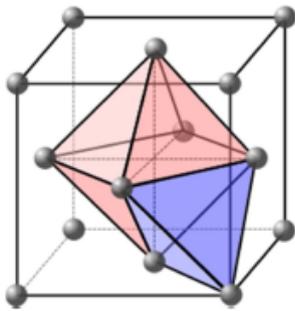
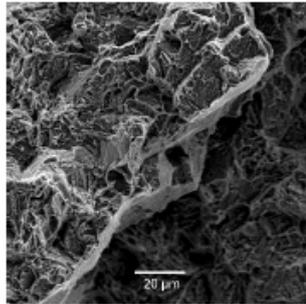


Cycle 3: Etude de la conception et de la réalisation des ensembles mécaniques

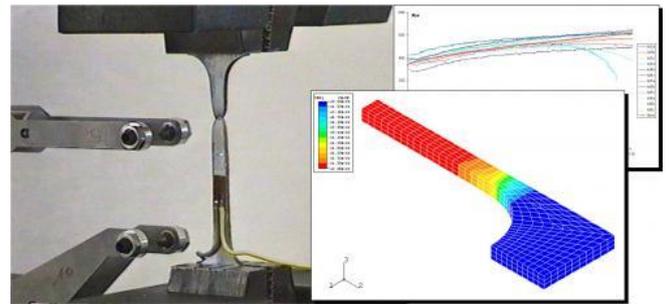
Chapitre 1 – Caractéristiques mécaniques des matériaux – Essais



Site tétraédrique dans une maille CFC
Echelle : $10^{-10}m^1$



Acier bainitique
Echelle $10^{-6}m^2$



Tous les objets que nous rencontrons sont faits de matière. Suivant les fonctions que doit réaliser un objet, des choix ont dû être fait pour faire le choix des matériaux qui le constituent.

Pour choisir parmi la multitude de matériaux existants (matériaux métalliques, plastiques, composites, organiques ...) nous allons mettre en place des critères qui aideront au choix d'un matériau. Le but de ce cours est donc de présenter les familles de matériaux. Il doit aussi permettre de décrire les essais permettant de déterminer les caractéristiques mécaniques de matériaux.

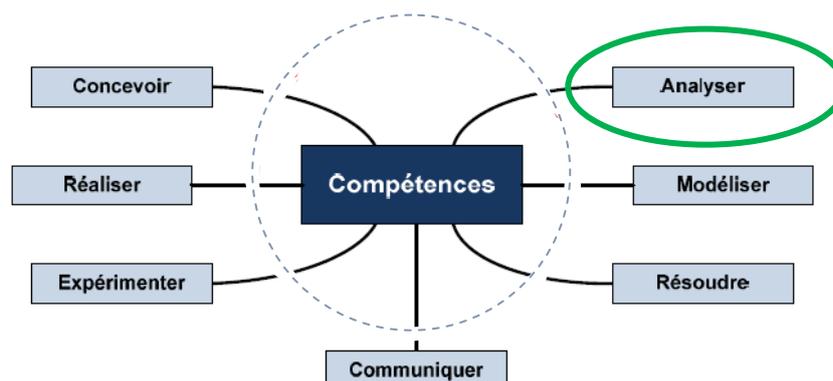
Problématique

- En phase d'avant conception d'un produit, quels sont les critères qui vont permettre de choisir les matériaux à utiliser ?

Il est évident que sur les trois exemples précédents les choix de matériaux conditionneront le bon usage ou le bon fonctionnement du produit.

Compétences :

- Analyser :
 - A3-C12 : Matériaux
- Concevoir
 - Conc1-C4.2 : Typologie des matériaux et leurs caractéristiques



Sommaire

1. <u>Qu'est ce qu'un matériau ?</u>	3
2. <u>Les familles de matériaux et leurs propriétés</u>	3
2.1. Les familles de matériaux	3
2.2. Les principales propriétés des matériaux	4
2.3. Déformations et résistance des matériaux	4
3. <u>Caractéristiques mécaniques à travers les principaux essais</u>	5
3.1. Essai de dureté	5
3.2. Essai de traction	6
3.3. Essai de résilience	8
3.4. Essai de fatigue	9
4. <u>Synthèse sur les caractéristiques mécaniques à connaître</u>	9



