

**Durabilité des matériaux**  
**Vieillessement et propriétés mécaniques**

---

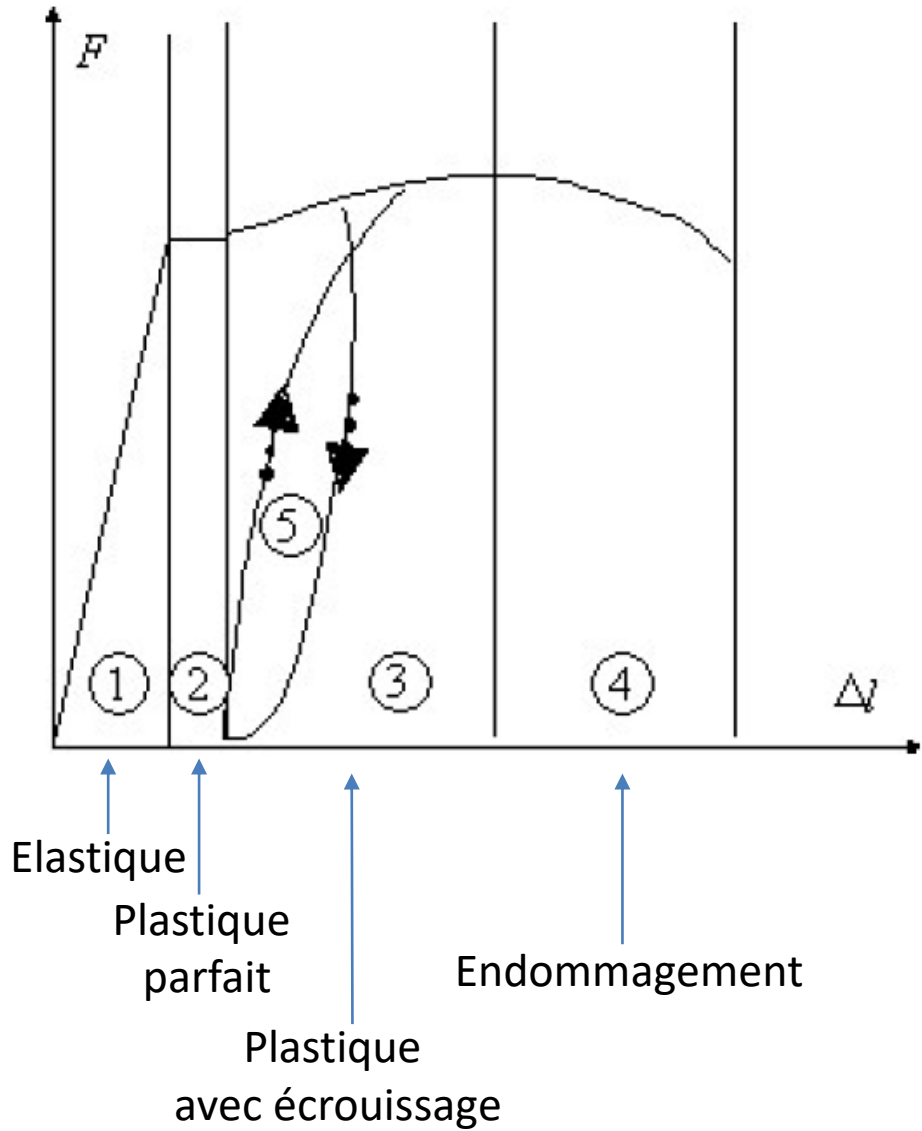
## **Vieillessement mécanique d'un matériau**

