

Propriétés mécaniques des matériaux

Elasticité et plasticité

Les matériaux

- 🌐 Les matériaux sont en général le facteur limitant des machines
➡ définissent le niveau de développement de l'humanité

Exemples : âge de pierre, puis de bronze, puis de fer

acier → trains, automobile, ...

semi-conducteurs → informatique

fibres optiques → internet haut débit

cristaux liquides → écrans plats

moitié de la recherche du programme Apollo : matériaux nouveaux

Les classes de matériaux

● Métaux et alliages :

Exemples : Fe, Cu, Al, acier et fonte (Fe-C), laiton (Cu-Zn), bronze (Cu-Sn), ...

Propriétés mécaniques : résistants + ductiles

Propriétés physiques : opaques, température de fusion élevée, conducteurs

Propriétés chimiques : souvent corrodables

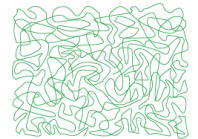
● Polymères (matériaux organiques) :

Exemples : PVC, PE, PS, PMMA (« plexiglas »), PA (« nylon »), PTFE (« teflon »), ...

Propriétés mécaniques : peu résistants, fragiles/ductiles

Propriétés physiques : légers, température de fusion basse (<200°C), isolants

Propriétés chimiques : inertes



Les classes de matériaux

● Céramiques (matériaux minéraux) :

Exemples : silice (SiO_2), alumine (Al_2O_3), carbure de tungstène (WC), diamant (C),
verres minéraux (ex. : $\text{SiO}_2\text{-CaO-Na}_2\text{O}$), béton, plâtre, brique, porcelaine, faïence, ...

Propriétés mécaniques : très résistants, fragiles

Propriétés physiques : température de fusion très élevée, isolants

Propriétés chimiques : inertes



● Composites :

Exemples : « fibre de verre » = fibres de verre dans une matrice époxyde

↳ céramique : résistante

↳ polymère : tenace

pneu =

fils d'acier dans une matrice de caoutchouc

↳ métal : résistant

↳ polymère : souple

« béton armé » =

ferrailage noyé dans du béton

↳ métal : résistant

↳ céramique : peu coûteux + isolant

bois =

fibres de cellulose dans une matrice de résine

↳ biopolymère

↳ biopolymère

Propriétés des matériaux

● Propriétés extrinsèques

ressources
coût
méthodes de synthèse
compatibilité avec l'environnement
possibilité de mise en forme
aspect esthétique

pas traités dans ce cours

● Propriétés intrinsèques

mécaniques : rigidité, résistance, ductilité, ténacité, amortissement, frottement, ...

chimiques : réactivité, résistance à la corrosion, ...

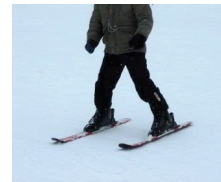
physiques

- électrique : conductivité, constante diélectrique, ...
- magnétique : susceptibilité, ...
- optique : transparence, réflectivité, couleur ...
- thermique : conductivité, capacité calorifique, ...

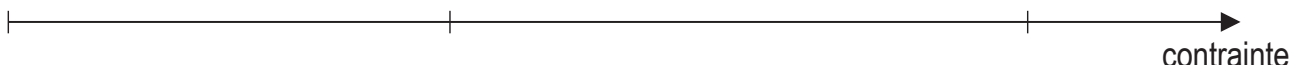
Propriétés mécaniques

● Les essais mécaniques permettent de déterminer le comportement mécanique des matériaux pour tout type d'effort / nature de contrainte :

traction, compression, flexion, torsion, cisaillement pur, pression hydrostatique, ...



