

Matériaux

Présentation

► Problématique

Essai de traction

Module d'YOUNG

Propriétés

Classement

Les composites

On désire réaliser un VTT dont le cadre réunit ces trois propriétés à priori incompatibles que sont :

- la rigidité,
- la légèreté,
- le faible coût.

Matériaux

Présentation

► Problématique

Essai de traction

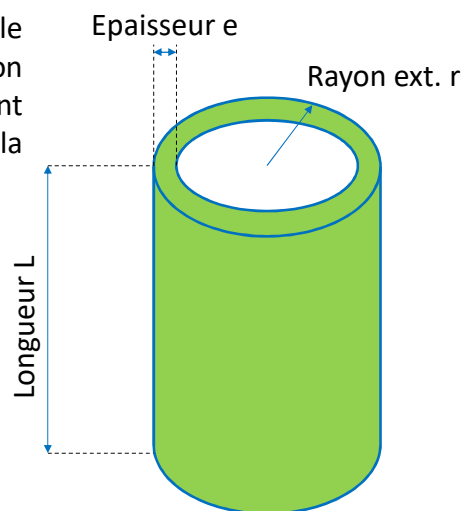
Module d'YOUNG

Propriétés

Classement

Les composites

Pour fabriquer le cadre du VTT on utilise des tubes dont la géométrie est la suivante :



découverte de la mécanique

Pour mener une étude comparative on réalise des essais durant lesquels les tubes du cadre fléchissent comme indiqué ci-dessous.

montage encastré - libre

Force F

Déplacement δ

Matériaux

- Présentation
- Problématique
- Essai de traction
- Module d'YOUNG
- Propriétés
- Classement
- Les composites

découverte de la mécanique

géométrie

force

section

longueur

matériau

$$\delta = F \cdot \frac{1}{3 \cdot \pi \cdot e \cdot r^3} \cdot L^3 \cdot \frac{1}{E} \rightarrow ?$$

Relation admise car de niveau L2 Spi.

Matériaux

- Présentation
- Problématique
- Essai de traction
- Module d'YOUNG
- Propriétés
- Classement
- Les composites

découverte de la mécanique

Matériaux

Présentation

► Problématique

Essai de traction

Module d'YOUNG

Propriétés

Classement

Les composites

Sur ce monde,
On dirait qu'il y a le chaud,
le froid
le sucré, le salé,
des gentils et des méchants...



Besoin de classer en catégories,
de CARACTERISER...

« E » caractérise la RIGIDITE des
matériaux.

découverte de la mécanique

Matériaux

Présentation

Problématique

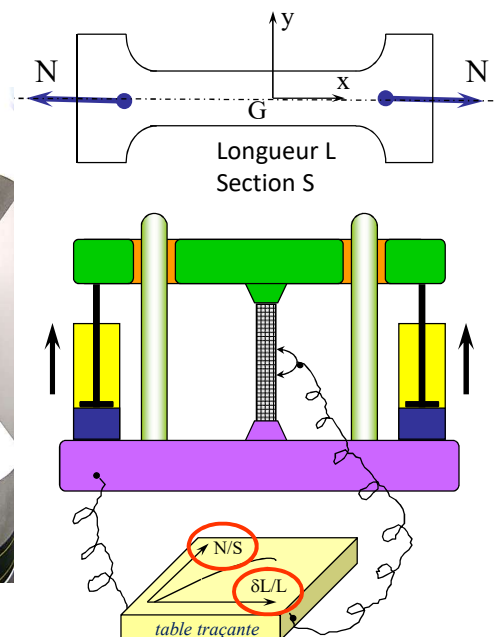
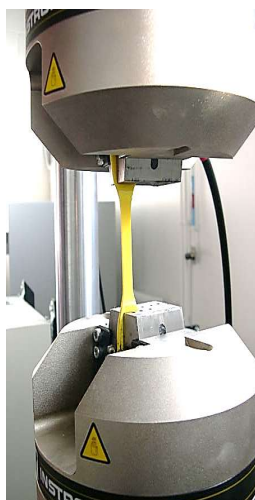
► Essai de traction