**Elasticité**



**Plasticité**

# Représentation schématique Essai en traction



# Les différents comportements

---

- Un **comportement élastique** linéaire ou non (domaine 1) pour lequel aucune déformation résiduelle ne se maintient après décharge.
- Un **stade de déformation plastique** parfait (domaine 2) et avec écrouissage (domaine 3) caractérisé par une déformation résiduelle irréversible après décharge, l'ensemble du comportement étant complètement indépendant du temps, notamment de la vitesse de chargement.
- Une **étape d'endommagement** (domaine 4) conduisant à la rupture. L'endommagement se manifeste par l'altération progressive des propriétés mécaniques qui accompagne, habituellement pour d'assez grandes déformations ou sous sollicitations cycliques, la formation et la croissance de microfissures et microcavités, altération pouvant aller jusqu'à la rupture. Naturellement liées à la déformation elle-même les lois d'endommagement doivent être couplées aux lois de comportement et l'ensemble détermine le comportement réel du matériau. Selon les matériaux, la rupture peut se produire plus ou moins tôt, notamment en stade élastique ou plastique avant endommagement.

Cependant, dans bien des cas le temps intervient et la courbe d'essai obtenue est une fonction de la vitesse de sollicitation (domaine 5). Ainsi un arrêt à contrainte constante s'accompagne d'une déformation de *fluage*, un arrêt à déformation constante s'accompagne d'une *relaxation* de la contrainte, une sollicitation cyclique d'*hystéresis*. C'est la manifestation de la viscosité du matériau visco-élasticité ou visco-élasto-plasticité.

# Objectifs

---

Comprendre la relation entre les interactions localisées et le vieillissement mécanique d'un matériau

# Rappels : notions fondamentales

---

Liaison chimique

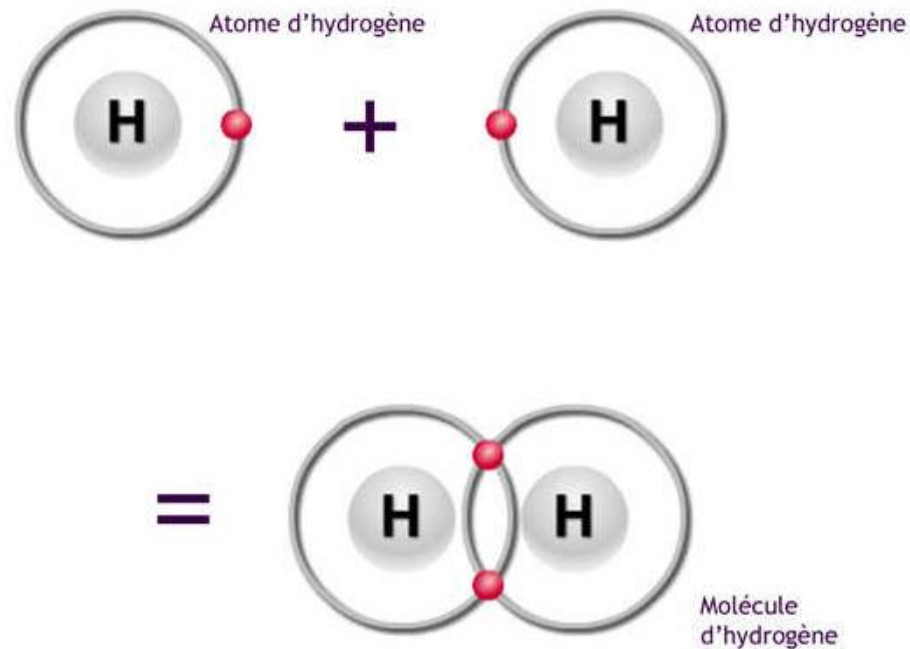
Energie de Liaison interatomique

Force de liaison

# Liaison chimique et minimisation d'énergie

---

- L'énergie d'un agrégat est plus faible que celle des atomes séparés.  
**Une liaison minimise l'énergie du système (processus exothermique).**



# Types de liaisons chimiques

## Liaisons fortes

( $E > 40$  kJ / mol)

ionique, covalente ou métallique



## Liaisons faibles

(4 – 40 kJ / mol)

liaison de van der Waals, liaison H).



