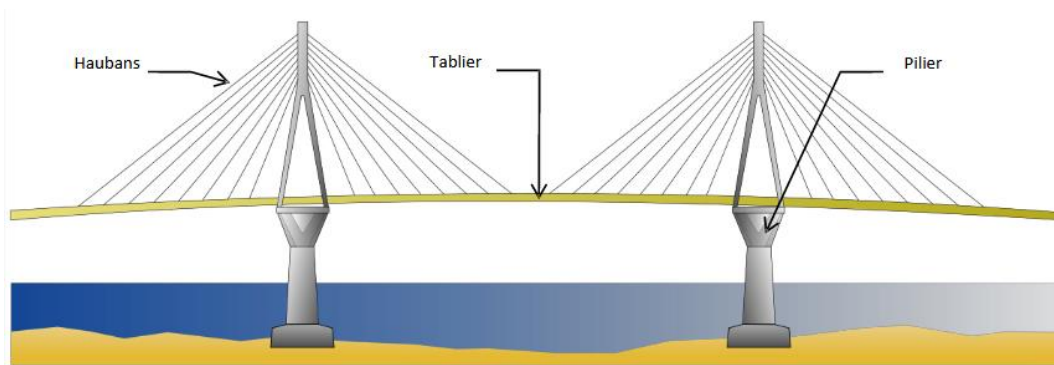


COMPORTEMENT MÉCANIQUE DES MATÉRIAUX

1) Introduction et Hypothèses

Lorsqu'on cherche à prévoir si une pièce va résister aux efforts qu'on lui applique, il est nécessaire de connaître les efforts qui lui sont appliqués (valeur, étendue de la surface d'application, vitesse et fréquence d'application) et les caractéristiques des matériaux de la pièce. Pour comparer les matériaux et leurs performances, on est donc amené à réaliser des essais mécaniques.

Tentez de trouver toutes les efforts qui s'exercent sur le pont, à quelles sollicitations les diverses pièces seront-elles soumises ?



a) Objectifs principaux de la résistance des matériaux :

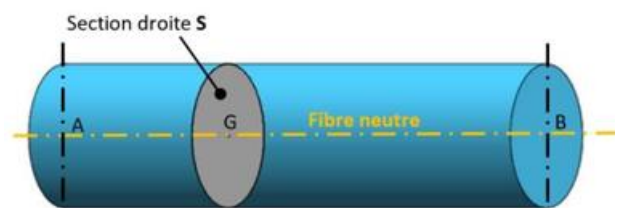
- La connaissance des **caractéristiques mécaniques** des matériaux (comportement sous l'effet d'une action mécanique) ;
- l'étude de la **résistance** des pièces mécaniques (résistance ou rupture) ;
- l'étude de la **déformation** des pièces mécaniques.

b) Hypothèses :

- **Continuité** : la matière est supposée continue ;
- **Homogénéité** : on supposera que tous les éléments de la matière, aussi petits soient-ils, sont identiques ;
- **Isotropie** : on supposera que dans toutes les directions, la matière a les mêmes propriétés mécaniques.

c) Disposition de la matière :

La RDM étudie des pièces dont les formes sont relativement simples appelées « **poutres** ». Une **poutre** est un **solide** engendré par une surface plane S dont le centre de gravité G décrit un arc (A, B) , S restant perpendiculaire à (A, B) .



II) Résistance à la Traction

a) Essai de rupture en traction (tensile test), principe :

L'essai consiste à « tirer » lentement sur une éprouvette fabriquée dans le matériau à tester jusqu'à la rupture de l'éprouvette. C'est un essai destructif. On enregistre la courbe donnant l'effort de traction (en Newton) en fonction de l'allongement de l'éprouvette (en mm).