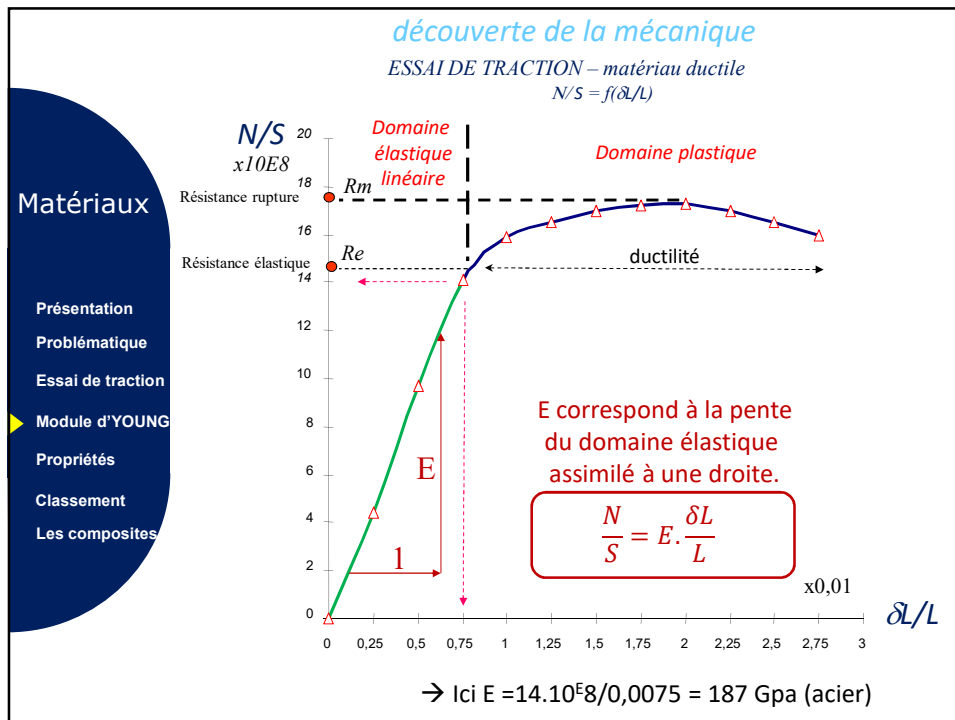
Module d'YOUNG

Propriétés

Classement

Les composites





découverte de la mécanique

Matériaux

- Présentation
- Problématique
- Essai de traction
- Module d'YOUNG
- Propriétés
- Classement
- Les composites

E caractérise la rigidité du matériau.

C'est le module d'élasticité longitudinal du matériau encore appelé module d'YOUNG.

La valeur de E est propre à chaque matériau.

Unité Pascal [Pa] = [N/m²].

Matériaux

- Présentation
- Problématique
- Essai de traction
- Module d'YOUNG
- Propriétés
- Classement
- Les composites

découverte de la mécanique

De combien s'allonge le câble quand les personnes entrent dans la cabine ?

- 5 Personnes de 80kg
- L câble = 30 m
- Câble acier de rayon 5 mm
- Eacier = 190 GPA

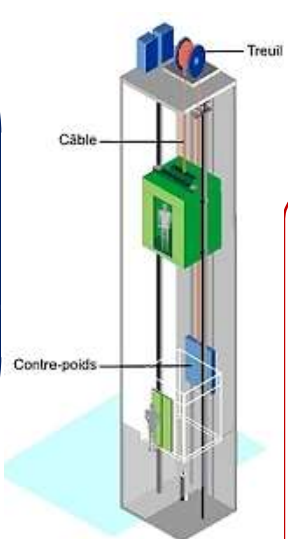
5 Personnes développent un effort N :
 $N = 5 \cdot 80 \cdot 9,81 \approx 4000 \text{ N}$

Sous l'effet des 4000 N appliqués le câble va s'allonger de δL :

$$\delta L = \frac{N \cdot L}{E \cdot S}$$

Section câble S

$\delta L = 4000 \cdot 30 / (190 \cdot 10^9 \cdot \pi \cdot 0,005^2)$
 $= 0,008 \text{ m} = 8 \text{ mm}$



Matériaux

- Présentation
- Problématique
- Essai de traction
- Module d'YOUNG
- Propriétés
- Classement
- Les composites

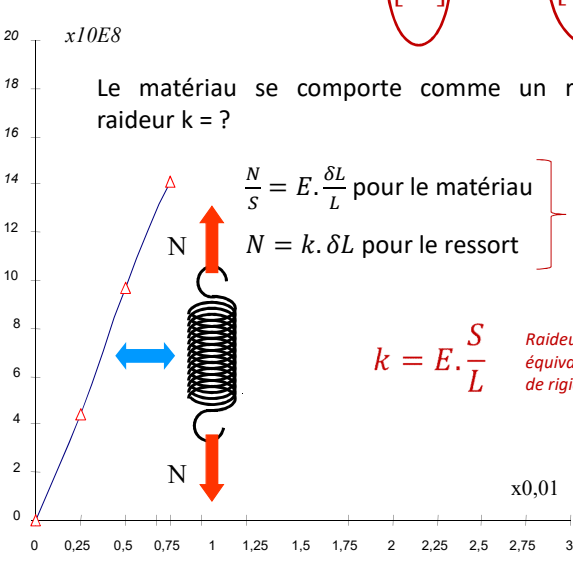
découverte de la mécanique

Ne pas confondre rigidité E et raideur k

[Pa]

[N/m]

Le matériau se comporte comme un ressort de raideur k = ?



