

Université de Ahmed Zabana de Relizane
Faculté des Sciences et Technologies
Département de Génie Mécanique

Filière: Génie mécanique
Spécialité: Génie des matériaux
Palier: Master I/S1

Intitulé:

COMPORTEMENT MECANIQUE DES MATERIAUX METALLIQUES CHAPITRE 3

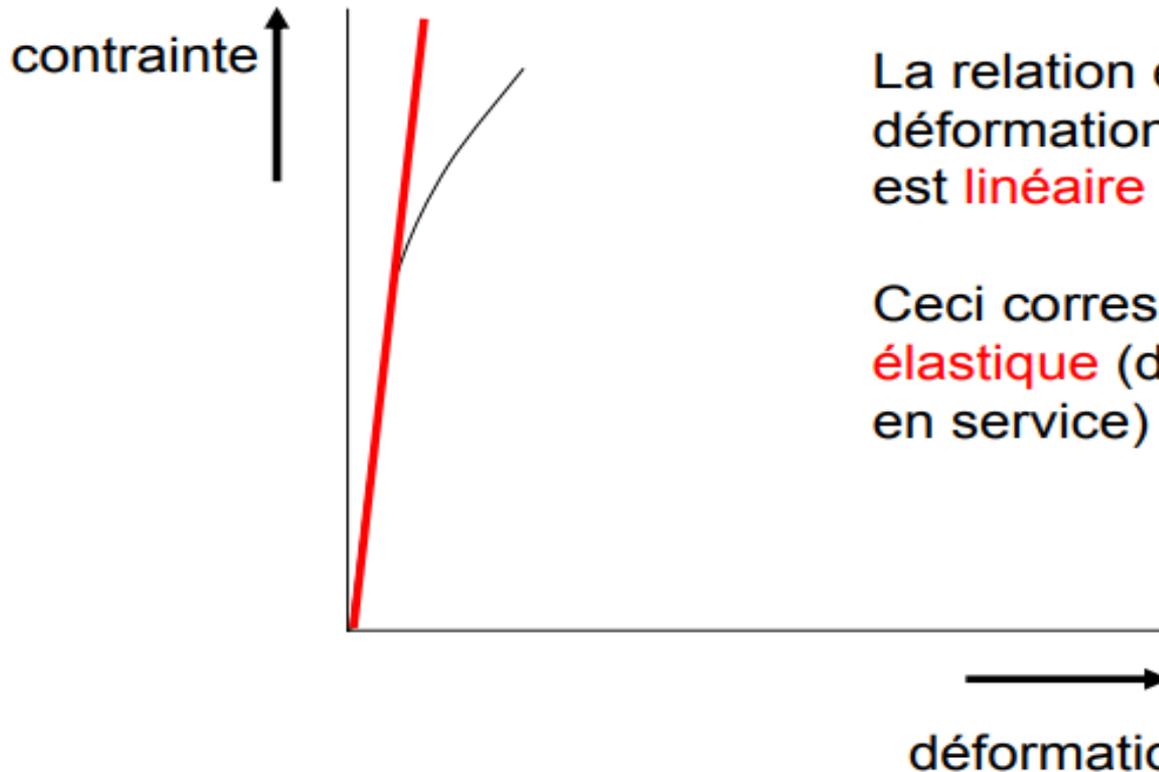
Chargé de cours:
Dr. HABIBI Samir

Chapitre 3:

■ DOMAINE DE DÉFORMATION ÉLASTIQUE

Déformation Élastique

Domaine de Déformation Élastique: Déformation Instantanée et Réversible



Pour la plupart des Matériaux :

La relation entre contrainte et déformation en régime élastique est **linéaire**

Ceci correspond au **domaine élastique** (domaine de déformation en service)

