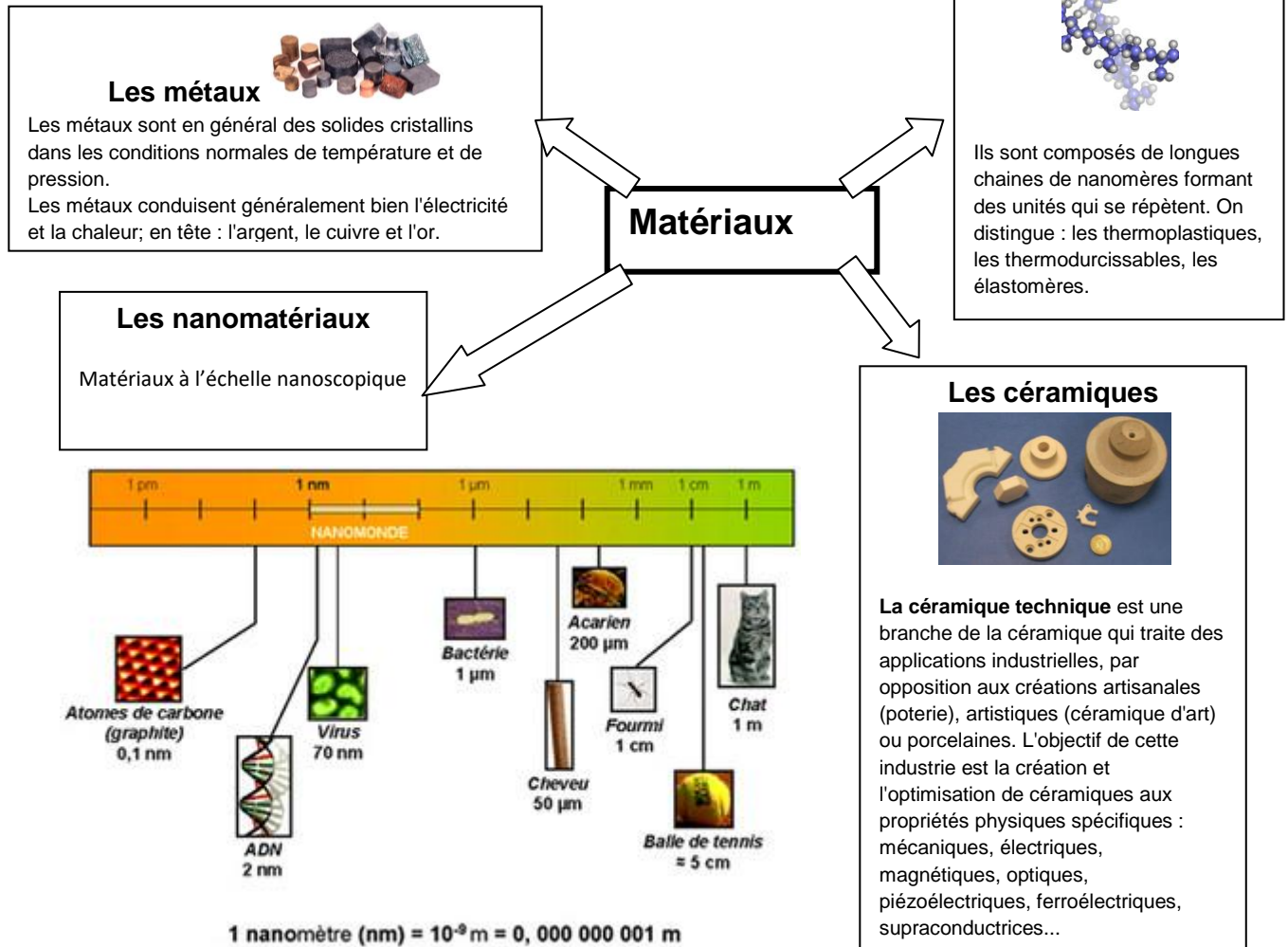


1- Structure des matériaux

Il existe de nombreux matériaux utilisés en Sciences de l'Ingénieur.

Différentes catégories de matériaux



Nanosciences et nanotechnologie

Les nanomatériaux du fait de leurs propriétés ouvrent de grandes perspectives d'innovation notamment dans les domaines de l'énergie.

Les nanotechnologies regroupent les instruments, les techniques de fabrication et les applications dérivées exploitant les phénomènes spécifiques liées à cette échelle nanométrique.