$\frac{N}{S} = E \cdot \frac{\delta L}{L}$ pour le matériau
 $N = k \cdot \delta L$ pour le ressort

$k = E \cdot \frac{S}{L}$

Raideur k du ressort équivalent au matériau de rigidité E...

découverte de la mécanique

Matériaux

Présentation
Problématique
Essai de traction
Module d'YOUNG
Propriétés
Classement
Les composites

	Rigidité	Résistance	Masse volumique	Ductilité
Métaux				
Plastiques				?
Céramiques				

découverte de la mécanique

Matériaux

Présentation
Problématique
Essai de traction
Module d'YOUNG
Propriétés
Classement
Les composites

	Rigidité	Masse volumique	
MATERIAU	E (Gpa)	ρ (kg/m3)	prix (€/tonne)
acier	190	7800	630
béton	47	2500	200
aluminium	69	2700	2600
verre	69	2500	1000
bois	12	600	500
polyuréthane	0.06	100	1000

On impose 2 critères :

- 1/ géométrie : longueur L et épaisseur e sont fixées,
- 2/ rigidité : flèche δ est fixée pour une force donnée.

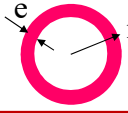
Quel matériau permet de fabriquer le cadre du VTT à moindre coût à rigidité égale ?

→ On va donc jouer avec la valeur de r .

découverte de la mécanique

Exprimer la masse m du tube **supposé mince** de masse volumique ρ .

↓

$$m = \rho \cdot Vol = \rho \cdot 2\pi \cdot r \cdot e \cdot L$$


Section déroulée e

Exprimer r en fonction de L , e et de δ qui sont fixés.

↓

$$r = L \cdot \sqrt[3]{F \cdot \frac{1}{\delta \cdot 3 \cdot \pi \cdot e} \cdot \frac{1}{E}}$$

En déduire la masse m en fonction du matériau (donc de E).

↓

$$m = \rho \cdot 2\pi \cdot L^2 \cdot \sqrt[3]{\frac{F \cdot e^2}{\delta \cdot 3 \cdot \pi} \cdot \frac{1}{E}} = 2\pi \cdot L^2 \cdot \sqrt[3]{\frac{F \cdot e^2}{\delta \cdot 3 \cdot \pi}} \cdot \frac{\rho}{\sqrt[3]{E}}$$

Constant quel que soit le matériau

En déduire les indices de prix « p » pour chaque matériau.

↓

$$p = (\text{prix au kg}) * \frac{\rho}{\sqrt[3]{E}}$$

découverte de la mécanique

Matériaux

Présentation

Problématique

Essai de traction

Module d'YOUNG

Propriétés

▶ Classement

Les composites

matériaux	bois	aluminium	acier
E [Gpa]	15	70	210
ρ [kg/m3]	700	2700	7800
$\frac{\rho}{\sqrt[3]{E}}$	286	664	1336
prix [k€/kg]	0,6	2,6	0,5
indice prix [k€/kg]	172	1728	668

C'est vers 1800 que les premiers cadres apparaissent et ils sont en bois, matériau facile à trouver et à travailler.

Aujourd'hui l'acier est le matériau le plus courant pour la composition d'un cadre. Il est sujet à la corrosion s'il est mal protégé.

Les cadres en aluminium se sont démocratisés après 1970, lorsque les technologies de soudure sont devenues plus économiques pour des productions à grande échelle.

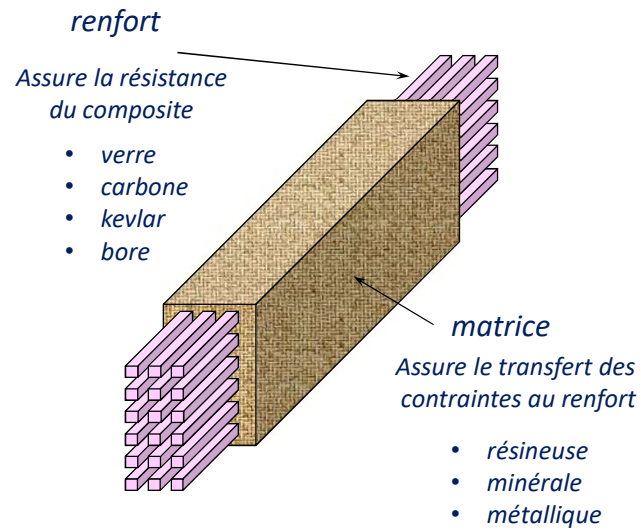
Les cadres les plus performants sont désormais en carbone, mais certains continuent à travailler le bois ou le bambou à l'esthétique incomparable...