<i>Liaison</i>	<i>Énergie</i>	<i>Température</i>
Chimique	quelques eV	quelques $10^4$ K
Hydrogène	0,1 à 0,2 eV	quelques $10^4$ K
van der Waals	$\ll 0,1$ eV	quelques $10^2$ K

- Electrons qui interviennent dans la liaison chimique : **électrons de valence**.

Les forces de liaison, essentiellement de nature électrostatique, entraînent une réorganisation des électrons de valence autour des noyaux.



## Energie de liaison entre deux atomes (cas général) :

$$E = -\frac{A}{r^m} + \frac{B}{r^n}$$

$$n = 8 \text{ à } 12$$

$$m = f(\text{type de liaison})$$

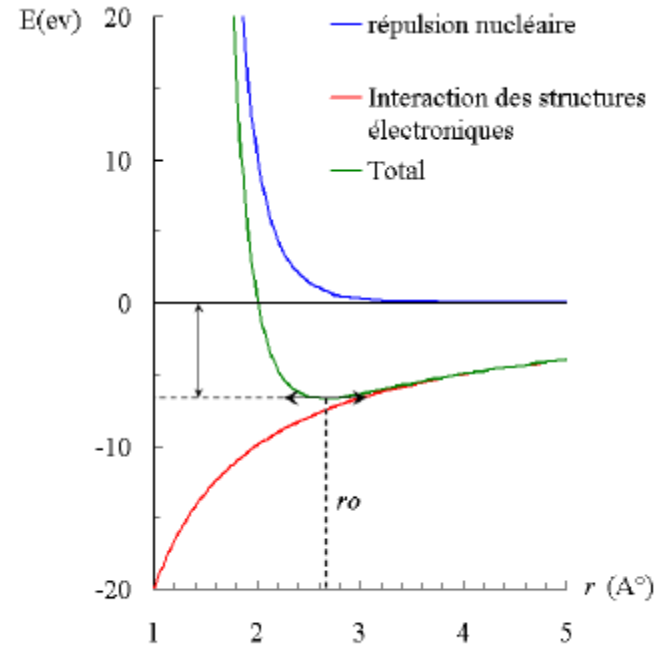


Figure 1 : Potentiel d'interaction pour la liaison NaCl (Quéré).

*Potentiel de Lennard Jones*

Energie de liaison entre deux atomes :

$$E = -\frac{A}{r^m} + \frac{B}{r^n}$$

Etat **stable**  $r_0$  telle que

$$\left. \frac{dE}{dr} \right|_{r=r_0} = m \frac{A}{r_0^{m+1}} - n \frac{B}{r_0^{n+1}} = 0 \Rightarrow r_0 = \left( \frac{nB}{mA} \right)^{1/(n-m)} \quad \text{et} \quad E_{\min} = -\frac{A}{r_0^m} + \frac{B}{r_0^n}$$