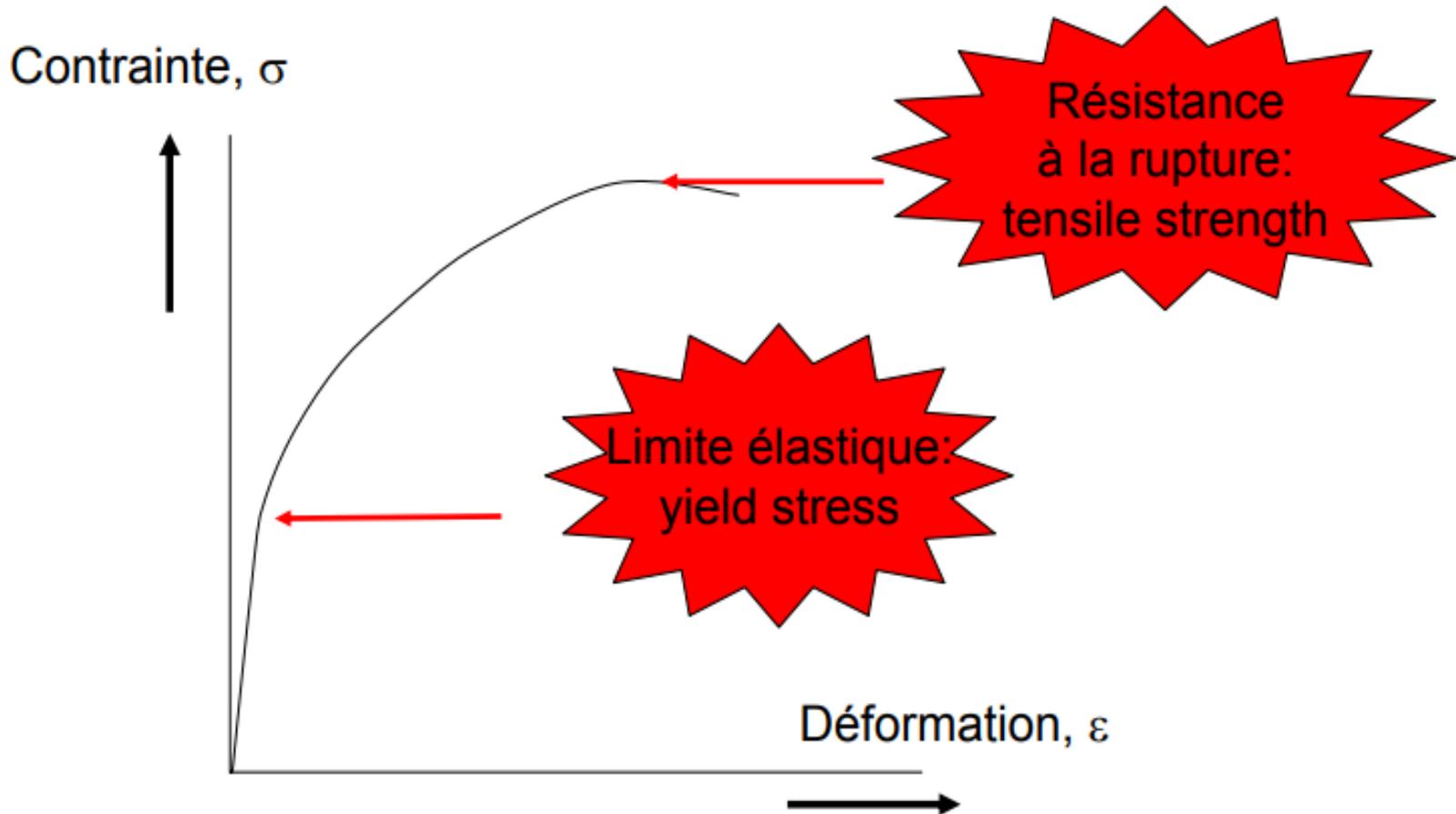
Explication

La déformation élastique est réversible

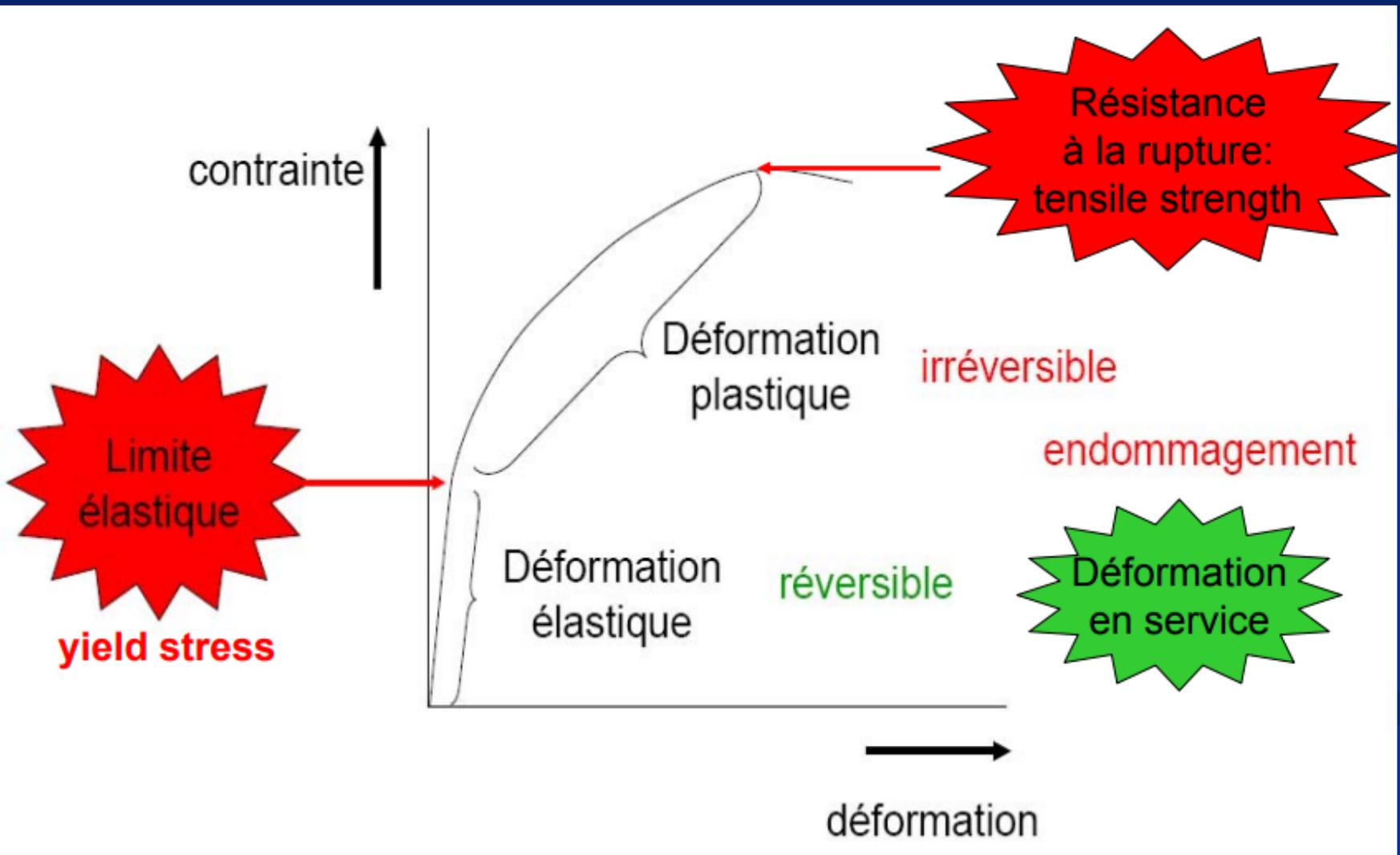
- Si on relâche la contrainte, l'éprouvette reprend ses dimensions initiales
- Les déformations sont extrêmement petites ($< 0,001$)
- En première approximation, les longueurs et les surfaces restent constantes → on ne distingue plus valeurs vraies et nominales

2 propriétés clés (MPa)