Comportement mécanique des matériaux :



Contraintes conventionnelles

ou charges unitaires nominales

● Réaction mécanique d'un matériau =

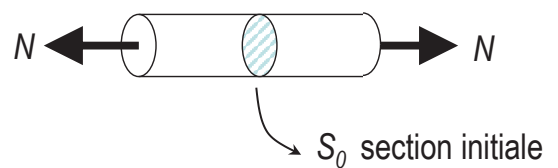
● Science des matériaux :



● Contrainte de traction

en Pa ou N.m⁻²
par convention : $\sigma > 0$

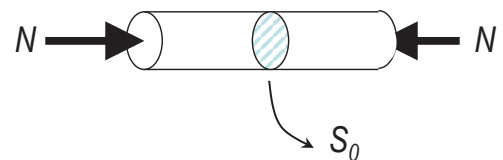
$$\sigma = \frac{N}{S_0}$$



● Contrainte de compression

en Pa ou N.m⁻²
par convention : $\sigma < 0$

$$\sigma = \frac{N}{S_0}$$

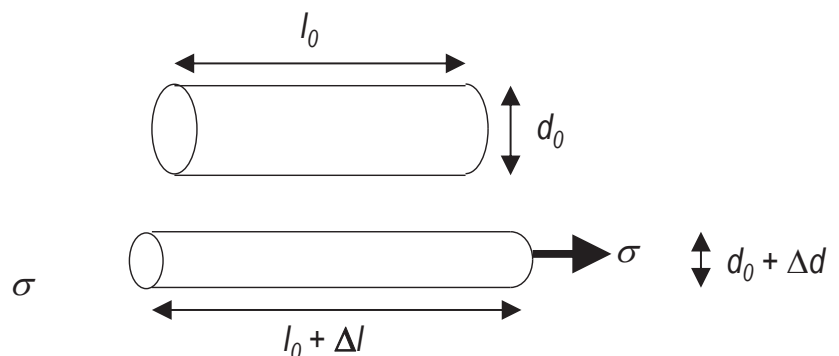


Déformations conventionnelles

ou allongements relatifs nominaux

● Traction et compression

$$\begin{aligned} l_0 &\longrightarrow l_0 + \Delta l \\ d_0 &\longrightarrow d_0 + \Delta d \end{aligned}$$



allongements : Δl et Δd

déformation longitudinale : $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$

déformation transversale : $\varepsilon_t = \frac{\Delta d}{d_0}$

$\varepsilon, \varepsilon_t$: sans dimension

traction : $\sigma > 0, \varepsilon > 0$ et $\varepsilon_t < 0$

compression : $\sigma < 0, \varepsilon < 0$ et $\varepsilon_t > 0$

Elasticité

- Pour des petites déformations :
= loi de Hooke (physicien britannique – 17^e s. : « *ut tensio sic vis* »)

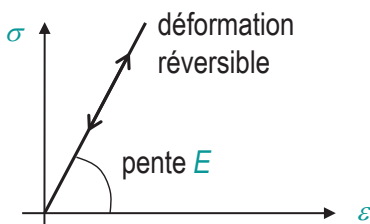
$$\sigma = E \varepsilon$$

E module d'Young (physicien britannique – début 19^e s.)

module élastique



- Les modules élastiques caractérisent la **rigidité** d'un matériau



résistance à la déformation élastique

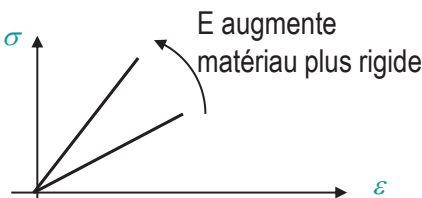


coefficient de Poisson

(physicien français – début 19^e s.)

$$\nu = -\frac{\varepsilon_t}{\varepsilon}$$

0,07 (diamant) < ν < 0,5 (caoutchouc)
généralement $\nu \approx 0,3$

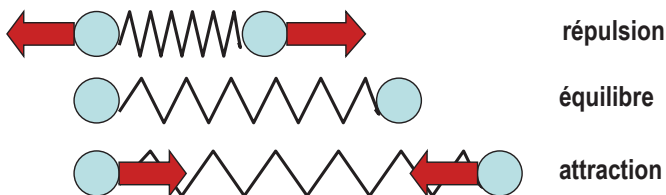


Module d'Young

E (GPa)

céramiques	métaux	composites
1000-10000 diamant	406 W	400-530 cermets (Co+WC)
400-650 WC	196-207 Fe, aciers	
450 SiC	170-190 fontes	
390 alumine	100-150 Cu et alliages	70-200 composites fibres de C
380 TiC		
120-150 mullite	82 Au	
94 quartz	76 Ag	
69 verre	69-79 Al et alliages	35-45 composites fibres de verre
45-50 béton, ciment	40-45 Mg et alliages	
27 graphite	14 Pb	
9 glace		9-16 bois // au fil
polymères		
6-7 mélamines		
3-5 polyamides		
3,4 plexyglass		
3-3,4 polystyrène		
1,6-3,4 acryliques		
3 époxy		
2,6 polycarbonate		
2,4 nylon		
0,9 Polypropylène		0,6-1 bois ⊥ au fil
0,7 polyéthylène haute densité		
0,2 polyéthylène basse densité		
0,07-0,2 PVC		
0,01-0,1 caoutchouc		
0,001-0,01 mousse de polymère		