**Éléments de comparaison entre matériaux (types de liaison)**

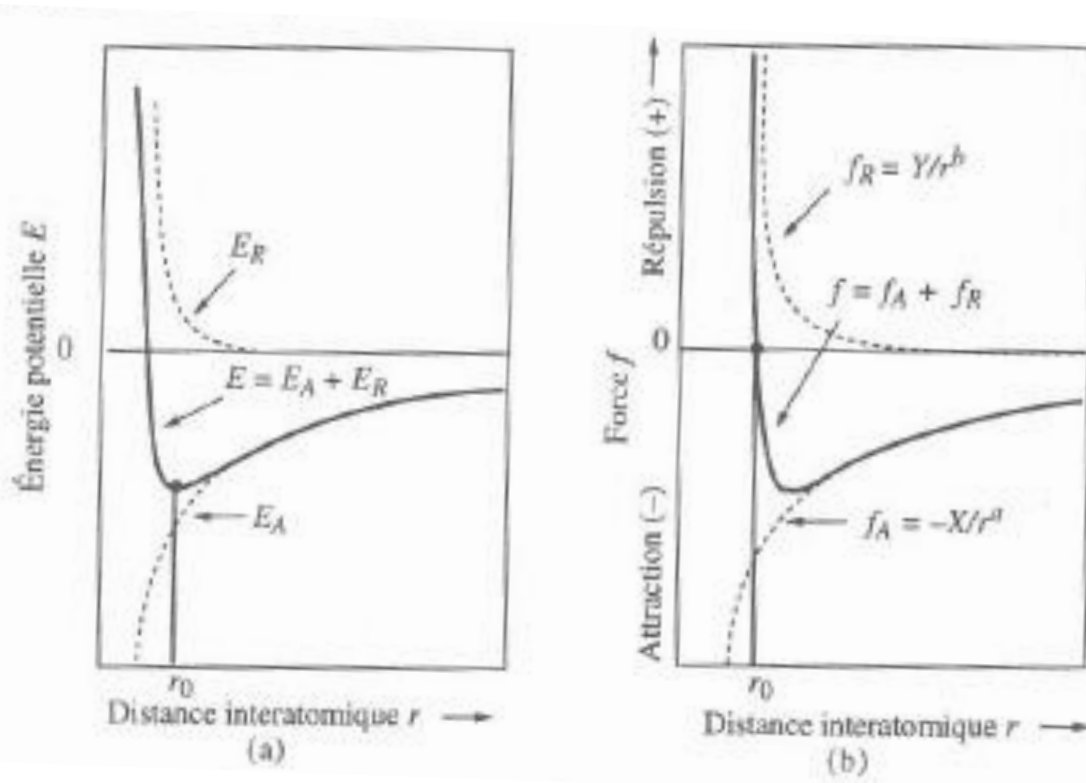
:  $m_{\text{métal}} \gg m_{\text{polymère}}$

métaux (8000 kg / m<sup>3</sup>) et polymères (1000 Kg /m<sup>3</sup>)

Température de fusion : métaux (1000°C) et polymères (400 °C)

## Force de liaison entre deux atomes (cas général) :

$$f_L = -\frac{dE}{dr}$$



## Applications :

- 1) Montrez que si l'énergie de liaison entre deux atomes  $E(r) = -Ar^{a+1} + Br^{-b+1}$  alors la force de liaison s'exprime sous la forme  $f_L(r) = -Xr^{-a} + Yr^{-b}$  avec des valeurs de X et de Y que l'on déterminera. On donnera une signification physique
- 2) En déduire que  $f(r)$  peut s'exprimer en fonction de la constante d'attraction sous la forme

$$f_L(r) = \left( \left( \frac{r}{r_0} \right)^{(a-b)} - 1 \right) \frac{X}{r^a}$$

$r_0$  représente la distance à l'équilibre de la liaison chimique

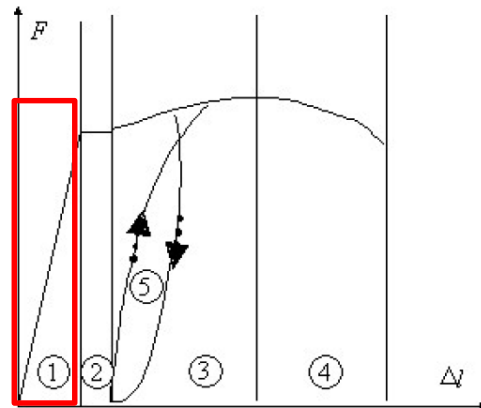
# Durabilité mécanique :Elasticité

---

## I Liaison interatomique et élasticité

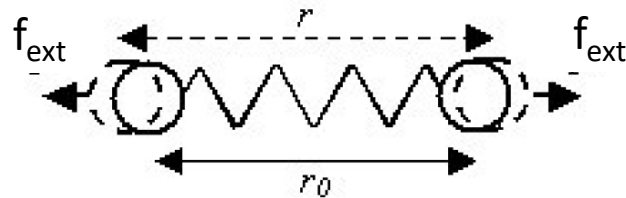
## II Aspects macroscopiques et phénoménologiques du comportement élastique du solide