caractérisent la courbe de traction



Cerner la déformation en service



Définitions:

Élasticité :

Propriété qu'a un corps, après avoir été déformé par une charge, de reprendre sa forme initiale lorsque la charge est enlevée.

Limite élastique :

C'est la contrainte maximum que peut supporter un matériau sans danger de déformation permanente.

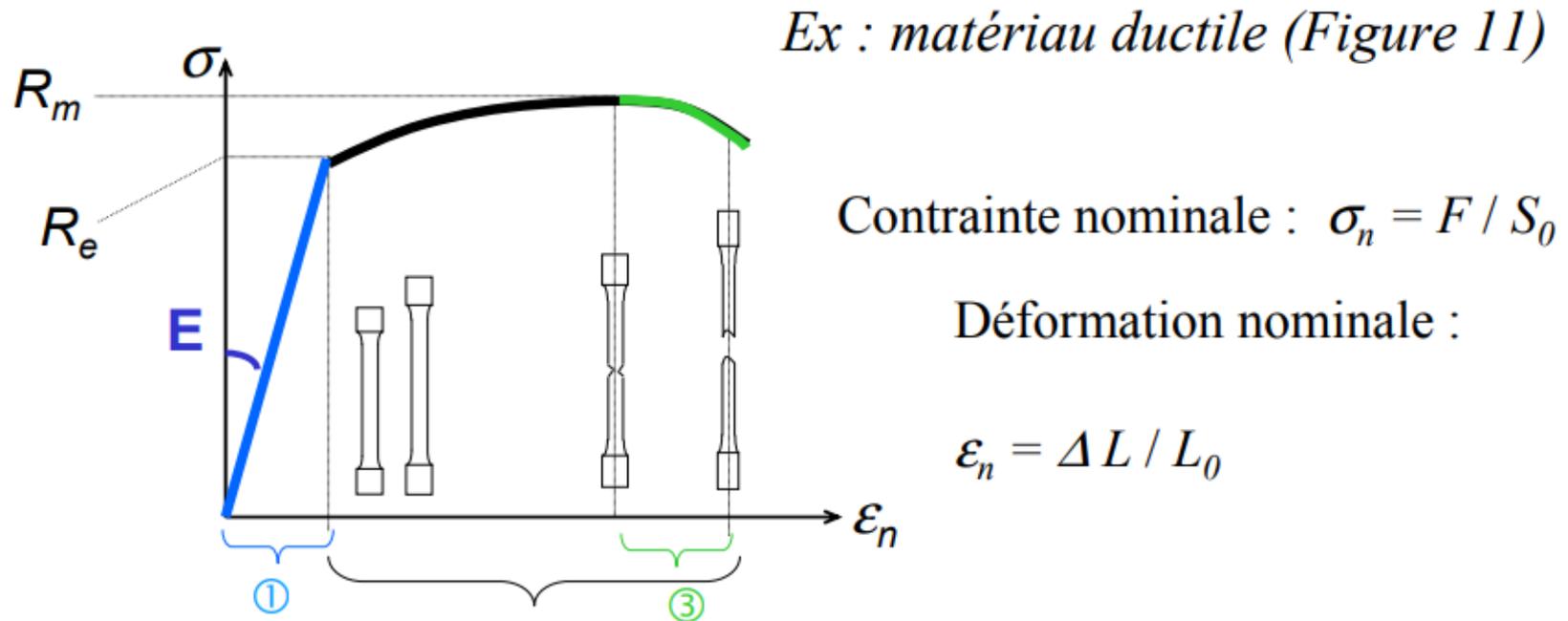
Module de Young (élasticité) :