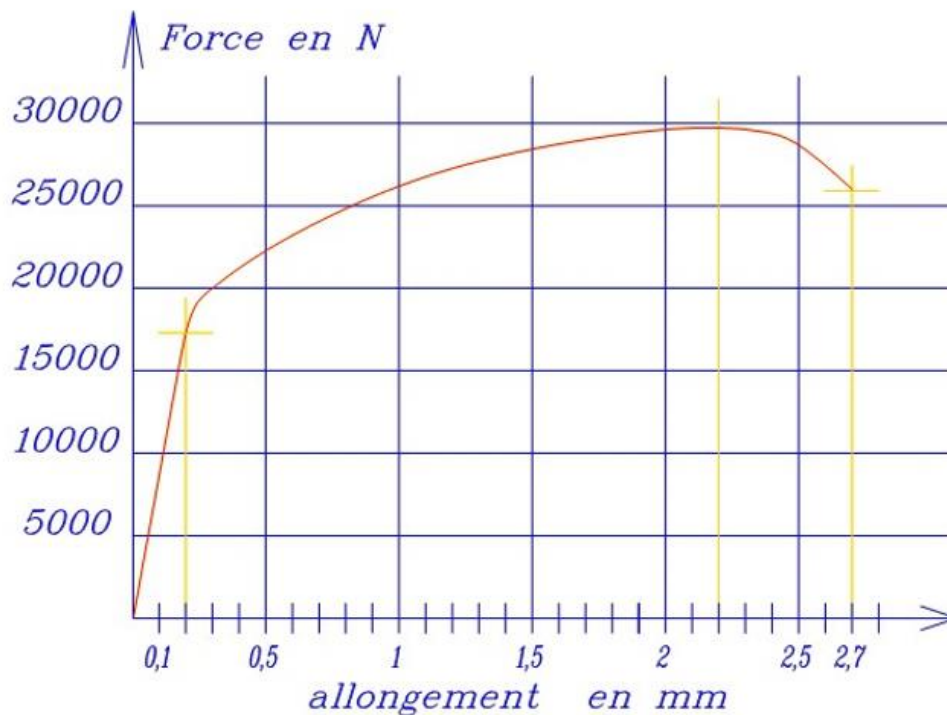
Il permet de répondre à trois questions :

- La pièce cassera-t-elle ?
Non, tant que **la limite de résistance à la rupture** n'est pas dépassée.
- La pièce sera-t-elle déformée ?
Non, tant que **la limite de résistance élastique** n'est pas dépassée.
- Quelle sera la **dimension de la pièce déformée** sous charge ?
Elle sera calculée à partir de la **longueur d'origine** de l'éprouvette et de son **allongement relatif**.



b) Déroulement de l'essai :

On mesure l'intensité croissante de la force N en Newton avec laquelle on « tire » sur l'éprouvette et l'allongement A en mm de l'éprouvette pour chaque valeur de force de traction puis on trace la courbe des résultats :



La précédente courbe dépendrait de chaque longueur initiale et de chaque section, ce qui ne permettrait pas de comparer deux matériaux entre eux. On va donc déterminer deux nouveaux paramètres :

- La contrainte normale (Sigma)

$$\sigma = \frac{\text{Effort de traction}}{\text{Section}} = \frac{F}{S} \quad \left(\text{MPa} = \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right)$$

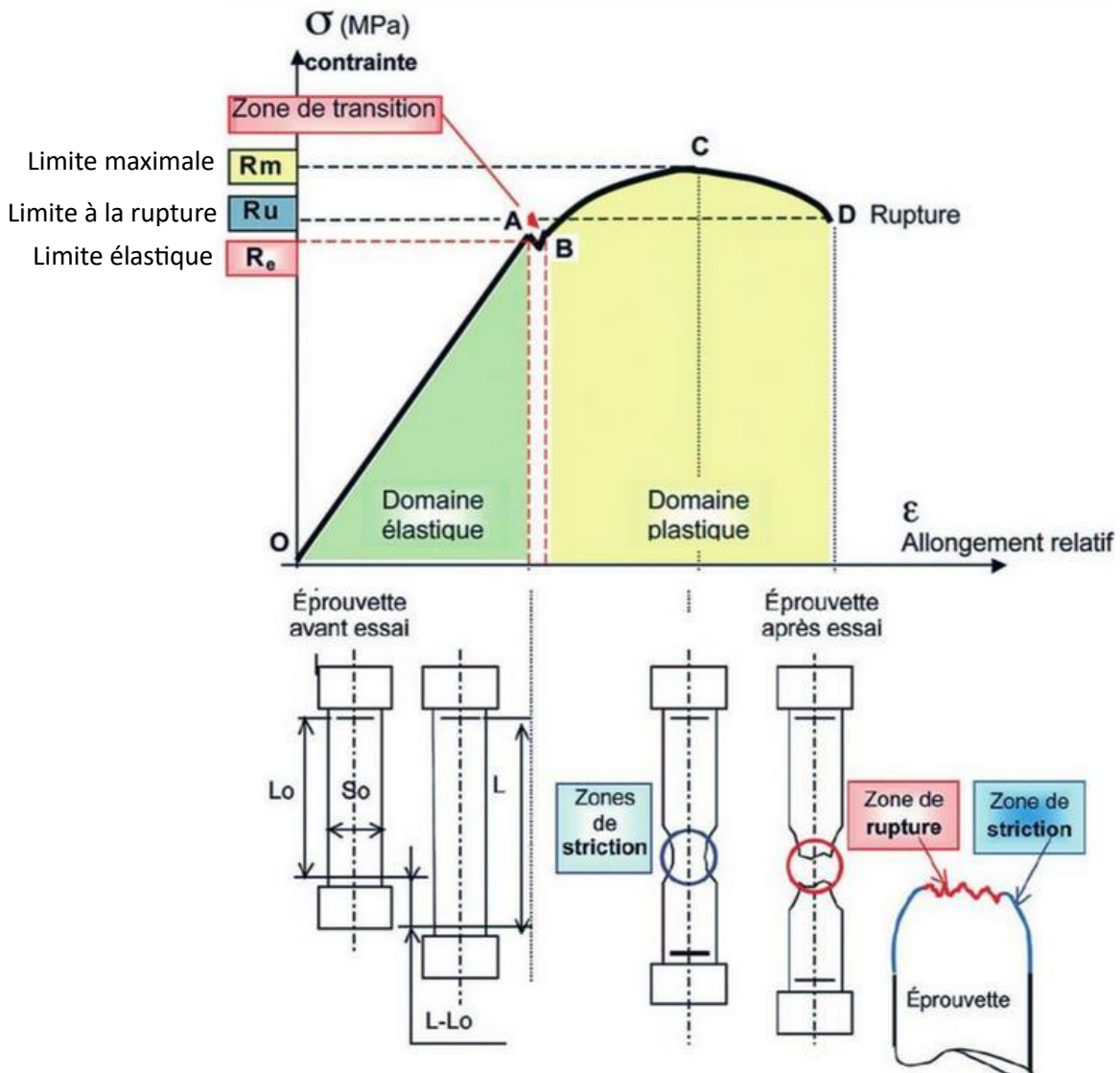
(La contrainte normale représente la force appliquée sur chaque mm² de la section)