Le vaste champ des nanosciences et nanotechnologies ("nanos") cherche donc à comprendre, maîtriser, et utiliser ces nouveaux phénomènes et en envisage les applications.

Des nanomatériaux pour optimiser les technologies de l'énergie

Dans le domaine de l'énergie solaire, il s'agit par exemple d'intégrer des nanofils de silicium dans les cellules photovoltaïques. Ces modes de fabrication permettront d'augmenter le rendement (taux de conversion de la lumière en électricité) **pour atteindre des niveaux supérieurs à 30%**, contre 20% au mieux, actuellement.

L'utilisation de nanoparticules en tant que catalyseurs pour les piles à combustible ou les batteries électriques, la mise au point de revêtements par nanocouches pour combiner plusieurs effets dans un même matériau, ou encore la nanostructuration pour renforcer des matériaux métalliques ou céramiques.

La réduction de la taille des transistors passe principalement par l'optimisation des procédés technologiques permettant de les concevoir: dépôt de matière, lithographie, gravure, implantation ionique et traitement thermique.

Les alliages métalliques

La plupart des métaux sont utilisés sous forme d'alliages obtenus en additionnant des atomes étrangers en plus ou moins grande quantité ; on obtient alors des matériaux répondant à des propriétés mécaniques, chimiques (corrosion) ou de mises en œuvre supérieures. Les aciers sont des alliages fer-carbone avec moins de 2% de carbone.

Acier =

Fonte =

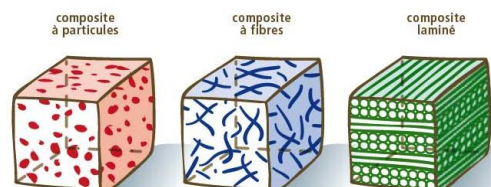
Bronze =

Laiton =

Les composites

Les matériaux composites sont constitués par l'assemblage d'au moins deux matériaux non miscibles ayant une bonne aptitude à l'adhésion. Ils permettent :

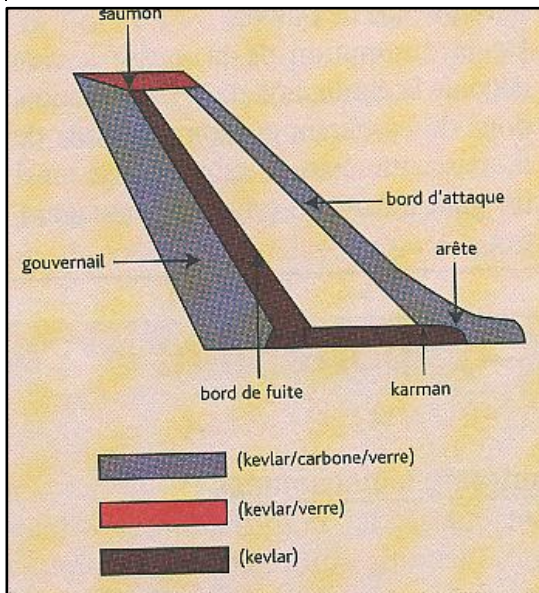
- Un gain de masse (amélioration des performances) ;
- Une longévité accrue (meilleur amortissement) ;
- Une corrosion inexistante (économie de maintenance).



Par exemple, pour le kevlar/verre, le kevlar (polymère) constitue la matrice et le verre (céramique) le renfort.

Exercice : Justifier l'utilisation de matériaux

Le schéma ci-dessous détaille la composition de la dérive d'un avion moderne. Par rapport à une dérive métallique, le nombre de rivets et d'éléments formant cette dérive est divisé par 20.



Q1 : A quelles catégories appartiennent les matériaux constituant cette dérive ? Quels sont la matrice et le renfort du composite utilisé dans le saumon de dérive ?

Q2 : Pourquoi la diminution des éléments constituant la dérive présente-t-elle un intérêt pour le constructeur ?

Q3 : Pourquoi le saumon de dérive ne contient-il pas de carbone ?

Q4 : La masse volumique moyenne des matériaux utilisés pour cette dérive est $\rho = 1.8 \text{g.cm}^{-3}$. Pourquoi cette valeur influe-t-elle sur le gain en masse lorsque l'avion est chargé ?

$$\rho_{\text{acier}} = 7.8 \text{g/cm}^3$$

$$\rho_{\text{aluminium}} = 2.7 \text{g/cm}^3$$

$$\rho_{\text{kevlar}} = 1.4 \text{g/cm}^3$$

2- Propriétés des matériaux

Pour répondre correctement aux fonctions de l'objet technique, il faut choisir judicieusement les matériaux utilisés pour les solutions techniques. Chaque matériau a des propriétés qui lui sont propres et on le choisit en fonction des critères de performance attendus.

