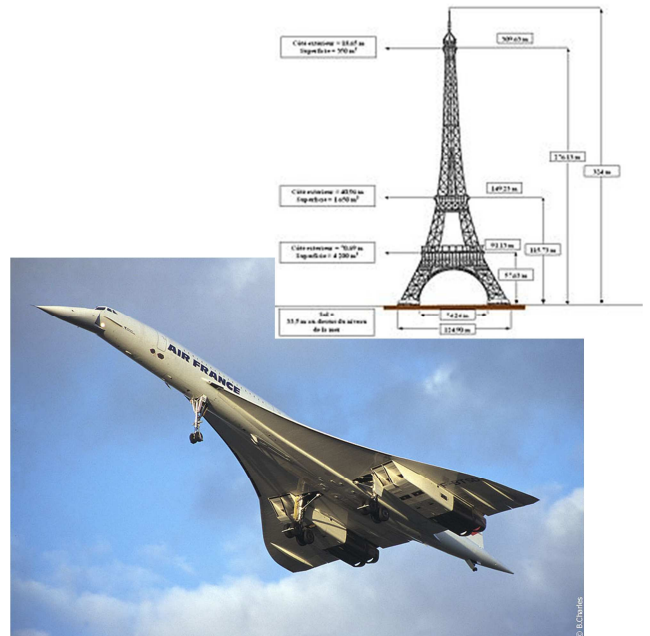


Résistance des matériaux.

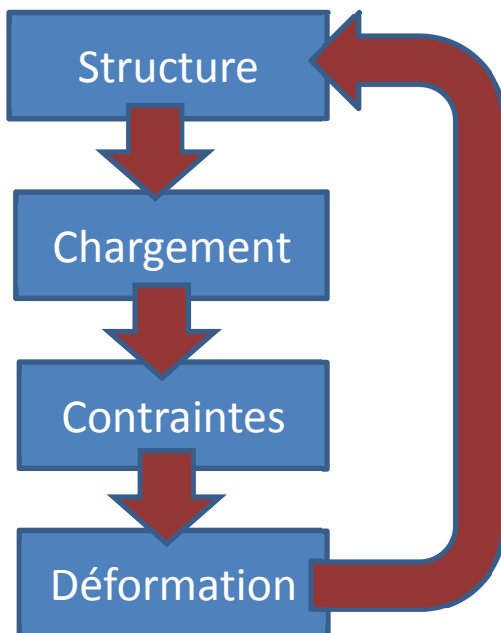
La résistance des matériaux est un pan de la mécanique dont l'objectif est le **dimensionnement des structures** devant respecter un cahier des charges : on distingue principalement deux contraintes :

- **Etat de ruine** ne devant pas être atteint (déformation irréversible, ou rupture).
- **Déformation réversible** d'une amplitude limitée.

Cette discipline est historiquement celle de l'ingénieur mécanicien ou architecte. Jusqu'à la fin du 20^{ème} siècle, où la CAO a contribué à une plus grande finesse des modèles, ces méthodes de calculs ont montrés des résultats très proches de la réalité (erreurs <5%). La tour Eiffel, ou le Concorde, sont autant de structures dimensionnées par ces modèles de calcul.



Modèles de la RdM.



La résistance d'une structure est obtenue si le matériau lui-même résiste. Le modèle mis en œuvre pour l'étude doit nous amener au cœur de la matière. A partir de l'étude statique d'une structure, nous devons mettre en place un modèle capable d'apprécier ce que subit le matériau.