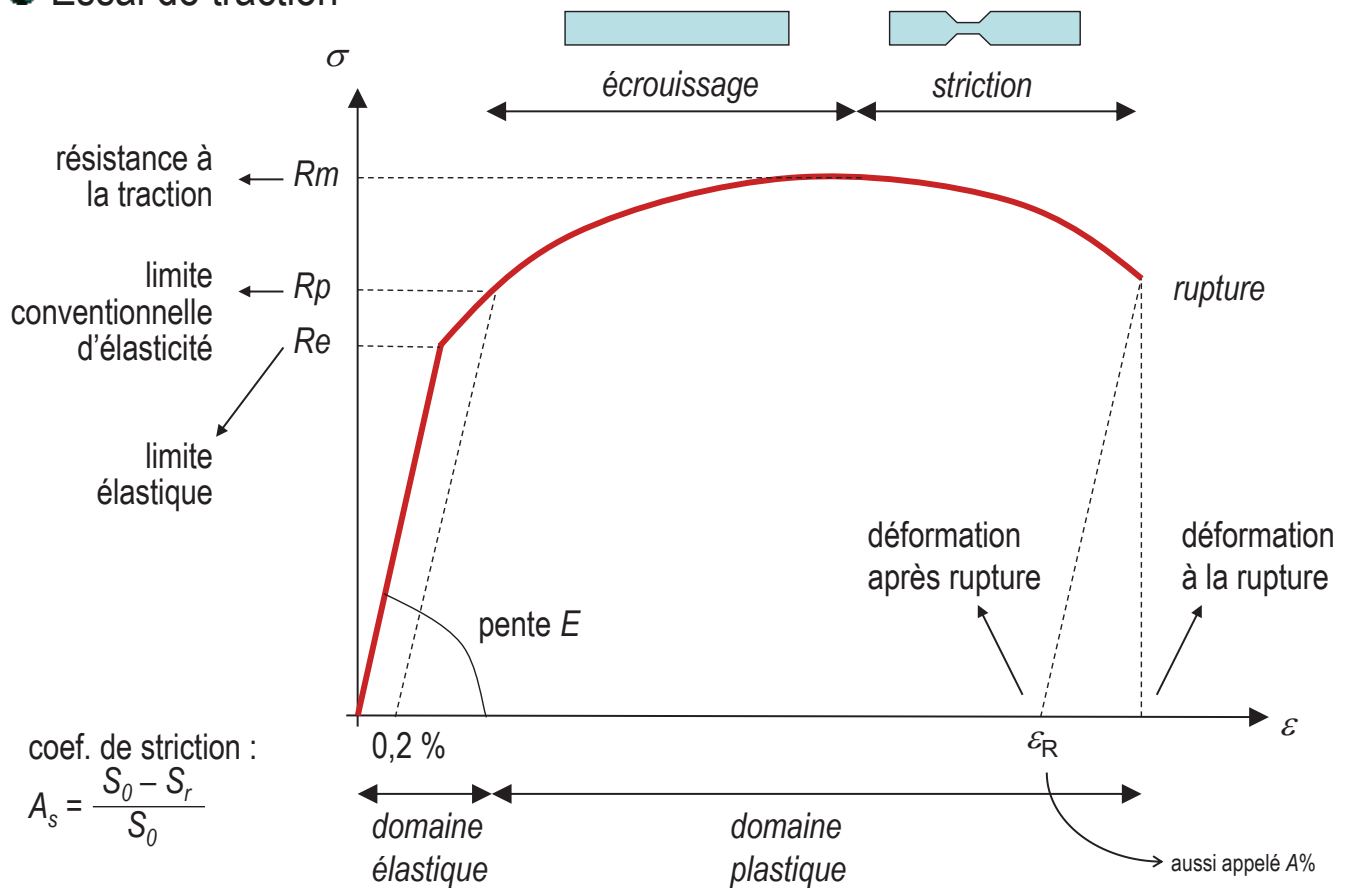
- Origine du module d'Young =



module d'Young = raideur du ressort = force de la liaison

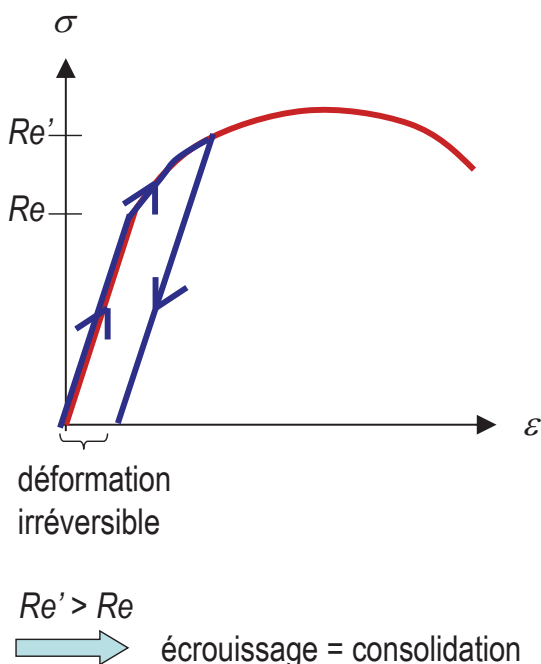
Plasticité

Essai de traction



Plasticité

Déformation plastique et écrouissage

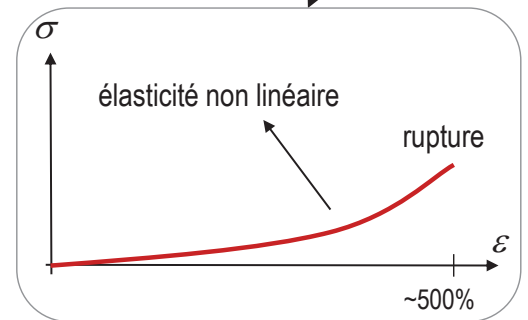
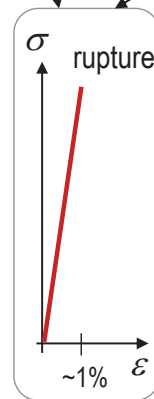