- L'allongement relatif (Epsilon) :

$$\varepsilon = \frac{\text{Déformation}}{\text{Longueur initiale}} = \frac{\Delta L}{L_0} \quad \text{avec } \Delta L = L - L_0$$

(L'allongement relatif correspond à l'allongement pour chaque tranche de 1 mm)

On peut obtenir, par le calcul, une nouvelle courbe mettant en relation la contrainte normale σ et l'allongement relatif ε .



c) Analyse de la courbe de traction :

Le tracé de la courbe définit 3 zones.

Le domaine élastique [OA]

Pour tous les points du segment [OA], la **déformation** est **proportionnelle** à la **contrainte**. La suppression de la charge entraîne la suppression de la déformation, l'éprouvette reprend sa forme et sa dimension d'origine. Le matériau est parfaitement élastique.

On en déduit au point A :

- La résistance élastique ou limite élastique R_e (en MPa), qui est la valeur de contrainte maximale que l'éprouvette peut supporter en restant dans le domaine élastique avec:

$$R_e = \frac{F_e}{S_0}$$

- Le module de Young du matériau noté E (en MPa), ou module d'élasticité longitudinale. C'est la pente de la droite (OA), c'est-à-dire de la partie linéaire de la courbe de traction. Elle est définie par la loi de HOOKE :

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

Le domaine plastique [BC]

L'allongement n'est plus proportionnel à l'effort appliqué. À la suppression de la charge, il reste une déformation, l'éprouvette ne reprend pas sa longueur initiale. Elle a une déformation plastique (permanente). Au point C, l'intensité R_m (en MPa) est la contrainte maximale que l'éprouvette ne doit pas dépasser pour conserver ses propriétés.

La zone de striction [CD]

L'allongement continue de croître, pourtant l'intensité de la traction mesurée décroît. Il apparaît un rétrécissement transversal de l'éprouvette, la striction (un étranglement), qui s'accroît jusqu'à la rupture en D. Au point D, R_u (contrainte ultime) est la contrainte maximale admise par l'éprouvette au moment de la rupture.

d) Intérêt de l'essai de rupture en traction

L'essai de rupture en traction permet de définir les propriétés suivantes :

- L'élasticité (elasticity) : aptitude d'un matériau à reprendre sa forme et ses dimensions initiales après avoir été déformé. Par exemple, un ressort a un comportement élastique ;
- La plasticité (plasticity) : aptitude d'un matériau à conserver la forme et les dimensions conférées par une déformation. Par exemple, la pâte à modeler a un comportement plastique ;
- La raideur (stiffness) : résistance à la déformation sous un effort de traction donné. Plus le module de Young E est grand et plus le matériau est rigide.