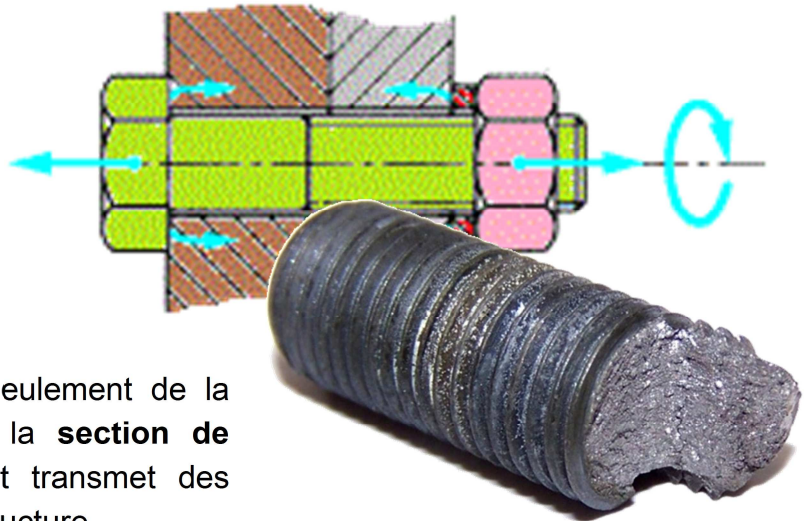
Alors la connaissance du comportement du matériau doit permettre la détermination du comportement de la structure.

Suivant le type de structure on adoptera des modèles différents :

- La poutre (modèle à 1 dimension): pour les pièces longues (poutre, arbres...)
- La coque (modèle à 2 dimensions): pour l'étude des tôles, (carrosseries...)
- Le milieu continu (modèle à 3 dimensions): utilisé aujourd'hui en simulateur sur les modélisations 3D.

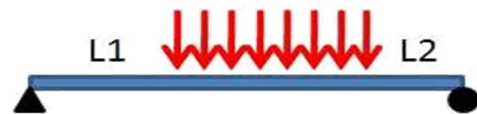
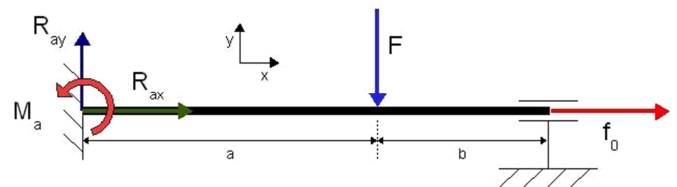
Les efforts intérieurs

le principe fondamental de la statique ne met en jeu que des efforts extérieurs à l'objet étudié. Tout l'art du mécanicien repose sur la possibilité de faire apparaître comme action mécanique extérieure, une action mécanique transmise à partir d'une section du corps : il suffit d'isoler une partie seulement de la structure étudiée ; ainsi, à travers la **section de séparation**, la liaison encastrement transmet des **efforts** assurant la **cohésion** de la structure.



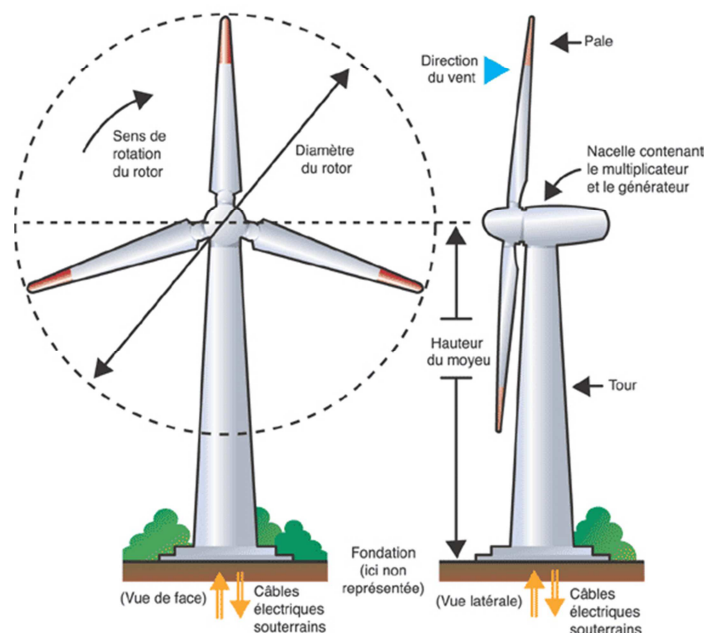
Le modèle de la poutre droite.