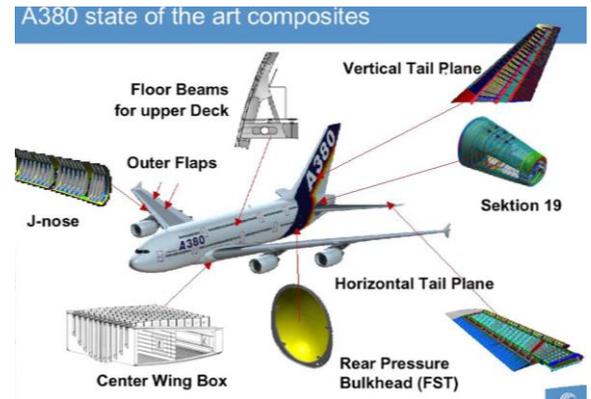
PMP : Caractéristiques mécaniques des matériaux - Essais

Un enseignement en sciences des matériaux est incontournable dans une formation d'ingénieur. En France, 40 écoles sont spécialisées en SdM. Une approche scientifique s'impose.

*Le programme de sup PTSI se limite à la connaissance des matériaux, à leurs propriétés physiques, mécaniques et de mise en forme pour les **matériaux métalliques et plastiques**.*

1. Qu'est qu'un matériau ?

Un **matériau** est une **matière d'origine naturelle ou artificielle** que l'homme **façonne** pour en faire des objets. C'est donc une matière de base sélectionnée en raison de **propriétés particulières** et **mise en œuvre** en vue d'un usage spécifique. La nature chimique, la forme physique (phases en présence, granulométrie et forme des particules, par exemple), l'état de surface, des différentes matières premières qui sont à la base des matériaux confère à ceux-ci des **propriétés particulières**.



2. Les familles de matériaux et leurs propriétés

2.1. Les familles de matériaux

L'ingénierie des matériaux s'intéresse aux **propriétés mécaniques** (**résistance des matériaux RDM**), à leur comportement sous l'action de **forces** et **contraintes** extérieures. Pour cela, on dispose d'un grand nombre de lois de la physique que l'on appelle lois de comportement (de la statique, de la dynamique...). En résistance des matériaux, la géométrie intervient toujours dans ces lois de comportement. L'ingénierie des matériaux s'intéresse aussi aux autres caractéristiques : *physiques, thermiques, électriques, environnementales, sécuritaires et économiques*.

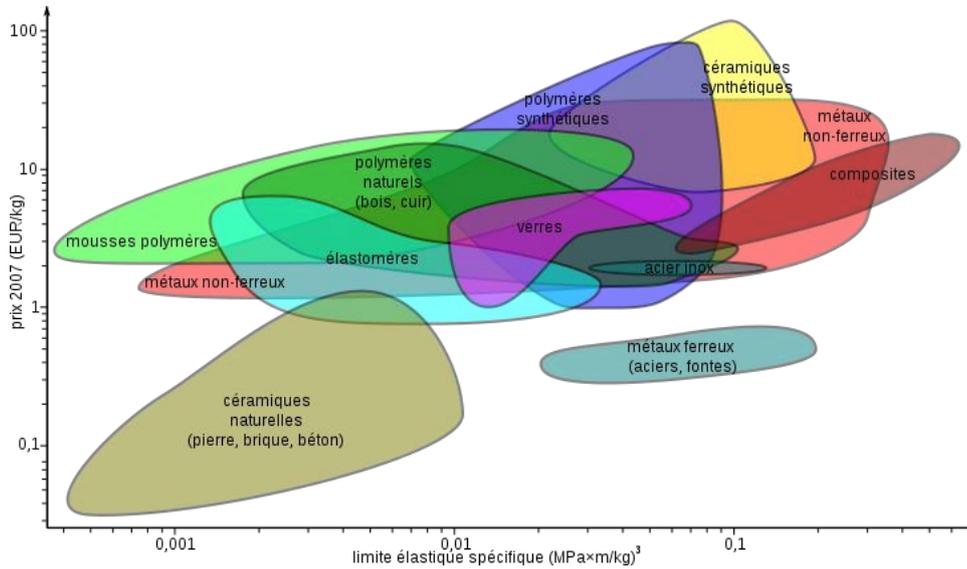
On recense environ **80 000 matériaux** utilisés en constructions diverses et, pour mieux se repérer, les matériaux sont souvent regroupés en **six à huit familles**:

