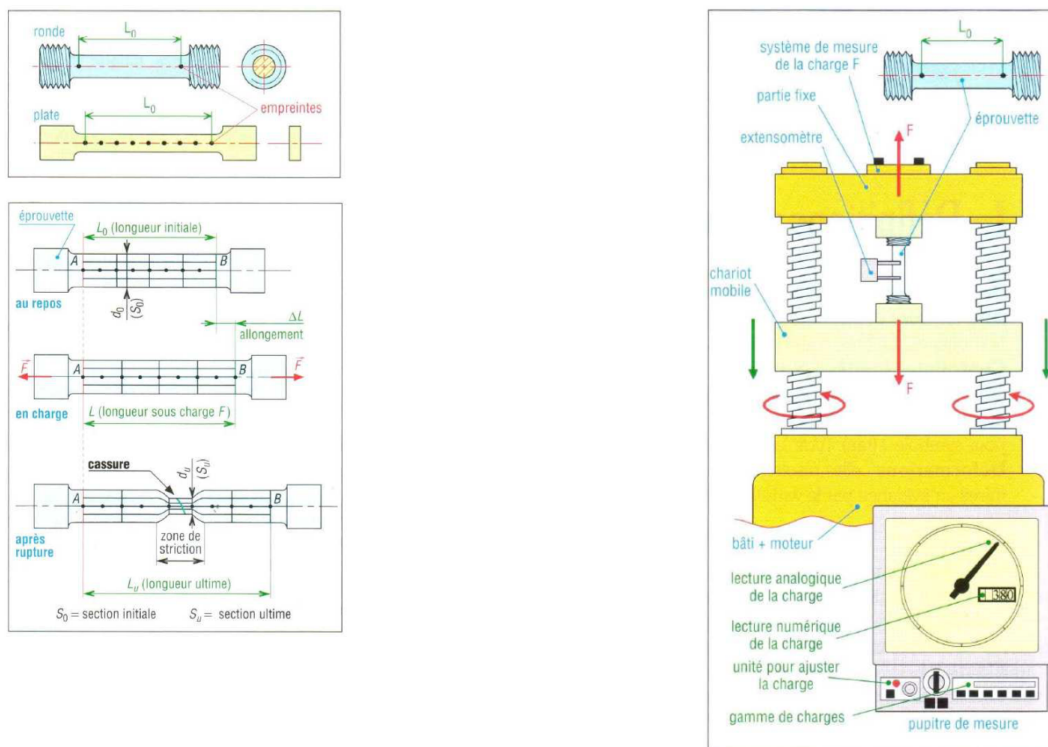
Les céramiques sont un peu plus complexes que les structures métalliques. Elles sont composées d'éléments métalliques et de substances non métalliques telles que des oxydes, des nitrides et des silicates. Elles peuvent apparaître soit comme des solides cristallins, soit comme des solides amorphes, ce dernier groupe étant appelé des verres ou encore être une combinaison de cristaux et de verres. La cohésion de celles-ci est assurée par des liaisons ioniques ou covalentes. Par conséquent, ce sont des matériaux durs, résistants à l'usure et fragiles.

2 Les caractéristiques mécaniques principales à travers les essais

2.1 Essai de traction

2.1.1 Principe de l'essai

L'essai de traction consiste à exercer sur une éprouvette normalisée deux forces égales et opposées qui vont déformer l'éprouvette progressivement jusqu'à sa rupture. On relève au cours de l'essai, l'allongement de l'éprouvette et l'effort qui lui est appliqué.



2.1.2 Courbe contrainte - déformation

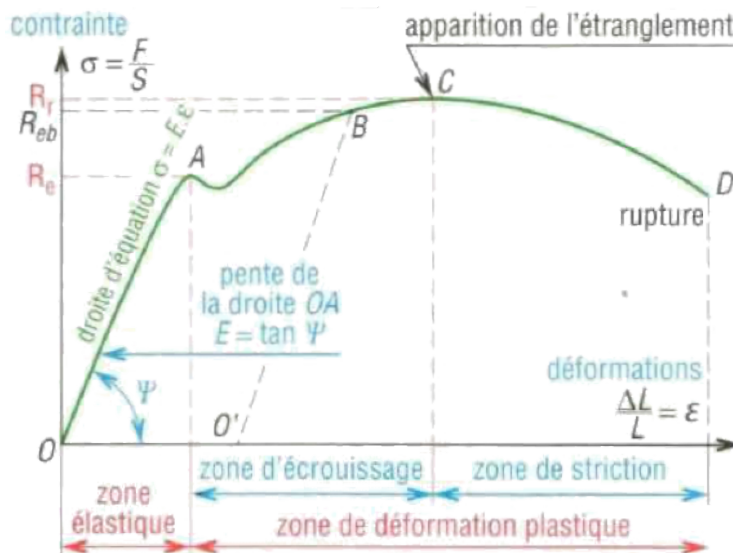
Les données brutes de la mesure sont le déplacement du chariot mobile (ou l’allongement si on place un extensomètre) et la force appliquée. Il convient dans un premier temps de normaliser ses mesures, de calculer la contrainte et la déformation. Ces grandeurs ne dépendent donc plus de la géométrie de l’éprouvette.