La poutre droite est le modèle dédié à l'étude des pièces longues. La poutre est considérée comme une succession de tranches infiniment fines. L'idée est dans un premier temps de considérer la structure comme un segment (1 dimension) sur lequel on exerce un chargement. Dans un deuxième temps, on prend en compte la forme de la section pour déterminer les contraintes subies par le matériau, puis le comportement de chaque section.



Exemples de modélisation de poutre

Schémas d'ensemble d'une éolienne

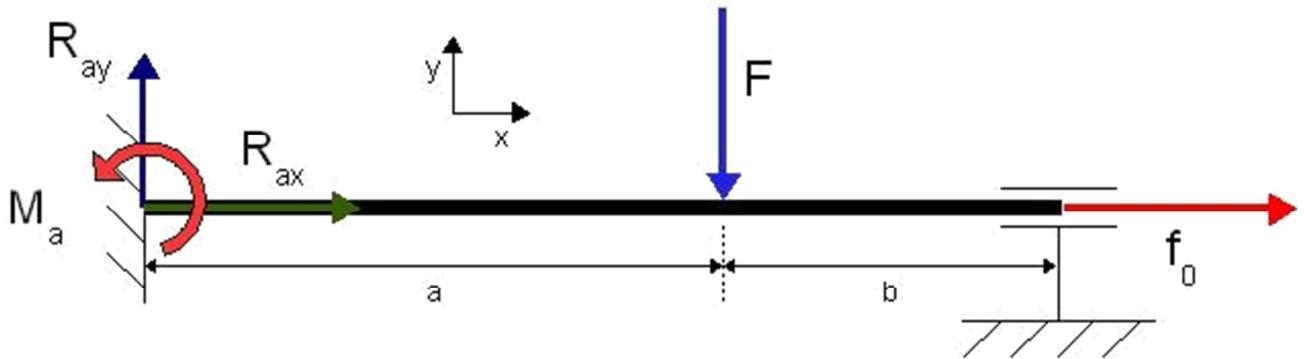


-
-
-

L'effort de cohésion.

Sur la poutre, on dispose un repère tel que :

- (O,x) est l'axe de la poutre (ou ligne neutre)
- (x,y) est le plan d'observation.



Si on coupe virtuellement la poutre en la section d'abscisse x , et qu'on isole la partie S1 $[0,x]$, on peut selon le principe fondamental de la statique, poser les conditions de son équilibre. Alors l'action de S2 $[x, L]$ est une action mécanique extérieure : elle est appelée **effort de cohésion**. C'est l'action mécanique requise pour garantir la cohésion de la poutre.

Si toutes les actions mécaniques extérieures à la poutre sont connues (chargement), alors on peut déterminer les efforts de cohésion dans la section $S(x)$ de 2 manières (au choix suivant la situation) :

- Par l'étude de l'équilibre de S1 :soit
- Par l'étude de l'équilibre de S2 : soit



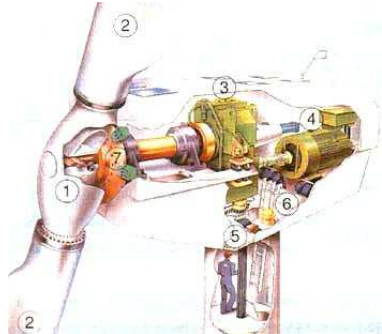
Cette étude est alors menée pour n'importe quelle valeur de x dans l'intervalle $[0,L]$. L'utilisation des **torseurs** est alors d'un grand avantage, puisqu'elle nous permet l'écriture simultanée, et de manière littérale de l'ensemble des **composantes** de l'effort de cohésion. Cet effort s'établit en 6 composantes : 3 pour les **forces** (absence de translation), et trois pour les **moments** de forces calculés au centre de la section $S(x)$ (absence de rotation).