## III Thermodynamique et origine atomique de l'élasticité



# Propriétés élastiques d'une liaison

Relation entre propriétés élastiques d'un matériau et modèle local de liaison



Force de rétraction microscopique  $f_r = -f_{ext}$

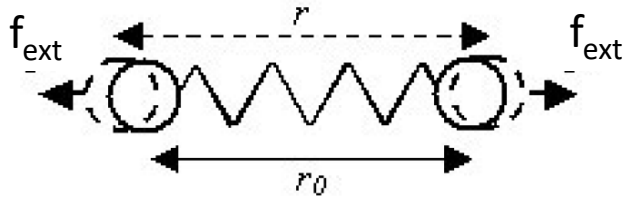
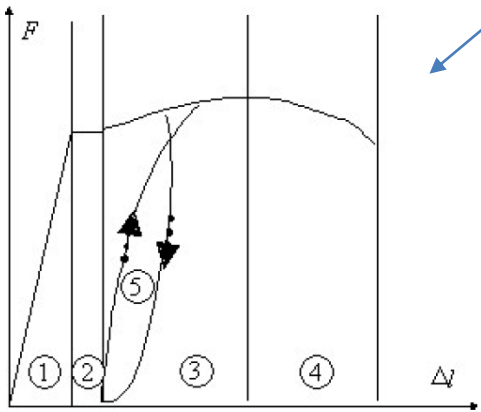
Pour des petites déformations ( $< 0.1\%$ )  $f_r = Cdr$  (processus linéaire !)

**Remarque :**  $f_L = -f_r$

# Durabilité mécanique :Elasticité

## Macro Versus Micro

F versus f



# Propriétés élastiques micro versus macro

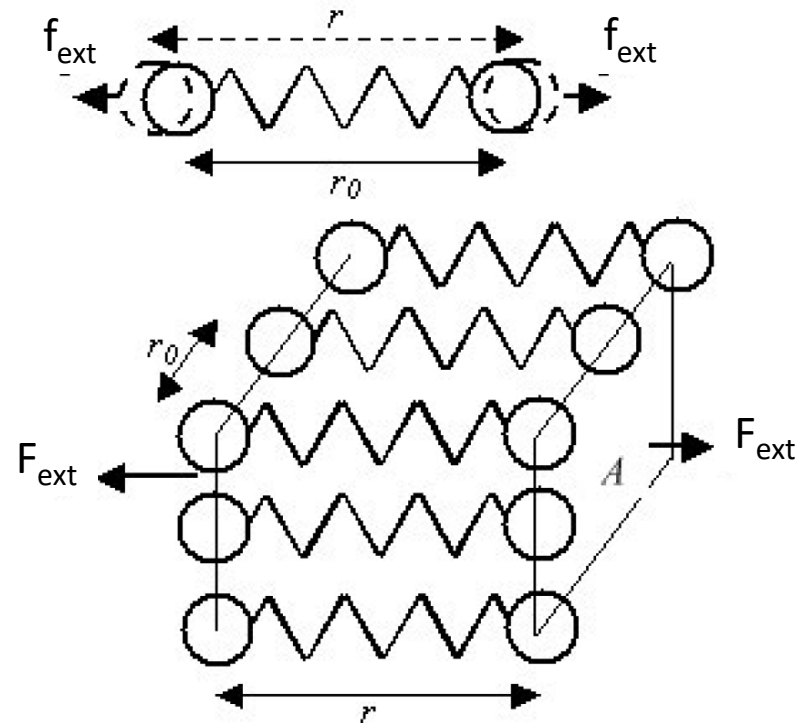
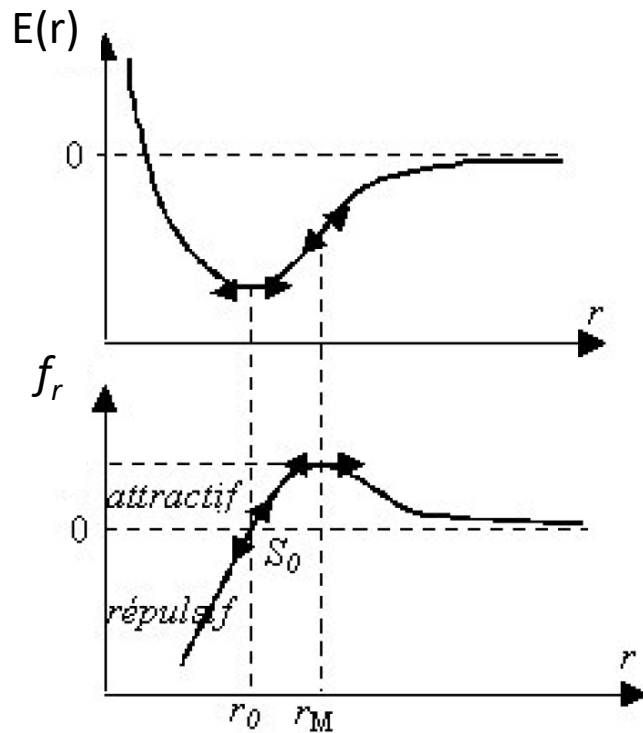
Relation entre propriétés élastiques d'un matériau et modèle local de liaison

