

Matériaux

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

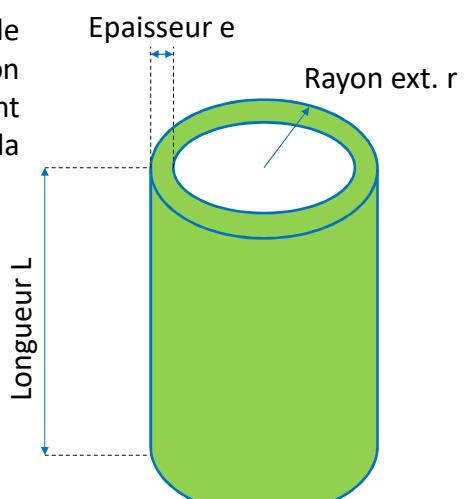
On désire réaliser un VTT dont le cadre réunit ces trois propriétés à priori incompatibles que sont :

- 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

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

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

découverte de la mécanique

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

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

Relation admise car de niveau L2 Spi.

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...

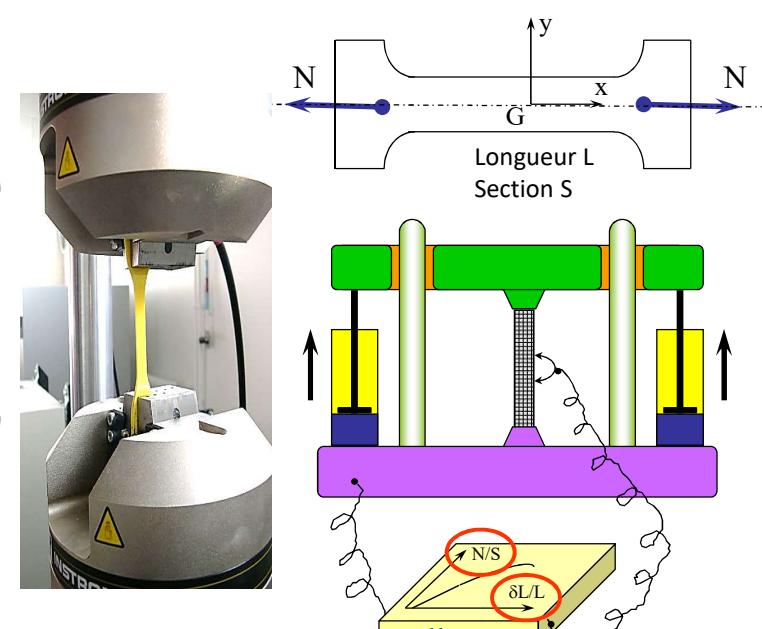
Besoin de classer en catégories,
de CARACTERISER...

« E » caractérise la RIGIDITE des matériaux.