- **Céramiques** (SiC, Al₂O₃, ZrO₂, diamant, ciment, béton...)
- **Métaux ferreux** (aciers fortement et faiblement alliés, fontes)
- **Métaux non-ferreux** (alliages d'aluminium, de cuivre, de nickel, de titane, de zinc...)
- **Polymères thermoplastiques**
- **Polymères thermodurcissables**
- **Élastomères et mousses** (silicone, EPDM, gomme de nitrile (en), polyuréthane...)
- **Verres**
- **Composites** et naturels (bois, stratifié, fibres...)



PMP : Caractéristiques mécaniques des matériaux - Essais

Voici un graphique intéressant positionnant les différentes familles de matériaux en fonction de leur résistance mécanique à la limite élastique (σ_e) et leur prix au kilo.



2.2. Les principales propriétés des matériaux

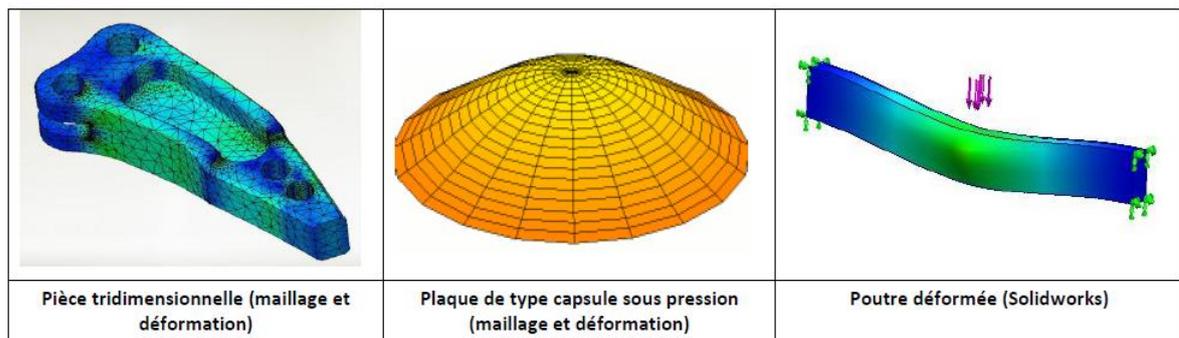
Les propriétés principales des matériaux peuvent être divisées en plusieurs groupes tels que :

- **Propriétés physiques**: la dimension, la densité, la masse volumique, la porosité, etc..
- **Propriétés mécaniques**: la résistance, dureté, usinabilité, etc..
- **Propriétés chimiques**: l'alcalinité, l'acidité, etc..
- **Propriétés physico-chimiques**: l'absorption, la perméabilité, le retrait et le gonflement, etc..
- **Propriétés thermiques**: la dilatation, le retrait, la résistance et comportement au feu, etc..

2.3. Déformations et résistance des matériaux

Tout solide réel est **déformable dans un domaine spécifique** et peut être détérioré lorsque les contraintes qu'il subit dépassent une valeur critique. On distingue plusieurs familles de solides :

- Les **pièces tridimensionnelles** ayant 3 dimensions du même ordre de grandeur,
- Les **plaques** (ou coques) dont une dimension solide est négligeable devant les deux autres,
- Les **poutres** dont 2 dimensions (définissant localement la section) sont petites devant la 3ème (la longueur).





PMP : Caractéristiques mécaniques des matériaux - Essais

Ce cours a pour objectif de présenter les principales caractéristiques mécaniques des matériaux étudiés en PTSI/PT, éléments de base pour les **calculs de déformations et de résistance des matériaux**, étape indispensable à tout **dimensionnement de structure**.