C'est la constante de proportionnalité entre la contrainte qu'un matériau subit et sa déformation unitaire. C'est une constante propre à chaque matériau.

Plasticité :

Propriété qu'a un corps de conserver partiellement les déformations produites par une charge lorsque celle-ci est enlevée. La déformation plastique se produit quand la contrainte dépasse la limite d'élasticité.

Exemple d'un matériau ductile



① domaine élastique (déformation réversible)

② domaine plastique (déformation irréversible)

③ striction puis rupture (déformation irrémédiable)

Loi de Hooke

Nous savons par expérience que tout dépendant de l'intensité de la force qu'on exerce sur une pièce ou partie d'une structure, elle se déforme de façon minime et temporaire ou de façon prononcée et permanente. Expérimentalement, on note que la déformation est proportionnelle à la charge que l'on place sur la pièce. (voir *figure 6.2*)

Plus précisément, un anglais; Robert Hooke a énoncé la loi suivante:

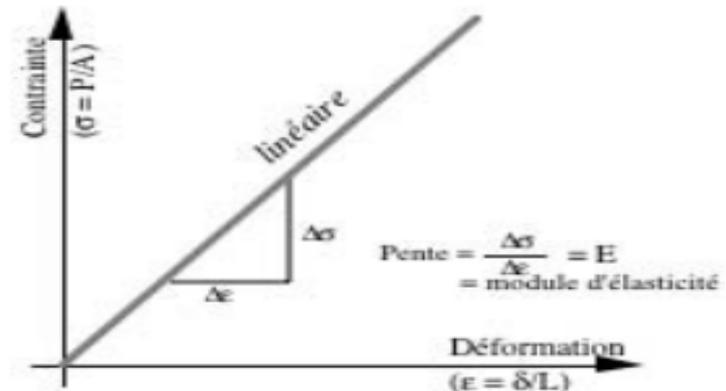


Fig. 6.2

Loi de Hooke:

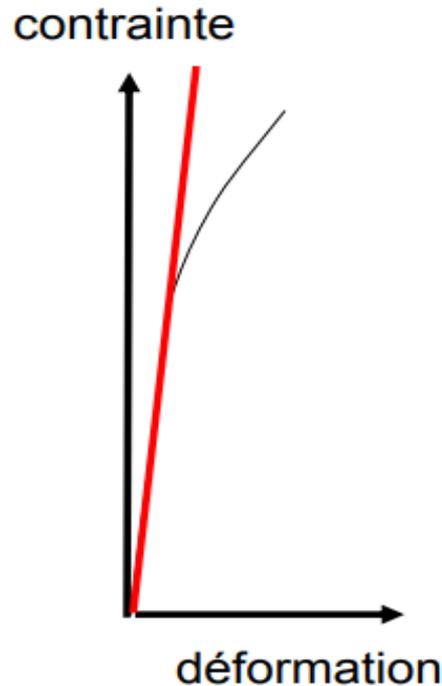
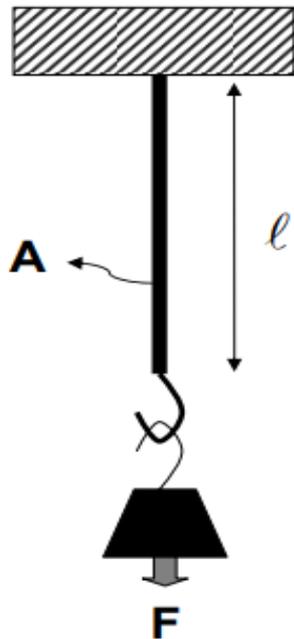
Lorsqu'on charge un matériau, si la contrainte produite demeure inférieure à sa limite élastique, sa déformation est proportionnelle à la contrainte qu'il subit.

$$\begin{aligned} \epsilon &\propto \sigma \\ \sigma &= E\epsilon \text{ [N/m}^2\text{] ou [Pa]} \end{aligned} \quad (6.3)$$

où **E**: est la constante de proportionnalité appelée module d'élasticité ou module de Young. [Pa](voir figure 6-2)