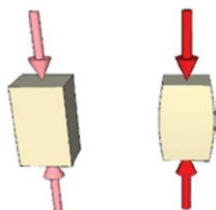
Propriétés physique : dimension, densité, masse volumique, ...

Propriétés mécaniques : résistance en compression, en traction, en torsion, ...

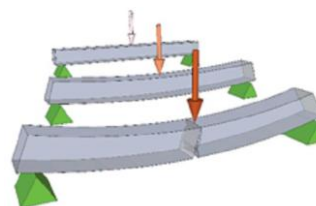
Propriétés thermiques : dilatation, résistance au feu, ...

Contraintes mécaniques

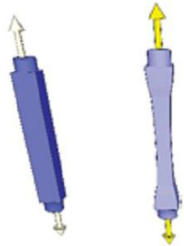
Pour étudier les déformations des matériaux face aux sollicitations, on pratique des essais mécaniques (traction, torsion, flexion, dureté, compression, flambage, ...).



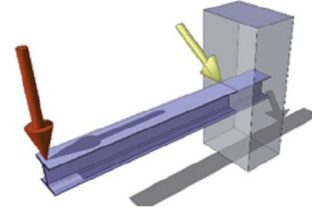
La **compression** provoque un raccourcissement pouvant entraîner une pulvérisation du matériau si l'effort augmente.



La **flexion** provoque un fléchissement pouvant entraîner la rupture du matériau si l'effort augmente.



La **traction** provoque un allongement et un rétrécissement pouvant entraîner la rupture du matériau si l'effort augmente.



Le **cisaillement** est souvent rencontré quand il y a des porte-à-faux (un balcon, par exemple). Il provoque une fissure pouvant entraîner la rupture du matériau.

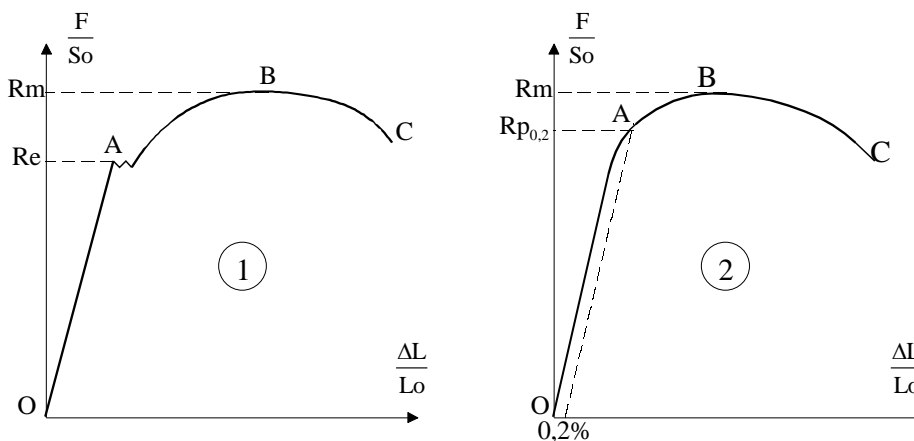
L'essai de traction permet de déterminer le module de Young :

$$E = \sigma / \varepsilon$$

σ : Contrainte (Pa)

ε : allongement relatif ($\varepsilon = \Delta l / l_0$)

La machine de traction impose à l'éprouvette une élancement croissante $\frac{\Delta L}{L_0}$ et mesure en même temps grâce à un dynamomètre l'effort résultant. On obtient deux types de diagrammes selon les matériaux :



On peut distinguer 3 phases de déformation :

- De O à A : c'est la phase élastique, où la déformation est réversible et proportionnelle à l'effort.
- De A à B : la déformation permanente et homogène est appelée déformation plastique. Le matériau s'écroute. La déformation n'est pas réversible.
- De B à C : la déformation n'est plus homogène, elle se produit sur une petite partie de l'éprouvette, on appelle ce phénomène la striction. La rupture se produit en C.

Exercice : Calcul du module de Young

Un échantillon de Kevlar a les dimensions suivantes : longueur 200mm, largeur 5cm, épaisseur 1mm. On l'étire (essai de traction) dans le sens de la longueur et on mesure la force F de traction en fonction de l'allongement Δl . On obtient le tableau suivant :

Allongement (mm)	0	3	6	10	15	18	20
Force de traction (kN)	0	101.25	202.5	335.5	506.25	607.5	675

Q1 : Représenter la force de traction en fonction de l'allongement. La déformation de cet échantillon est-elle dans le domaine élastique ?