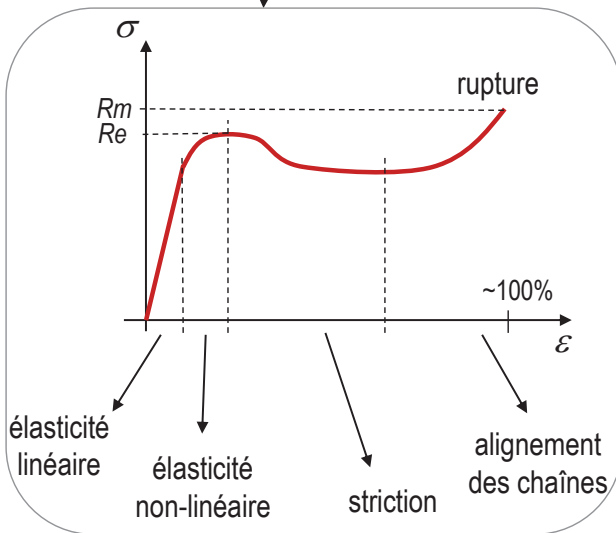


Vocabulaire

- **Re ou R_m élevé**
difficile à déformer plastiquement
- **ϵ_R ou A_s élevé**
grand domaine plastique
- **ϵ_R ou A_s faible**
petit domaine plastique
- **E élevé**
difficile à déformer élastiquement
- **E faible**
facile à déformer élastiquement