Elasticité linéaire

Elasticité linéaire : loi de Hooke (1678)
analogie avec un ressort



module d'élasticité
ou module d'Young E

$$\sigma = E \varepsilon^{el}$$

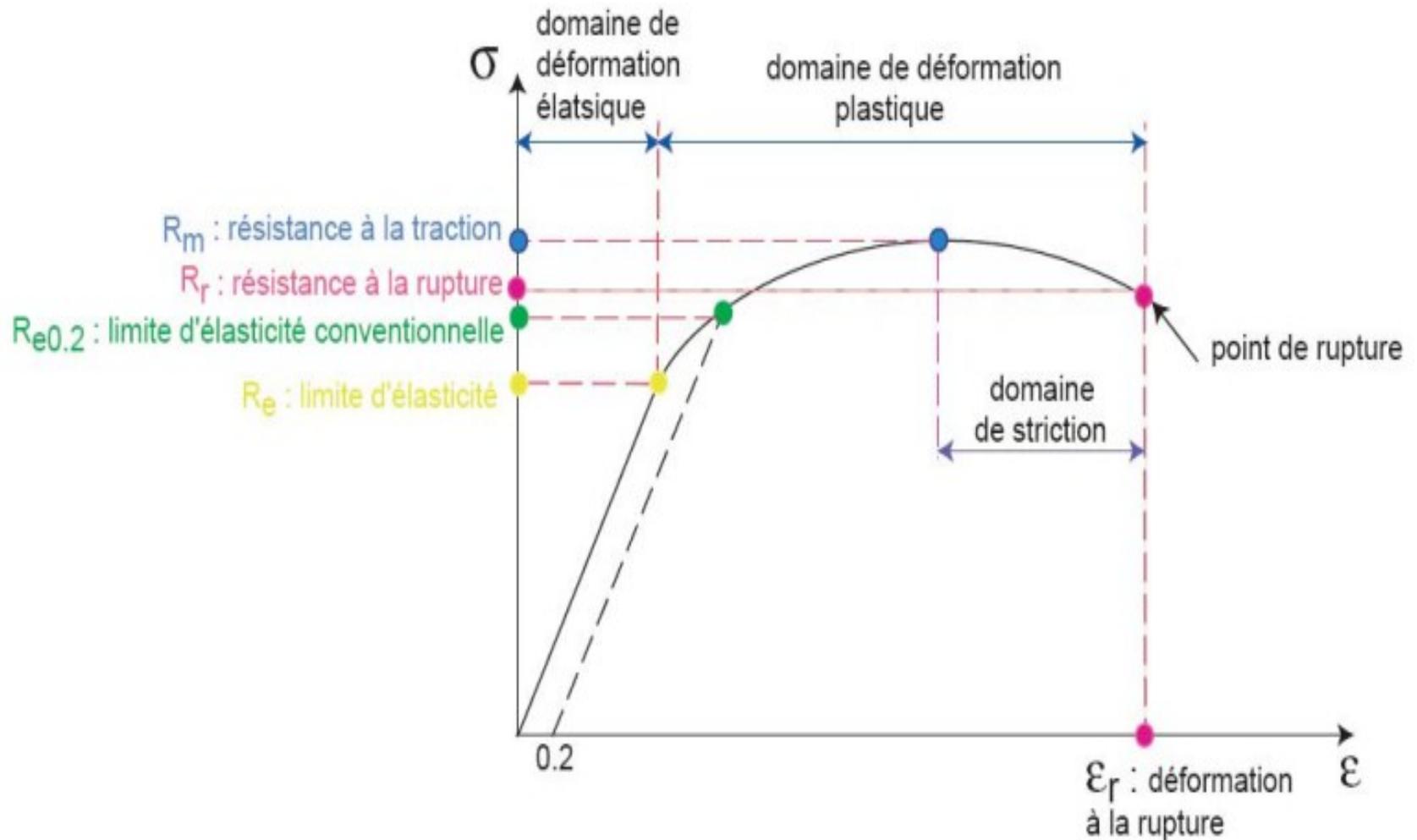
$$\frac{F}{S} = E \frac{\Delta l}{l_0}$$

Pour les métaux, E est très élevé donc ε^{el} reste tjrs très faible.