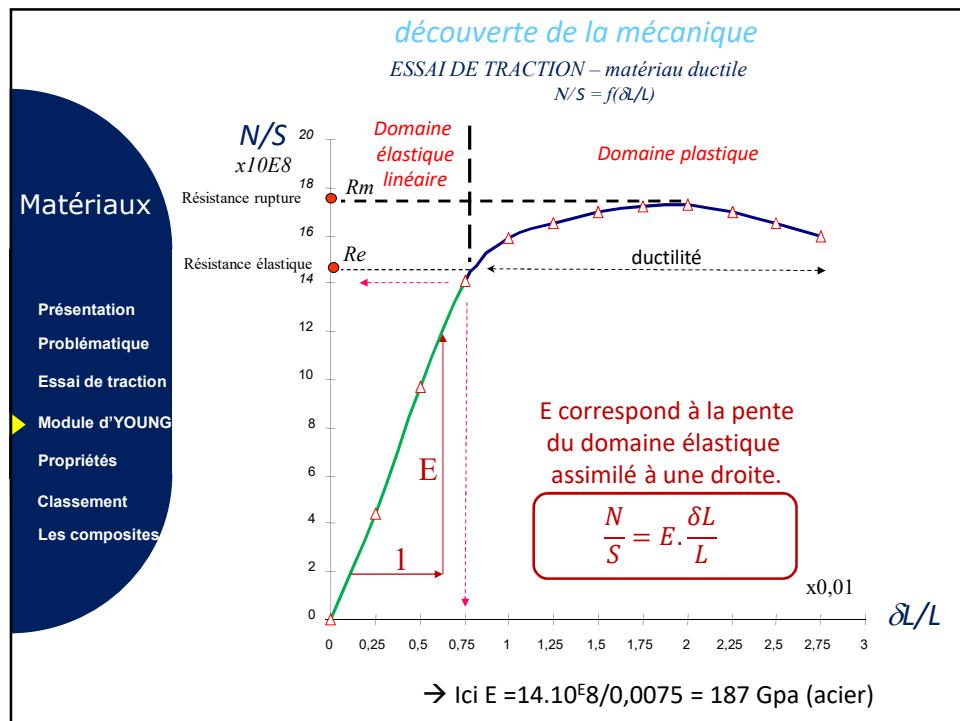
découverte de la mécanique

Matériaux

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



The diagram illustrates the principle of the tensile test. A rectangular specimen of length L and cross-section S is clamped between two parallel plates. A force N is applied at the ends. A coordinate system (x, y) is defined with the origin at the center of the specimen. The displacement δL is measured at the center, and the strain $\epsilon = \delta L/L$ is calculated. The specimen is shown breaking under load.



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].

découverte de la mécanique

Matériaux

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

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

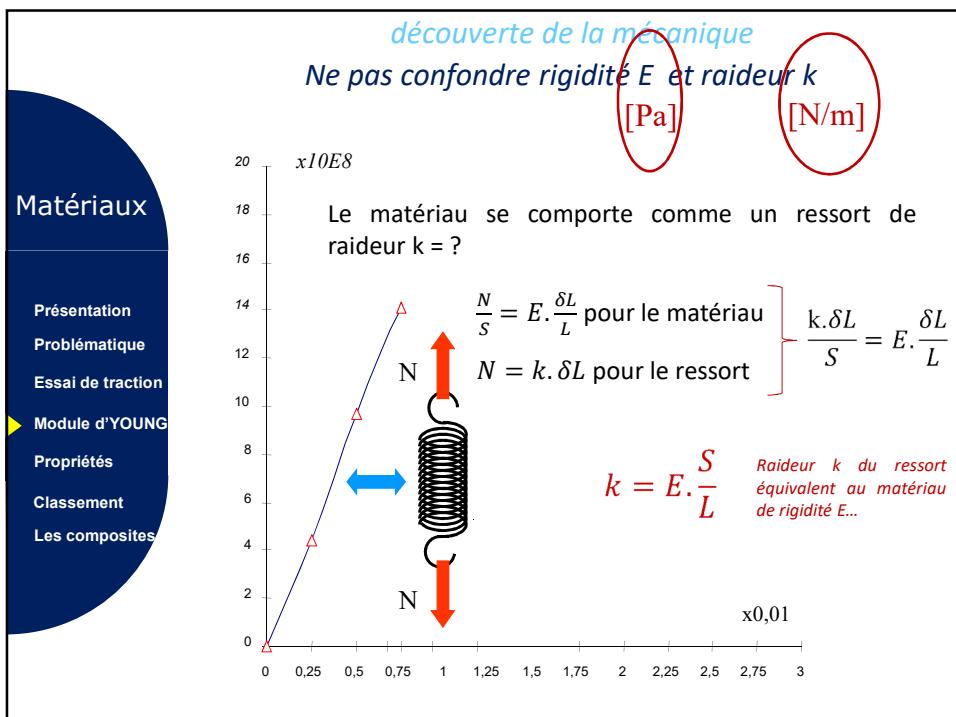
5 Personnes développent un effort N :
 $N = 5 \cdot 80 \cdot 9,81 \approx 4000 \text{ N}$

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

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



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

MATERIAU	Rigidité	Masse volumique	
	E (Gpa)	ρ (kg/m ³)	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 .

Matériaux

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

découverte de la mécanique

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



$$m = \rho \cdot \text{Vol} \# \rho \cdot 2\pi \cdot r \cdot e \cdot L$$

Section déroulée $2\pi \cdot r$

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.

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

Matériaux

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

découverte de la mécanique

matériaux	bois	aluminium	acier
E [Gpa]	15	70	210
ρ [kg/m ³]	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.

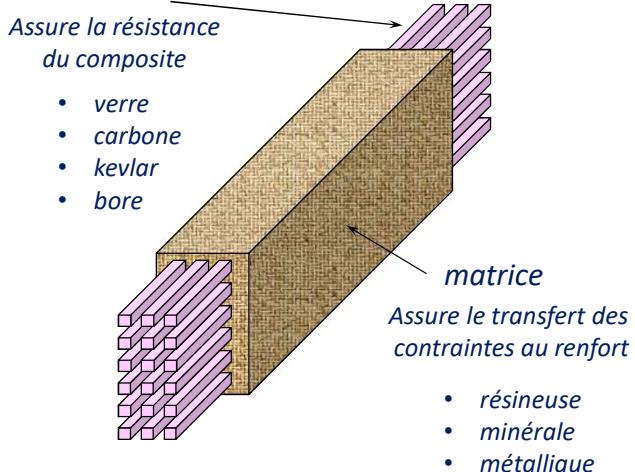
Les cadres les plus performants sont désormais en carbone, mais certains continuent à travailler le bois ou le bambou à l'esthétique incomparable...