Plasticité

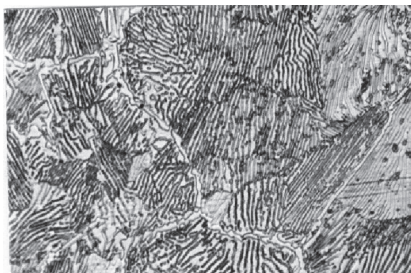
- Métaux : généralement ductiles
- Céramiques : fragiles
- Polymères : ductiles (certains thermoplastiques)
ou fragiles (thermodurcissables, certains thermoplastiques, élastomères)



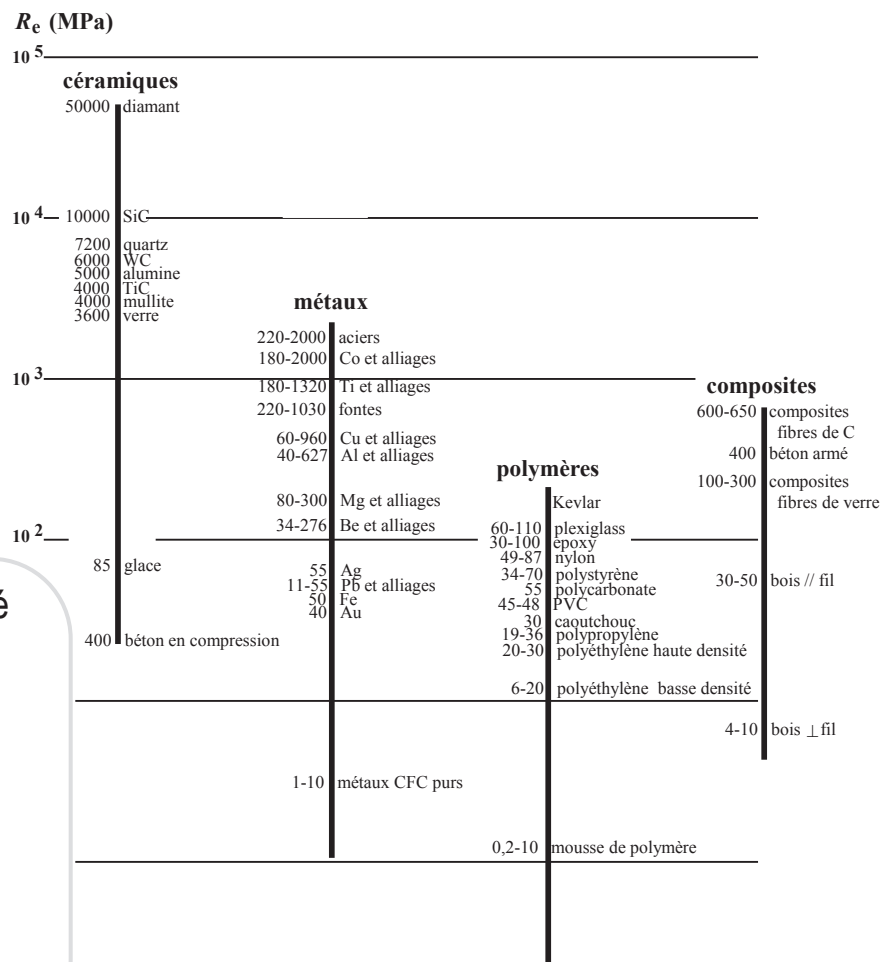
Limite élastique

● Origine de la limite d'élasticité

=



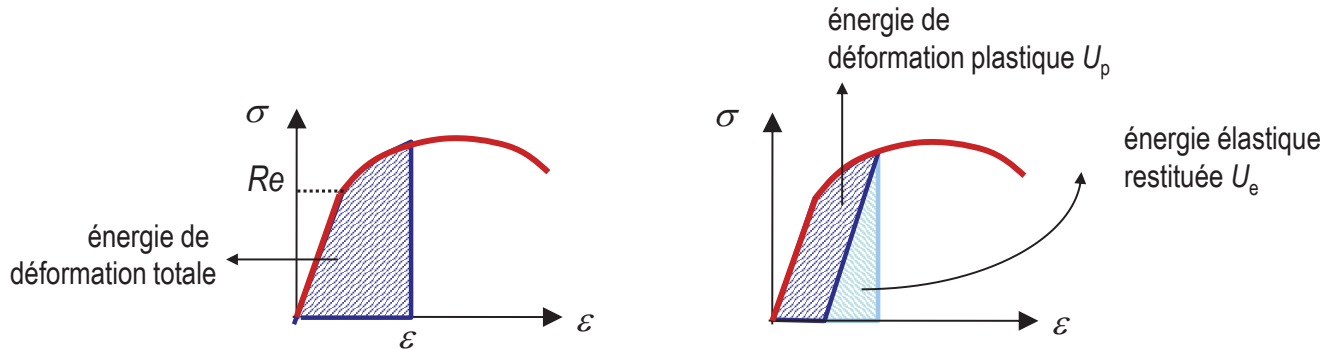
éléments d'alliage, joints de grains, précipités, dislocations ...