$$E_{\text{alu}} = 70 \text{ GPa}$$

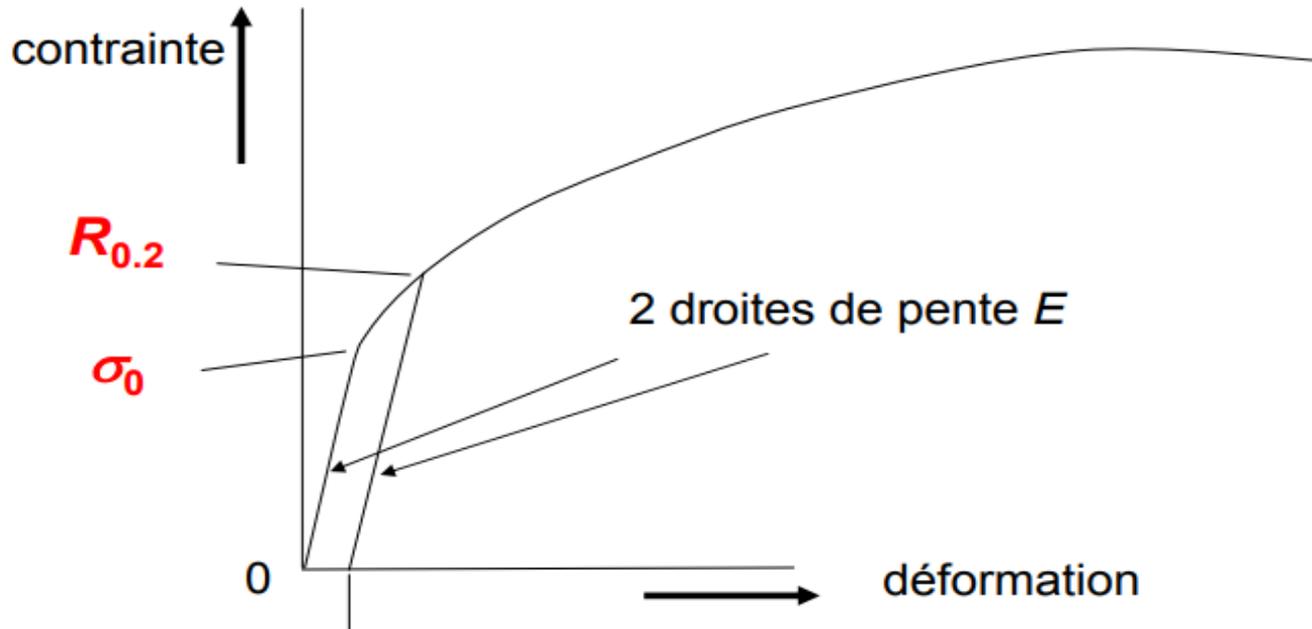
$$E_{\text{acier}} = 210 \text{ GPa}$$

Courbe Rationnelle de Traction



Limite d'élasticité conventionnelle

conventionnelle à 0.2% $R_{0.2}$

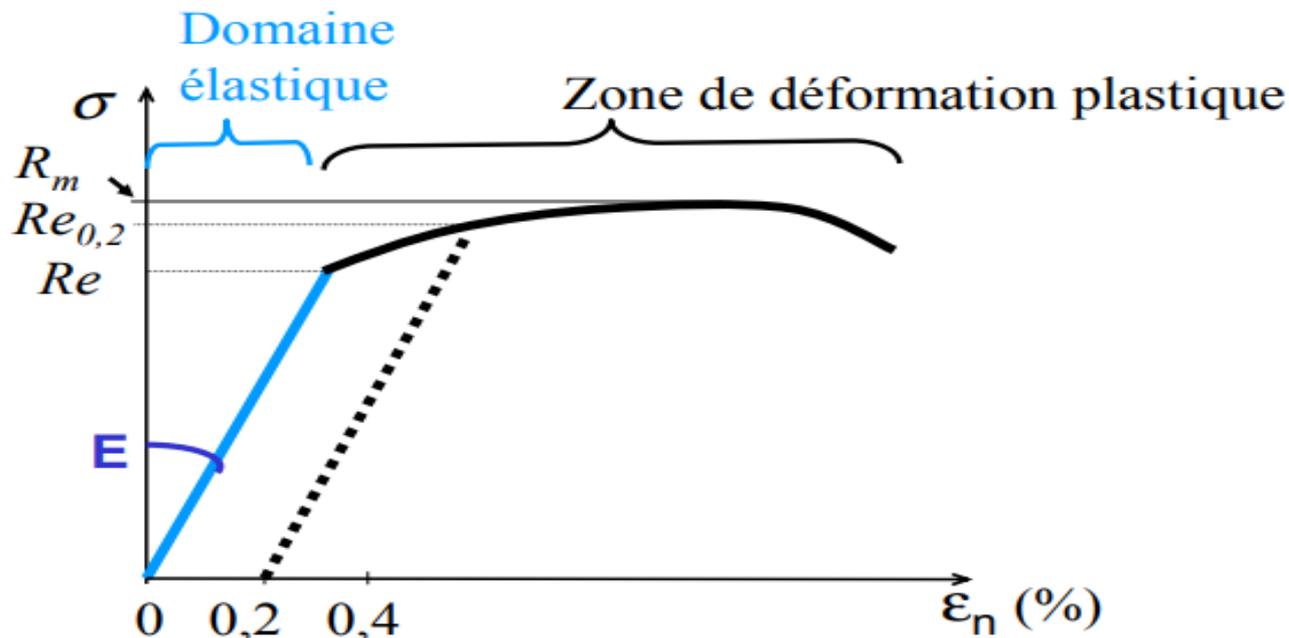


0.002 = 0.2%

- Besoin de convention
- Pour la plupart des constructions mécaniques, des déformations aussi faibles que 0.2% sont insignifiantes
- Limite plus facilement mesurable