	<i>forces</i>	<i>Moment / G(x)</i>	
/x	G(x)
/y	
/z	

Chaque composante correspond à un cas de sollicitation différent :

Exemple de poutres et leurs sollicitations:

Dans le cas d'un éolienne, pour les trois poutres identifiées ci-dessus, on peut, sans calculs caractériser le type de sollicitation en observant le chargement.

Une pale	Le mât	Le rotor
		

Exemple d'étude détaillée : Le plongeur :

Un plongeur est une planche fixée à une extrémité. La charge est le poids du plongeur qui se situe quelque part au milieu de la planche..

Etude du tronçon $[a, L]$: Il n'y a plus d'action mécanique extérieure au-delà de $x=a$. donc l'effort de cohésion est nul. $[coh] = [ext \rightarrow S2] = 0$

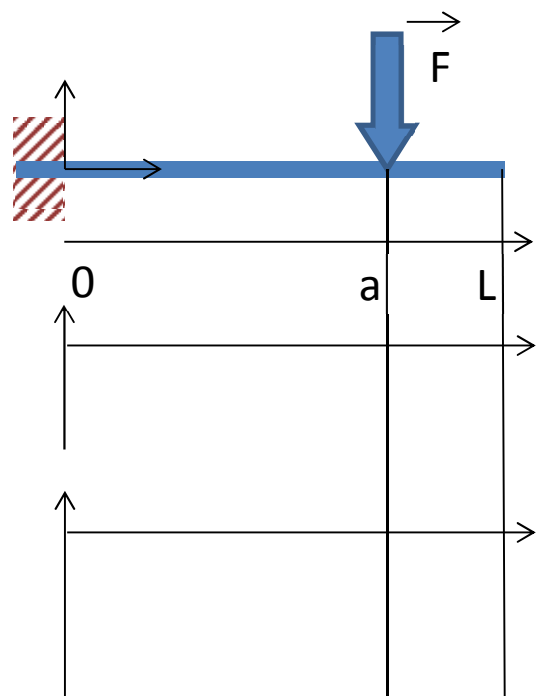
- Forces = toutes composantes nulles.
- Moments = toutes composantes nulles.

Etude du tronçon $[0, L]$. La partie $S2$ subit le poids du plongeur. Au niveau de la section $S(x)$, on ressent :

- Force :
- Moment $/G(x)$:

On en déduit les deux composantes non nulles de l'effort de cohésion.

On constate alors qu'une section est particulièrement sollicitée : celle à l'abscisse $x=0$ où les deux composantes atteignent leur maximum. Si le plongeur doit casser, c'est certainement en cet endroit qu'apparaîtra l'état de ruine. On peut désormais anticiper le phénomène en proposant une section plus forte en cet endroit. Plongeur. La forme des diagrammes d'efforts est souvent une source d'inspiration pour le profil de poutre à adopter.

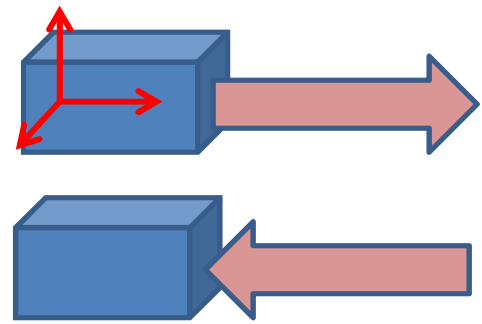


Traction/compression.

La sollicitation de traction est fondamentale en RdM puisqu'elle définit les deux grandeurs adimensionnelles caractéristiques du comportement du matériau (à venir).

On identifie une sollicitation de traction/compression lorsque l'effort de cohésion a pour composante l'effort normal N . On distingue deux cas suivant le signe de cet effort :

- $N > 0$: la partie S2 tire. alors la poutre est en traction (tend à s'allonger)
- $N < 0$: la partie S2 pousse. Alors la poutre est en compression (tend à se comprimer).