<p>Pylône électrique et câble de transport d'énergie</p>	<p>Arbre de transmission et denture du pignon d'entraînement</p>
<p>Flexion d'aile d'avion (Airbus A380) 6,8m de flèche</p>	<p>Simulation d'un pont en treillis de poutre</p>

3. Les caractéristiques mécaniques à travers les principaux ESSAIS

Les essais sont essentiels pour apporter des renseignements précis sur la qualité et les **performances possibles d'un matériau**. Ils sont normalisés.

3.1. Essai de DURETE

Les essais de dureté sont d'une grande utilité pour le métallurgiste à cause de leur simplicité et leur caractère peu destructif.

Principe

Il consiste à enfoncer un pénétrateur dans le métal à tester. La charge est constante et on mesure la dimension de l'empreinte. Plus elle est grande moins le métal est dur.

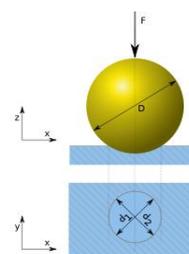
Dureté H = rapport force sur la surface (équivalent à une contrainte)

Exemple de l'essai BRINELL (symbole HBW)

Pénétrateur = balle en acier ou en carbure de tungstène.
On mesure la surface de l'empreinte S obtenue à l'aide d'un projecteur de profil.

$$HB \cong 0,0649 \cdot \frac{F}{D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

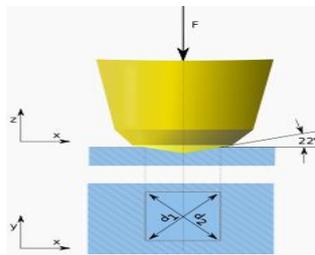
HB = Dureté Brinell.
F = Force appliquée [N]
D = Diamètre de la bille. [mm]
d = Diamètre de l'empreinte lais





PMP : Caractéristiques mécaniques des matériaux - Essais

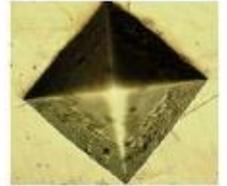
Exemple de l'essai VICKERS (symbole HV)



$$HV \cong 0,189 \cdot \frac{F}{d^2}$$

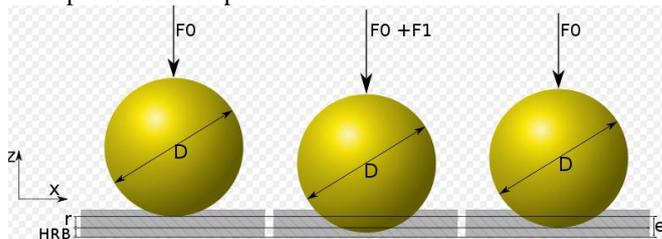
HV = Dureté Vickers.
 F = Force appliquée [N]
 d = Moyenne des diagonales de l'empreinte [mm]

Pénétrateur = pièce en pyramide en acier ou en carbure de tungstène.



Exemple de l'essai ROCKWELL (symbole HR)

Il consiste à imprimer en 2 temps un pénétrateur normalisé (bille ou cône) et à mesurer l'accroissement rémanent h de la profondeur de pénétration.



Pour un essai avec une bille, la dureté HRB :

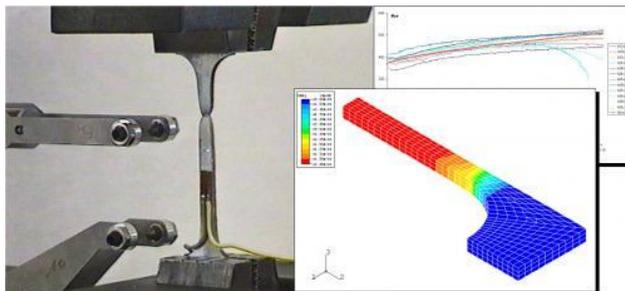
$$HRB = 100 - (h/0.001)$$

3.2. L'essai de TRACTION

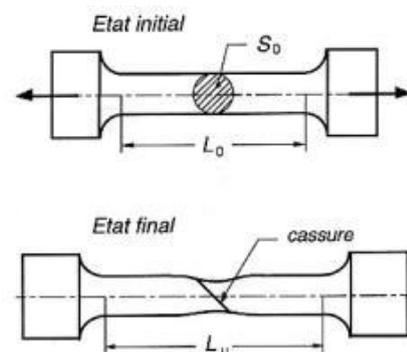
L'essai consiste à soumettre une éprouvette à un **effort de traction** et cela généralement jusqu'à **rupture** pour déterminer une ou plusieurs **caractéristiques mécaniques**.