Q2 : Calculer le module d'élasticité E du kevlar (module de Young).

3- Qualités thermiques des matériaux

Certaines fonctions techniques imposent de conduire la chaleur (radiateurs) et d'autres d'isoler certains éléments pour éviter les pertes d'énergie thermique. Dans ce cas on utilise des matériaux qui sont isolants thermiques.

Le pouvoir d'isolation vient du matériau lui-même mais aussi parfois de la forme qu'on lui donne.

Exemple :



Contraintes thermiques : dilatation-contraction

Un changement de température entraîne une modification de la longueur qui s'exprime avec la loi :

$$\Delta l = l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta \theta$$

Δl : variation de longueur (m)

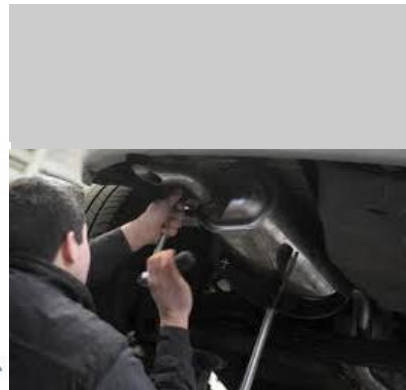
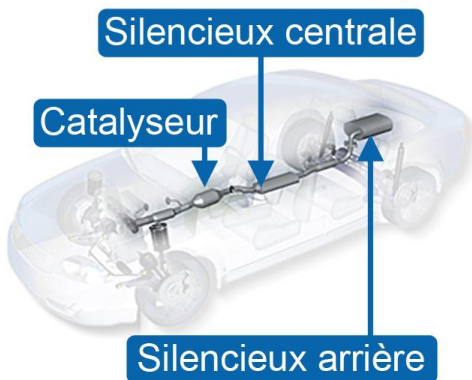
l_0 : longueur initiale (m)

α : coefficient de dilatation linéaire (°C)⁻¹

$\Delta \theta$: variation de température (°C)

Exercice : Contrainte thermique

Une tige métallique de 15cm maintenant un pot d'échappement s'allonge de 0.25mm lorsque la température passe de 20°C à 90°C. Déterminer le coefficient de dilatation du matériau la constituant.



Exercice

Q1 : les matériaux utilisés pour les murs non porteurs sont-ils les mêmes que ceux des murs porteurs ?

Q2 : Comment se déforme un linteau s'il n'est pas assez solide ?

Q3 : Que se passe-t-il s'il n'y a pas de joint de dilatation sur un pont ?



Sans soutien, le poids des briques, au-dessus d'une ouverture de fenêtre, les ferait tomber. Le linteau les en empêche.



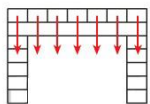
Joint de dilatation

Par forte température, le pont se dilate. Les joints de dilatation sont prévus, pour lui permettre de s'allonger.

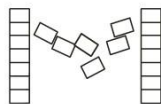


Mur porteur

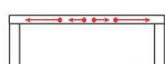
Sans mur porteur solide, une structure pourrait s'écrouler sous son propre poids.



Poids des briques



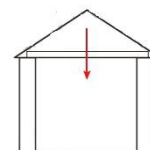
Sans linteau



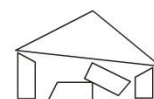
Dilatation du pont par forte température



Sans joint de dilatation, le pont se déforme



Poids du toit



Sans mur porteur

4- Corrosion des matériaux / tenue dans le temps

La corrosion sert à désigner l'altération d'un matériau par réaction chimique avec un oxydant

Aluminium : la couche d'alumine est protectrice.

Fer : la couche de rouille est poreuse et l'oxydation du fer se poursuit. Il faut protéger le fer par des peintures.

La corrosion est un problème [industriel](#) important : le coût de la corrosion, qui recouvre la totalité des moyens de lutte contre la corrosion, le remplacement des pièces ou ouvrages corrodés et les conséquences directes et indirectes des accidents dus à la corrosion, est estimé à 2% du [produit brut](#) mondial). Chaque seconde, ce sont quelques 5 tonnes d'acier qui sont ainsi transformées en oxydes de fer...



Corrosion différenciée sur deux métaux plus et moins oxydables