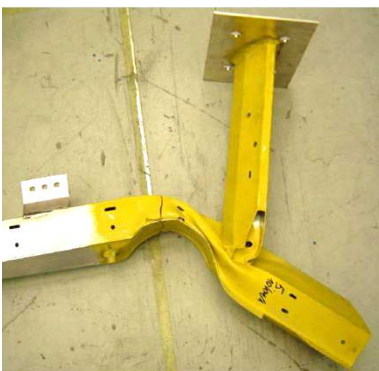
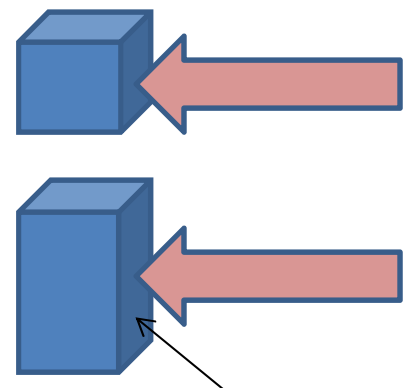


Traction et compression

Contrainte.

La force subie par la structure à travers la section de séparation n'a pas le même effet suivant la taille de la section. Il est important de considérer la répartition de cette force sur la section. On définit la contrainte σ (sigma) comme :

$$\sigma = \frac{N}{S}$$



Structure déformée

Critère de résistance.

Le matériau résiste si la contrainte normale est inférieure à une limite. On distingue deux cas de ruine :

- La limite élastique R_e , au-delà de laquelle les déformations sont irréversibles. La pièce encore en un seul morceau.
- La limite à la rupture R_m , à laquelle la matière se brise.

$$\sigma < R_e \text{ (ou } R_m)$$

Coefficient de sécurité.

En réalité, la limite de résistance peut être atteinte en cas de variation brusque de chargement (vibrations, chocs). Il convient alors d'observer une marge qu'on associe à un coefficient de sécurité. Sa valeur s est parfois imposée par des normes (Génie civil). En construction mécanique, on la fixe souvent de 3 à 4.

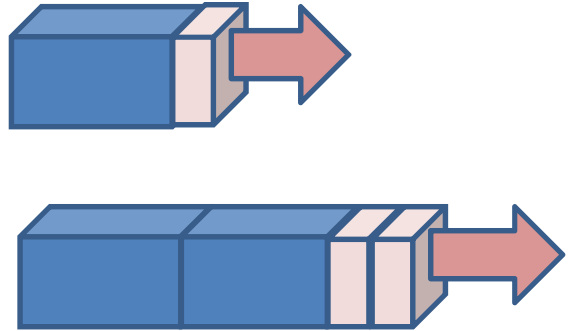


Vis brisée

$$s. \sigma < R_e \text{ (ou } R_m)$$

Déformations.

Sur une poutre de section constante et de longueur L , si on exerce une force de traction, on observera un certain allongement ΔL . Dans le cas d'une poutre deux fois plus longue, l'allongement sous la même charge sera donc le double, l'effort étant transmis de section en section. Il en résulte, au niveau local, une grandeur constante qu'on appelle **déformation**. Notée ε , elle représente la proportionnalité entre la longueur et l'allongement (qu'on ne peut plus appeler déformation !).



$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad \text{Cette grandeur est donc sans dimension.}$$

Loi de Hooke.

Par des essais mécaniques, on met en évidence le comportement longitudinale d'un matériau. On montre alors que la déformation est, dans la limite élastique, proportionnelle à la contrainte normale.

Le coefficient de proportionnalité, noté E est appelé module d'Young (donné en MPa).

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

A partir de la connaissance de la déformation on peut déterminer l'allongement de la structure. Il peut également faire l'objet d'une contrainte de cahier des charges. En effet, un allongement trop important peut engendrer des déplacements ou positionnements de pièces qui ne sont plus acceptables dans le comportement du système (câbles devenus trop longs....)

Etude de cas.

Pour une structure sollicitée en traction. L'étude comportementale suit le schéma suivant.