Il est défini par la norme NF EN 10002. On impose une **déformation croissante** à l'éprouvette sur laquelle on a tracé 2 repères initialement distants de L_0 et on mesure simultanément l'effort F et l'**allongement** $AL=L-L_0$.

L'éprouvette est normalisée et peut être obtenue par usinage ou moulage. Elle comporte une partie calibrée de longueur L_c qui est raccordée par un congé aux têtes d'amarrage.

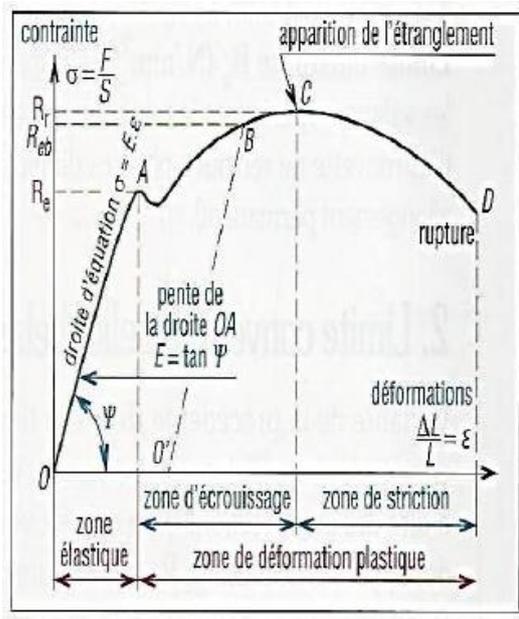


<https://www.youtube.com/watch?v=cADYlfHjCrU>

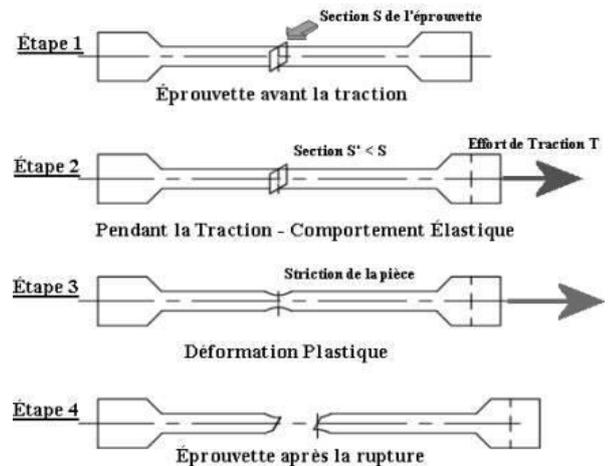


PMP : Caractéristiques mécaniques des matériaux - Essais

Courbe de l'essai de traction



La courbe de traction représente l'évolution de la contrainte $\sigma = F/S_0$ en fonction de l'allongement unitaire $\epsilon = \Delta L/L$. Elle doit être connue par cœur.



Principales caractéristiques déterminées :

Résistance à la limite élastique : R_e ($Mpa = N/mm^2$)

Résistance à la traction : R_m

Allongement en % après rupture : $A\% = 100 * (L_u - L_0) / L_0$ avec L_u = longueur reconstituée après rupture

Coefficient de striction en % après rupture : $Z\% = 100 * (S_u - S_0) / S_0$

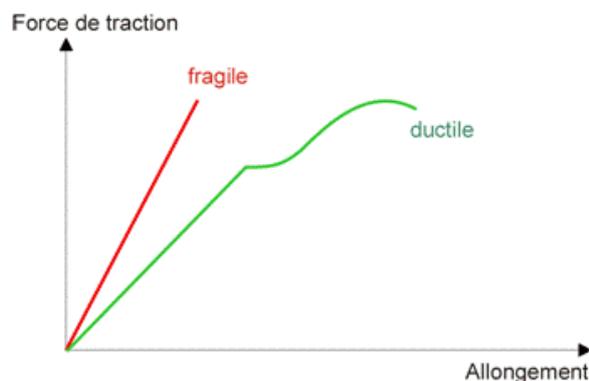
Module de Young E (module d'élasticité longitudinal): $E = \sigma / \epsilon$

Info : le module de Young est la contrainte mécanique qui engendrerait un allongement de 100 % de la longueur initiale d'un matériau (il doublerait donc de longueur). Un matériau dont E est élevé est très rigide.