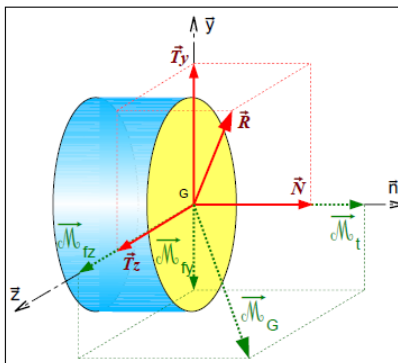
e) Exemples de valeurs usuelles de caractéristiques mécaniques

| | Acier courant | Acier à grande résistance | Fonte | Alliage d'aluminium | Cuivre | Matières plastiques | Fibre de verre | Fibre de carbone | Bois | Béton |
|-------------|-------------------|---------------------------|-------------|---------------------|-------------|---------------------|----------------|-------------------|-----------------|-----------------|
| R_e (MPa) | 180 à 360 | 650 à 1 500 | / | 35 à 200 | 70 à 1 350 | / | / | / | / | / |
| R_u (MPa) | 290 à 670 | 800 à 2 000 | 800 à 2 000 | 80 à 350 | 200 à 1 400 | 15 à 30 | 3 500 à 4 700 | 2 000 | 10 à 20 | 1,1 à 5,3 |
| A (%) | 10 à 30 | 8 à 40 | 0,8 à 25 | 3 à 35 | 3 à 28 | 300 à 800 | / | / | / | / |
| E (MPa) | 210 000 à 220 000 | 80 000 à 170 000 | 75 000 | 90 000 à 150 000 | 200 à 5 000 | 80 000 | 80 000 | 240 000 à 640 000 | 10 000 à 15 000 | 20 000 à 50 000 |

III) Efforts de cohésion (ou Efforts internes)

| Effort de Cohésion | Sollicitation | Exemples |
|--|---|----------|
| Effort perpendiculaire (normal) à la section droite suivant l'axe x EFFORT NORMAL Noté \vec{N} | TRACTION ou COMPRESSION | |
| Effort tangent à la section droite suivant l'axe y (ou l'axe z) EFFORT TRANCHANT Noté \vec{T}_x (ou \vec{T}_z) | CISAILLEMENT | |
| Moment autour de l'axe x MOMENT DE TORSION Noté M_t | TORSION | |
| Moment autour de l'axe y ou l'axe z MOMENT DE FLEXION Noté M_{fz} (ou M_{fy}) | FLEXION | |

IV) Sollicitations liées aux efforts intérieurs

|  | Efforts intérieurs | | Sollicitations |
|--|--------------------|---------------|----------------|
| | N | Effort normal | |
| Ty | Effort tranchant | | Cisaillement |
| Tz | | | |
| Mt | Moment de torsion | | Torsion |
| Mfy | Moment de flexion | | Flexion |
| Mfz | | | |

$$\{\text{cohésion}\} = \begin{Bmatrix} N & Mt \\ Ty & Mfy \\ Tz & Mfz \end{Bmatrix}$$

↑ Tenseur de cohésion
 ↑ Efforts
 ↑ Moments

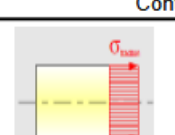
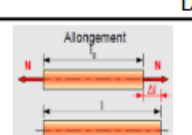
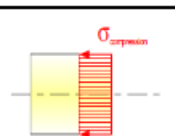

Une contrainte représente la répartition des efforts de cohésion ramenée à une surface élémentaire dans une section droite (perpendiculaire à la fibre neutre). Une contrainte est assimilable à une pression. Unité : 1 MPa = 1 N/mm²



La contrainte projetée au point M :

- Sur la normale \vec{n} , donne la contrainte normale σ (sigma).
- Dans le plan de la coupe donne la contrainte tangentielle τ (tau).

V) TRACTION et COMPRESSION

| TRACTION – COMPRESSION | | | |
|---|---|------------------------|--|
| Sollicitations | Contraintes | | Déformations |
| TRACTION |  | $\sigma = \frac{N}{S}$ |  |
| COMPRESSION |  | |  |
| Conditions de résistance : $\sigma \leq R_{pe}$ avec $R_{pe} = \frac{R_e}{s}$ | | | |
| Re : Résistance élastique (ou limite élastique) s : Coefficient de sécurité Rpe : Résistance pratique élastique On vérifie que la contrainte maximale est inférieure à la résistance pratique Rpe qui tient compte du coefficient de sécurité. | | | |