Modalité de la détermination graphique de la contrainte vraie (conventionnelle)

Domaine élastique \rightarrow contrainte est proportionnelle à la déformation (loi de Hooke) \rightarrow constante de proportionnalité E (module d'Young)



courbe contrainte-déformation d'un matériau ductile,
 $E, Re, Re_{0,2}, R_m$

Explication

- **Module d'Young E**

$$\sigma_n = E \varepsilon_n$$

E caractéristique intrinsèque du matériau

- **Limite d'élasticité Re** = limite entre zones élastique et plastique

→ limite d'élasticité conventionnelle $Re_{0.2}$
(contrainte correspondant à 0,2 % de déformation)

- **Résistance à la traction R_m** contrainte maximale atteinte durant l'essai de traction

Contrainte et Déformation vraie

Contraintes et déformations vraies

Grandeurs rapportées aux dimensions instantanées

Contrainte vraie σ $\sigma = \frac{F}{S}$ où S est la section à l'instant considéré

Au cours d'une déformation plastique, le volume se conserve

$$S_0 L_0 = S L$$

Déformation vraie ε

Pour une déformation élémentaire $d\varepsilon = dl/l$, ε vraie s'écrit :

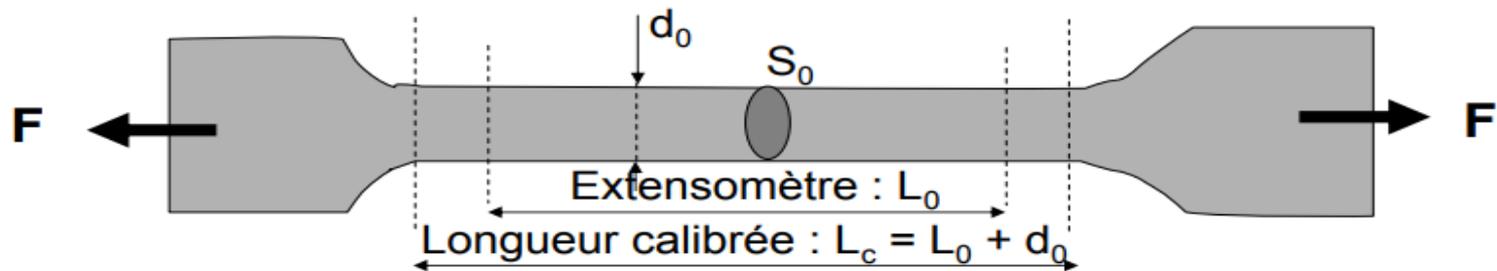
$$\varepsilon = \int_{l_0}^l \frac{dl}{l} = \ln\left(\frac{l}{l_0}\right)$$

On peut relier grandeurs nominales (rapportées aux dimensions initiales) et grandeurs vraies

$$\varepsilon_n = \frac{l - l_0}{l_0} \quad \varepsilon = \ln(1 + \varepsilon_n) \quad \sigma = \frac{F}{S} = \frac{F}{S_0} (1 + \varepsilon_n) = \sigma_n (1 + \varepsilon_n)$$

Formules des Limites d'Elasticité Nominale et Conventiennelle

Essais de traction : force et déplacement
contraintes et déformations

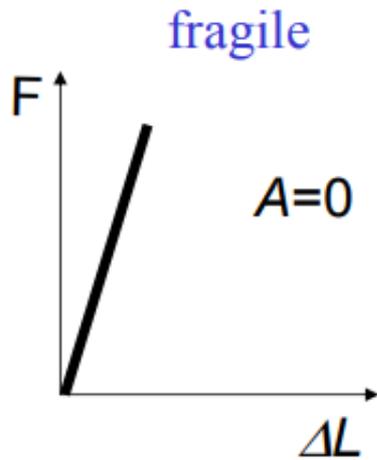


Engineering (nominal) stress & strain : $\sigma_n = \frac{F}{S_0}$ et $\varepsilon_n = \frac{L-L_0}{L_0}$

True (réelle) stress & strain : $\sigma = \frac{F}{S}$ et $\varepsilon = \ln\left(\frac{L}{L_0}\right) = \int_{L_0}^L \frac{dL}{L}$