Module de cisaillement G (élasticité transversale) est donné par la relation : $E = 2(1+\nu).G$ avec ν = coef poisson

Exemple : pour l'acier S235, $R_e = 235 Mpa$, $E = 210000 Mpa$, $\nu = 0.3$, $G = 80000 Mpa$

Notion de DUCTILITE : capacité d'un matériau à se déformer plastiquement sans se rompre.



3.3. L'essai de RESILIENCE

La connaissance des caractéristiques mécaniques déduites de l'essai de traction peut ne pas être suffisante car des ruptures peuvent être obtenues **en dessous de la limite élastique**. De plus, un matériau peut être résistant à un effort progressif, mais pas **résistant aux CHOCS**.

Un des moyens le plus classique pour caractériser la fragilisation d'un matériau est fourni par l'**essai de résilience** sur une **éprouvette entaillée**, décrit par la norme NF EN 10045.

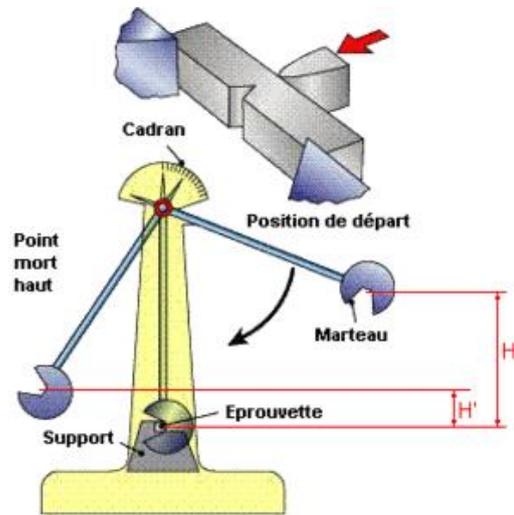
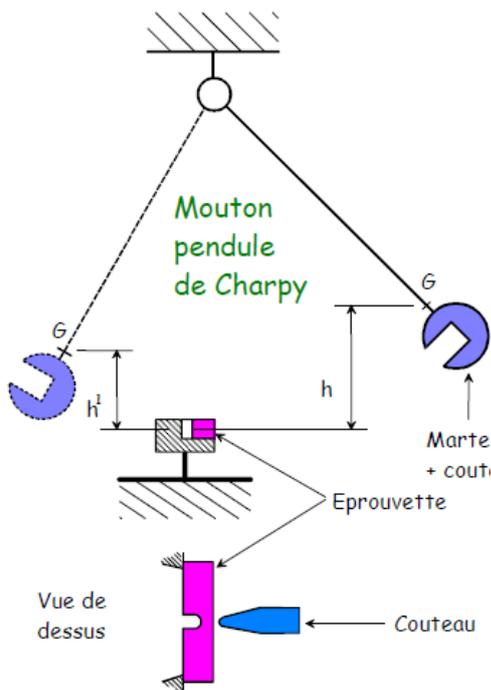
Principe

Il consiste à rompre, d'un seul coup de **mouton pendule**, une éprouvette entaillée en son milieu et reposant sur 2 appuis. On détermine l'énergie W absorbée dont on déduit la résilience.



$$K = \text{Energie absorbée } W \text{ (joules)} / \text{Section au doigt entaille (cm}^2\text{)}$$

Avec $W = W_0 - W_1 = P(H - H')$



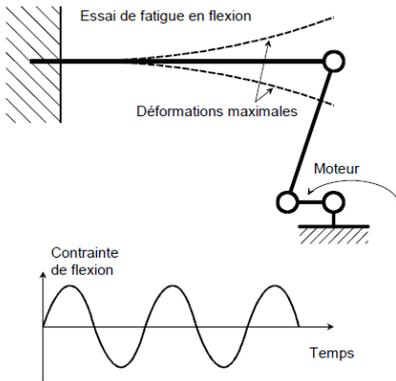


PMP : Caractéristiques mécaniques des matériaux - Essais

3.4. L'essai de FATIGUE

L'estimation de la durée de vie en fatigue d'une structure est un problème complexe. La fatigue est issue d'une **répétition de sollicitations alternées et pas toujours constantes** sur la matériau. L'objectif de l'essai de fatigue est de déterminer le nombre de cycle jusqu'à rupture.