découverte de la mécanique

Composite unidirectionnel à fibres continues

Matériaux

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



renfort

Assure la résistance du composite

- verre
- carbone
- kevlar
- bore

matrice

Assure le transfert des contraintes au renfort

- résineuse
- minérale
- métallique

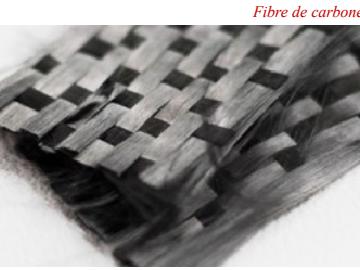
découverte de la mécanique

Matériaux

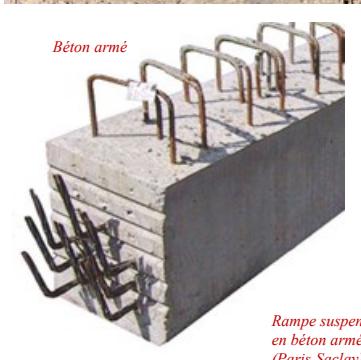
- Présentation
- Problématique
- Essai de traction
- Module d'YOUNG
- Propriétés
- Classement
- ▶ **Les composites**



Maison en torchis



Fibre de carbone



Béton armé

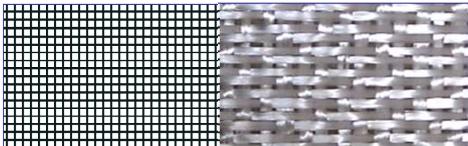


*Rampe suspendue en béton armé
(Paris Saclay)*

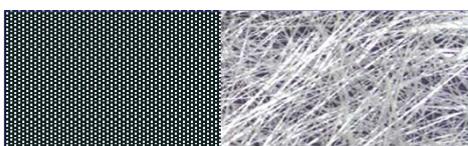
découverte de la mécanique

Matériaux

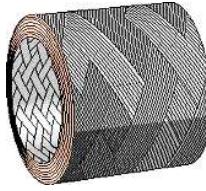
- Présentation
- Problématique
- Essai de traction
- Module d'YOUNG
- Propriétés
- Classement
- ▶ **Les composites**



Composite bidirectionnel à fibres continues tissées



Composite multidirectionnel à fibres discontinues (mat)

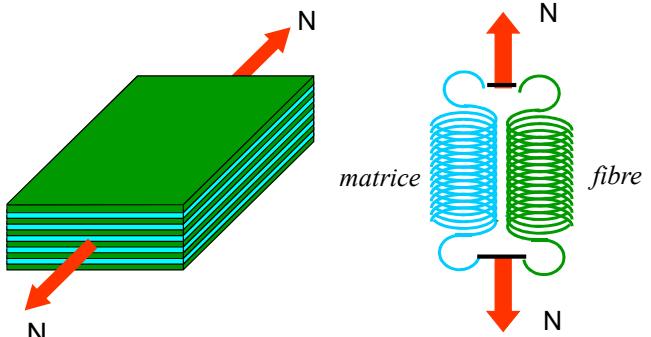


Composite à enroulements filamentaires...

découverte de la mécanique

Matériaux

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



N N N

matrice *fibre*

$V_f = \text{pourcentage volumique de fibre}$

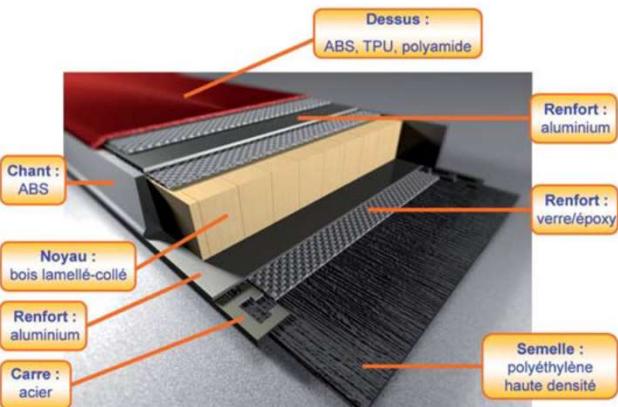
$$Ec = V_f.E_f + (1-V_f).E_m$$
Contribution de la fibre
Contribution de la matrice

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.