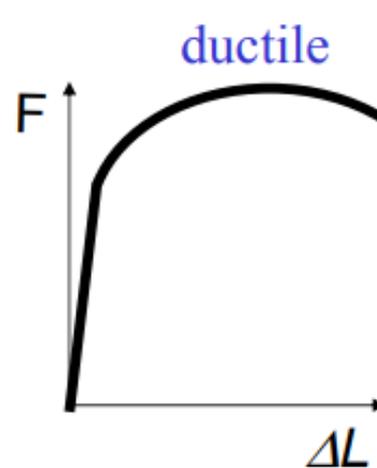
Classification des Matériaux

Trois comportements possibles (Figure 12)



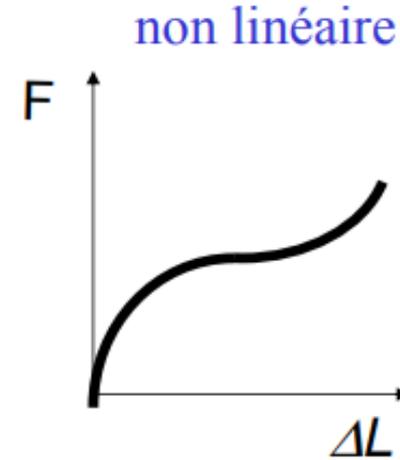
Pas de domaine
plastique

- verre
- céramique
- béton
- polymères
thermodurcissables



Déformation plastique
permanente

- métaux
- alliages
- polymères
thermoplastiques

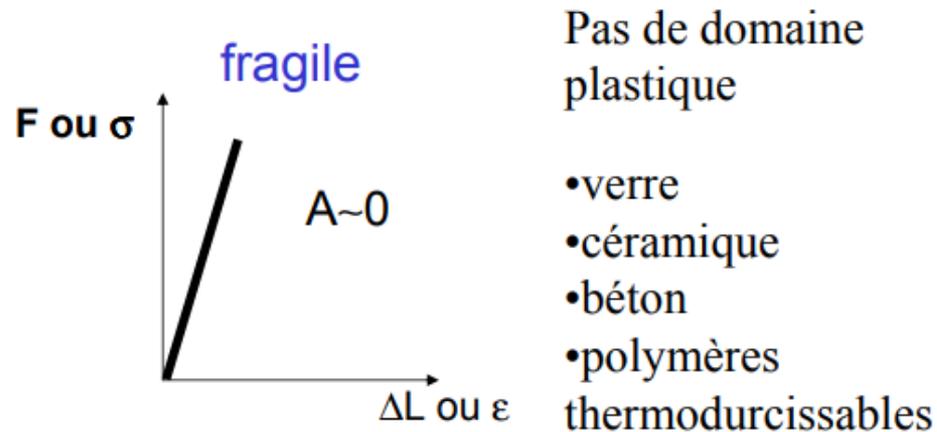


Déformation élastique
non proportionnelle à
la charge

- caoutchouc
- élastomères..

Matériaux Fragiles

→ comportement élastique puis rupture



Les valeurs théoriques de contrainte de rupture sont ~ 100 fois plus élevées que les valeurs expérimentales.

Les constantes d'Elasticité

La déformation élastique est réversible

- Si on relâche la contrainte, l'éprouvette reprend ses dimensions initiales
- Les déformations sont extrêmement petites ($< 0,001$)
- En première approximation, les longueurs et les surfaces restent constantes → on ne distingue plus valeurs vraies et nominales

Formulations des constantes d'Elasticité

DANS LE DOMAINE ELASTIQUE

Pour une traction

$$\sigma = E \varepsilon$$

E : module d 'Young

ε : déformation longitudinale

Pour un cisaillement

$$\tau = G \gamma$$

G : module de cisaillement ou de Coulomb

γ : déformation en cisaillement

**Pour une compression
hydrostatique**

$$P = -K \Delta$$

K : module de compressibilité

**Δ : réduction de volume causée
par la pression P**

Relations entre constantes élastiques

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad \text{et} \quad K = \frac{E}{3(1-2\nu)}$$

avec $-1 < \nu < 0,5$

ν est le coefficient de Poisson

Remarque : pour les métaux

$\nu \sim 1/3$ donc $K = E$ et $G \sim 3/8 E$

Exemples du module d'élasticité en GPa

Diamant	1000	Fibre de carbone	300
Carbure de silicium (SiC)	450	Silicium	107
Tungstène	400	Acier	210
Cuivre	125	Laiton, bronze	110
Titane	115	Magnésium	45
Aluminium	70	Verre à vitre	70
Alumine (Al ₂ O ₃)	400	Magnésie (MgO)	250
Silice vitreuse (SiO ₃)	95	Béton	50
Bois aggloméré	7	Polyamide 6-6	2
Polyéthylène md	0,7	Polypropylène	1,5
Polystyrène	2	Caoutchoucs	~ 0,001

Cas particulier des polymères : déploiement des chaînes enchevêtrées avant que les liaisons interatomiques du squelette ne soient effectivement soumises à la contrainte.