Voici quelques courbes dites de Wholër $\sigma = f(\text{cycles})$:



L'essai de fatigue consiste à imposer à une pièce un déplacement variable dans le temps en restant dans le domaine des déformations élastiques.

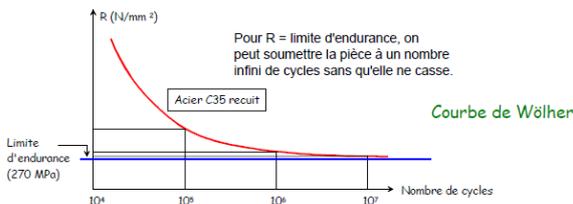
Sur la figure ci-contre est représenté un essai de fatigue en flexion alternée. Il en existe d'autres tels que traction ou torsion.

On observe expérimentalement que pour un certain nombre de cycles il y a rupture de la pièce. On note le nombre de cycles ayant conduit à la rupture.

On obtient donc un point du diagramme de Wöhler page suivante.

On répète l'expérience en faisant varier l'amplitude du mouvement (donc la charge unitaire R) pour obtenir d'autres points.

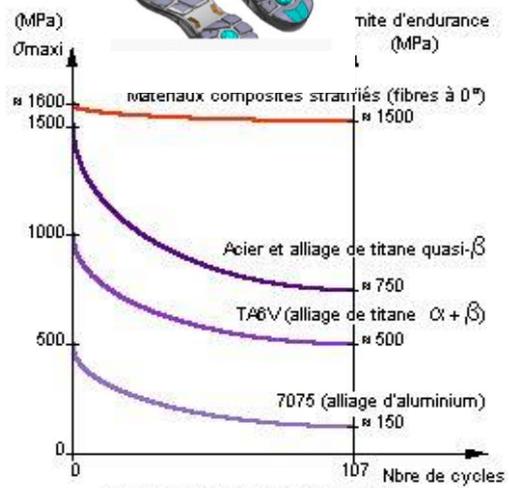
On obtient avec ces différents points une courbe appelée courbe de WÖHLER.



Pour les métaux, la courbe tend vers une asymptote. La position en ordonnée de cette asymptote est appelée limite d'endurance ou limite de fatigue. Pour cette valeur de R, la tenue de la pièce sera théoriquement infinie.



Essai fatigue semelles

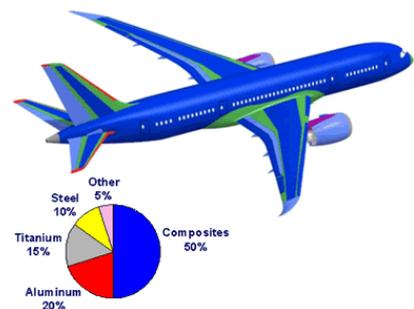


Comparaison de la tenue en fatigue de quelques matériaux

4. Synthèse sur les caractéristiques mécaniques à connaître

Un matériau métallique possède un certain nombre de caractéristiques mécaniques importantes qu'il faut bien connaître, à savoir :

- **Résistance à la limite élastique : Re**
- **Résistance à la rupture : Rm**
- **Allongement : A% (lié à la ductilité)**
- **Modules d'élasticité E et G**
- **Dureté (HB, HRC, HV)**
- **Résistance aux chocs : K**
- **Résistance à la fatigue (0.4 à 0.6 de Rm pour les aciers)**



Comment choisir un matériau ?

Le choix du matériau se fera en fonction :

- des **efforts à encaisser**, donc des **contraintes σ** ($=F/S$)...
- du **poids souhaité**,
- du **mouvement relatif** entre les pièces en contact (rotation, glissement, frottement, adhérence...)
- de l'**environnement** (humidité, poussière, sel, gel...)
- du **prix**.