La contrainte, noté σ pour la contrainte normale et τ pour les contraintes tangentielles, représente les efforts de cohésion entre les grains de la matière. L’unité de la contrainte est en MPa ou $N.mm^2$. Elle est calculée à partir de la force mesurée au cours de l’essai et de la section normale initiale de l’éprouvette, tel que :

$$\sigma = \frac{F}{S_0}$$

avec :

- F l’effort de traction en N
- S_0 la surface de la section initiale de l’éprouvette en mm^2



La déformation, notée ϵ représente l’allongement relatif de l’éprouvette. Elle est notée en % et est définie par :

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

avec :

- ΔL l’allongement en mm ($\Delta L = L - L_0$)
- L la longueur de l’éprouvette en mm
- L_0 la longueur initiale de l’éprouvette en mm



2.1.3 Interprétation des mesures

On distingue sur la courbe normalisée différentes zones correspondant à différents comportements mécaniques du matériau.

Zone élastique Dans cette zone, la déformation du matériau est totalement réversible. C'est-à-dire que lorsqu'on relâche l'effort exercé, l'éprouvette retrouvera sa longueur initiale. Pour la plupart des matériaux, l'élasticité est linéaire, on retrouve donc une loi similaire à la loi de comportement d'un ressort.

Définition

La loi de Hooke définit le lien entre contrainte et déformation dans la zone d'élasticité d'un matériaux

$$\sigma = E.\varepsilon$$

On appelle E le module de Young (ou module d'élasticité linéaire), il est noté en MPa.

Le module de Young caractérise l'élasticité du matériau, plus il est grand plus le matériau est rigide. Sur la courbe, il traduit la pente de la droite correspondant à la zone élastique.

Le comportement élastique du matériau est valable jusqu'à la limite d'élasticité, noté R_e . Elle définit la contrainte limite à partir de laquelle le comportement du matériau devient plastique. En pratique on utilisera $R_{p0,2}$ la contrainte pour laquelle on observe 0,2% de déformation plastique.

Zone de déformation plastique Dans cette zone, une partie de la déformation du matériau est irréversible. C'est-à-dire que lorsqu'on relâche l'effort exercé, l'éprouvette ne reviendra pas à sa longueur initiale. C'est ce que l'on appelle l'écroutissage. Sur la courbe, lorsqu'en B on relâche l'effort, on suit le trajet BO', il restera donc une déformation résiduelle, due à l'écroutissage.

La résistance à la rupture R_r est la contrainte maximale admissible par le matériau avant sa rupture, elle définit le point de passage entre les zones d'écroutissement et de striction. Dans la dernière zone, on observe un étranglement de la surface, qui lui aussi est irréversible. Jusqu'au point D de la rupture.

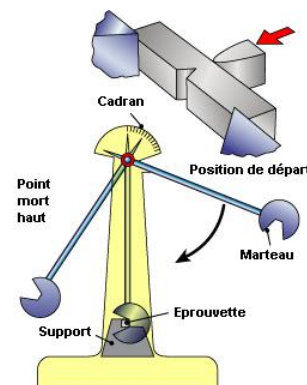
2.1.4 Caractéristiques déduites d'un essai de traction