Energie de liaison  $E(r)$

Force de rétraction  $f_r$

Force de rétraction microscopique =  $f_r = -f_L = Cdr$

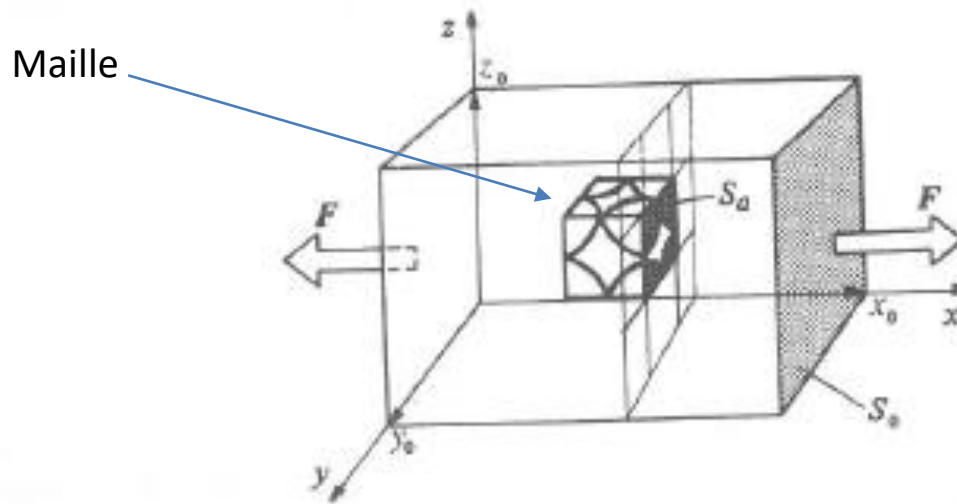
Force de rétraction macroscopique  $F_r = -F_L$





# Déformation élastique d'un cristal parfait

Passage propriétés mécaniques échelle micro => échelle macro



Déformation uni axiale d'un cristal de section  $S_0$  et longueur  $x_0$ . (maille élémentaire cubique simple, diamètre atomique  $r_0$ ,  $S_a = (r_0)^2$  section occupée par un atome)

$$F_r(r) = \frac{S_0}{r_0^2} f_r(r) \quad \text{Pour une déformation affine !}$$

$$\sigma_x = \frac{F_r(r)}{S_0} = \frac{C}{r_0} \varepsilon_x = E \varepsilon_x$$