Matériaux

- Présentation
- Problématique
- Essai de traction
- Module d'YOUNG
- Propriétés
- Classement
- ▶ Les composites

découverte de la mécanique

Composite unidirectionnel à fibres continues



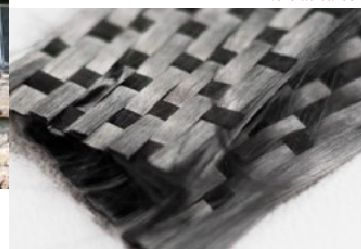
Matériaux

- Présentation
- Problématique
- Essai de traction
- Module d'YOUNG
- Propriétés
- Classement
- ▶ Les composites

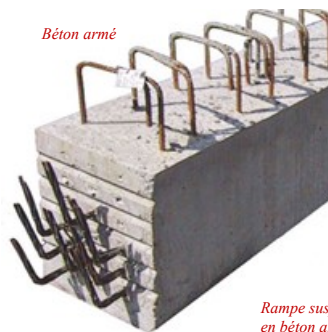
découverte de la mécanique



Maison en torchis



Fibre de carbone



Béton armé



Rampe suspendue en béton armé (Paris Saclay)

découverte de la mécanique

Matériaux

Présentation

Problématique

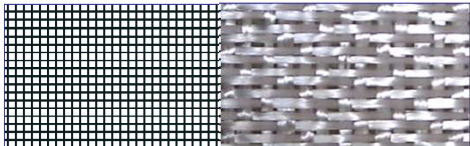
Essai de traction

Module d'YOUNG

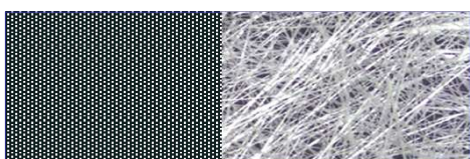
Propriétés

Classement

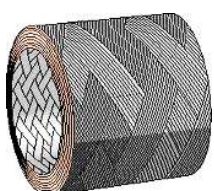
▶ Les composites



Composite bidirectionnel à fibres continues tissées



Composite multidirectionnel à fibres discontinues (mat)



Composite à enroulements filamenteux...

découverte de la mécanique

Matériaux

Présentation

Problématique

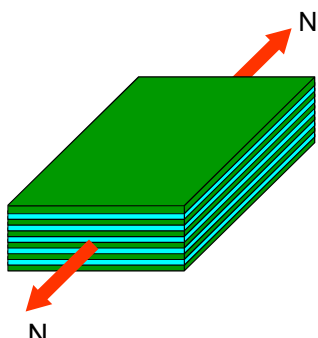
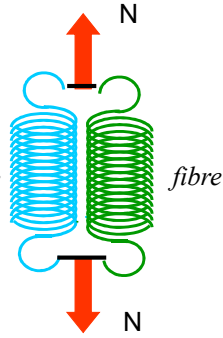
Essai de traction

Module d'YOUNG

Propriétés

Classement

▶ Les composites

V_f = pourcentage volumique de fibre

$$E_c = \underbrace{V_f \cdot E_f}_{\text{Contribution de la fibre}} + \underbrace{(1-V_f) \cdot E_m}_{\text{Contribution de la matrice}}$$

Rigidité du composite

Matériaux

Présentation

Problématique

Essai de traction

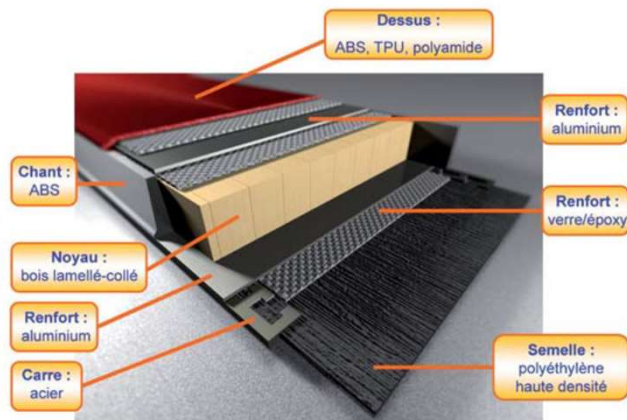
Module d'YOUNG

Propriétés

Classement

Les composites

découverte de la mécanique



Composition typique d'un ski

Par exemple un ski peut être décrit comme une poutre hétérogène, constituée d'un assemblage collé d'une dizaine de couches de natures et matériaux différents.