Energie de déformation

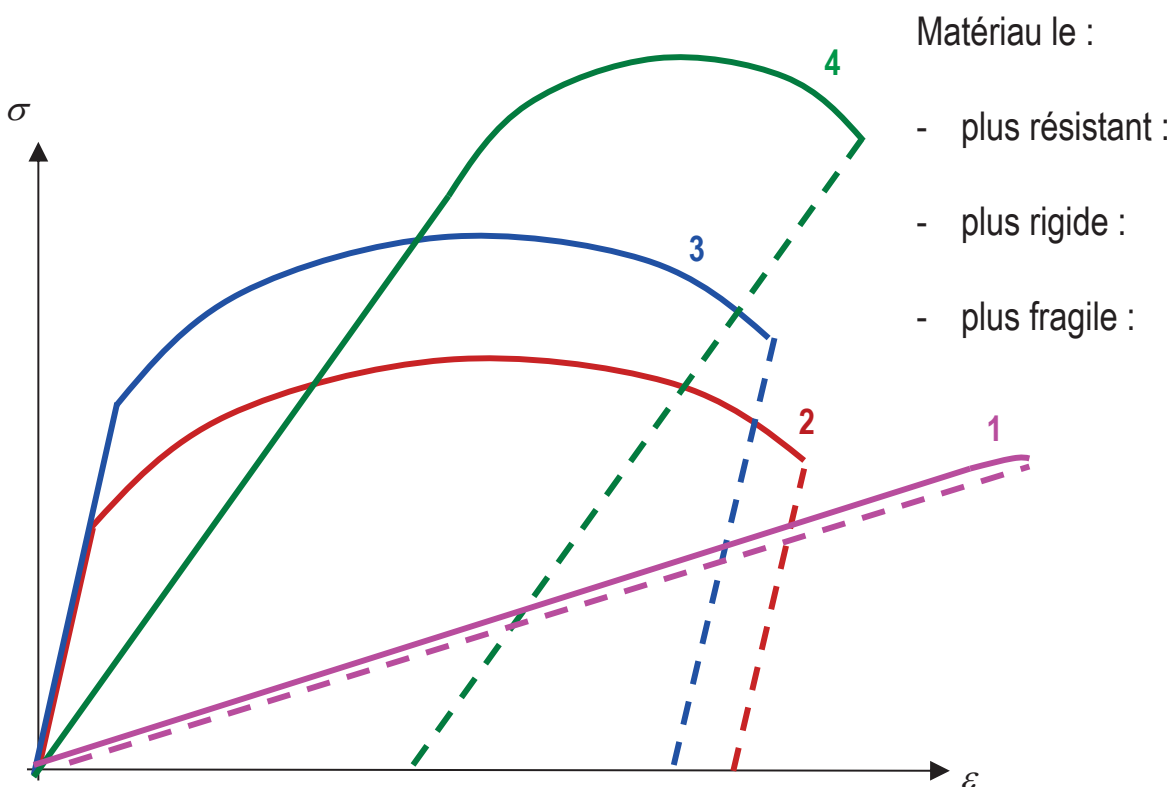
● Energie de déformation par unité de volume $U = U_e + U_p$ J m^{-3}

➡ aire sous la courbe de traction



● Energie élastique par unité de volume : $U_e = \frac{\sigma^2}{2E}$

Quizz



Quizz

- *Le domaine élastique met en jeu une relation linéaire entre contrainte et déformation.*
- *L'écrouissage augmente la rigidité d'un matériau.*
- *L'écrouissage augmente la fragilité d'un matériau.*
- *Le caoutchouc est un matériau fragile.*