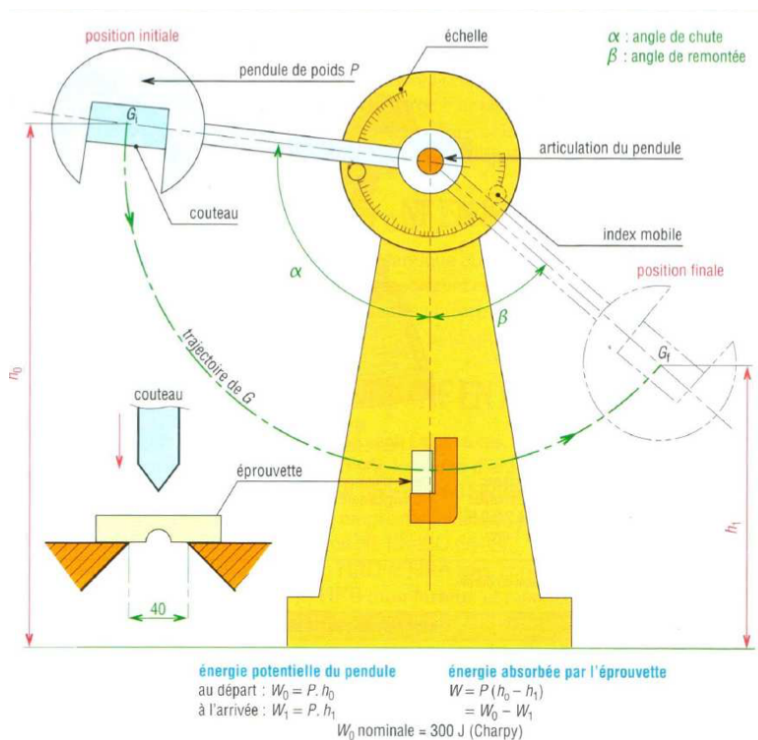
- Module de Young : E en MPa
- Limite d'élasticité : R_e en MPa
- Résistance à la rupture : R_r en MPa
- Allongement pourcent : $A\%$ en % (il définit l'allongement à la rupture $A\% = \frac{L_u - L_0}{L_0} . 100$)
- Le coefficient de striction : $Z\%$ en % (il caractérise la striction $Z\% = \frac{S_0 - S}{S_0} . 100$)

2.2 Essai de résilience

La résilience K caractérise la capacité d'un matériau à absorber les chocs sans se rompre. On utilise un dispositif du type Charpy, on mesure alors l'énergie qu'il faut pour casser l'éprouvette. Un pendule pesant, initialement en position haute est lâché il vient rompre l'éprouvette et remonte jusqu'à un point mort haut (point avant qu'il redescende). Sans éprouvette, le pendule remonterait d'un angle $\beta = \alpha$ car les frottements sont très faibles. Le calcul de l'énergie nécessaire pour rompre l'éprouvette se fait donc en comparant les angles α et β . Car l'énergie (W) absorbée par l'éprouvette peut se noter : $W = m.g.(h_0 - h_1)$.

La résilience est égale au rapport de W sur l'aire de la section de l'entaille, elle s'exprime en $J.cm^{-2}$.





2.3 Essai de dureté

La dureté H caractérise la résistance qu'un matériau oppose à la pénétration d'un corps dur. Plus un matériau est dur plus il résistera au marquage et à l'usure.

Trois essais normalisés sont couramment utilisés suivant la nature du matériau.

Principaux essais de dureté												
essai	symboles	principe et conduite de l'essai										
Brinell HB	HBW			$HBW = \frac{0,102 \times F}{S}$ avec $S = \frac{\pi d}{2} (d - \sqrt{d^2 - a^2})$ (F en N, a et d en mm) $0,981 \leq F \leq 2\,942$ daN								
				$HV = 0,189 \frac{F}{d^2}$ avec $d = \frac{d_1 + d_2}{2}$ (F en N, d1 et d2 en mm) Variante: essai Knoop $d_1 = 7,1$ d_2 HK = $14,2 F/d_1^2$ angle $172,5^\circ$								
Vickers HV	HV 100 HV 50 HV 30 HV 20 HV 10 HV 5 ... HV 0,01	<table border="1"> <tr> <td>HV</td> <td>HV 100</td> <td>HV 50</td> <td>etc.</td> </tr> <tr> <td>F (N)</td> <td>980,7</td> <td>490,3</td> <td>...</td> </tr> </table> pour HV 100, F = 100 kg		HV	HV 100	HV 50	etc.	F (N)	980,7	490,3	...	
		HV	HV 100	HV 50	etc.							
F (N)	980,7	490,3	...									
Rockwell HR	HRA HRC HRD HRB HRE HRF HRG HRH HRK etc			billes : $d = 1,5875$ ou $3,175$ mm								



2.4 Essai de fatigue

Le phénomène de fatigue est le fait qu'un matériau puisse se rompre à des contraintes souvent bien inférieures à celles mesurées sur un essai conventionnel. Ce phénomène apparaît lorsqu'une pièce est sollicitée de manière cyclique un très grand nombre de fois. Il est important de prendre en compte la fatigue dans les systèmes mécaniques, car ils sont bien souvent sollicités de manière cyclique (roulement, engrenages, structure d'avions, rails de trains ...)

On réalise une étude statistique sur des éprouvettes ayant subi un nombre de cycles donné. On peut alors caractériser la contrainte limite de fatigue et la contrainte en fonction du nombre de cycles.

Remarque

La ténacité est la capacité d'un matériau à résister à la propagation d'une fissure ; cela s'oppose à la fragilité en fatigue. L'essai mécanique de ténacité consiste à solliciter une éprouvette pré-entaillée sur laquelle on amorce une fissure, par fatigue.

