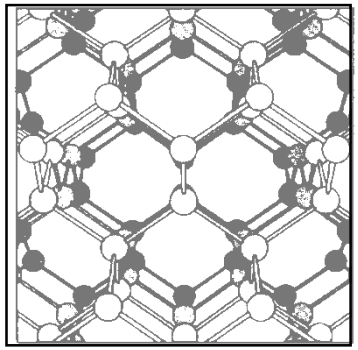


Rhéologie des Matériaux

*Chapitre **2***

Partie1 : Rhéologie des solides

Plan

1.1 Définitions

1.2 Les lois rhéologiques et comportement des matériaux.

1.3 Essai de traction quasi stationnaire.

1.4 Le comportement élastique

1.5 Le comportment viscoélastique d'un matériau

Plan (suite)

1.6 Le comportement plastique

1.7 Le comportement viscoplastique

1.8 Le fluage.

1.9 La relaxation

1.10 La recouvrance

1.11 Définitions des corps rhéologiques fondamentaux

Objectifs du cours

Objectifs généraux

A) Bonne compréhension de l'élasticité et la plasticité des matériaux.

B) Comprendre les lois de la rhéologie pour représenter les comportements des matériaux en fonction du temps

- ***T*ous les matériaux au-delà d'une certaine température acquièrent un comportement dépendant du temps.**

- **D'autre part, la mise en forme d'une grande partie des matériaux se fait à l'état fluide**

1.1 Définitions

La rhéologie est une branche de la physique qui étudie l'écoulement ou la déformation des corps sous l'application des contraintes variables en fonction du temps.

Les procédés de préparation de produits (solutions , pâtes , etc...)ou de formage de pièces (en métallurgie , en plasturgie , etc ...) nécessitent obligatoirement l'écoulement de la matière , il est donc nécessaire de connaître le comportement de cette matière pour déterminer les forces à mettre en jeu .

1.2 Les lois rhéologiques et comportement des matériaux.

La mesure des propriétés rhéologiques s'applique à tous les matériaux tels que :

- Les fluides tels que des solutions diluées de polymères et de surnageants,

- Semi-solides comme les pâtes et les crèmes,

- Les polymères fondus

- Les solides.

1.2 Les lois rhéologiques et comportement des matériaux.

De nombreux matériaux couramment employés ont des propriétés rhéologiques complexes, dont la viscosité et la viscoélasticité peuvent varier en fonction des conditions externes, telles que :

- la contrainte;
- la déformation;
- la durée;
- la température.

1.2 Les lois rhéologiques et comportement des matériaux.

Quand un corps est soumis à l'action de forces extérieures
des contraintes internes s'établissent

À ces contraintes sont associées des déformations

Relations entre
contraintes et déformations

On appelle modèle de comportement la relation qui relie la contrainte appliquée à la température, la déformation et la vitesse de déformation

1.2 Les lois rhéologiques et comportement des matériaux.

Les grandes classes de comportement

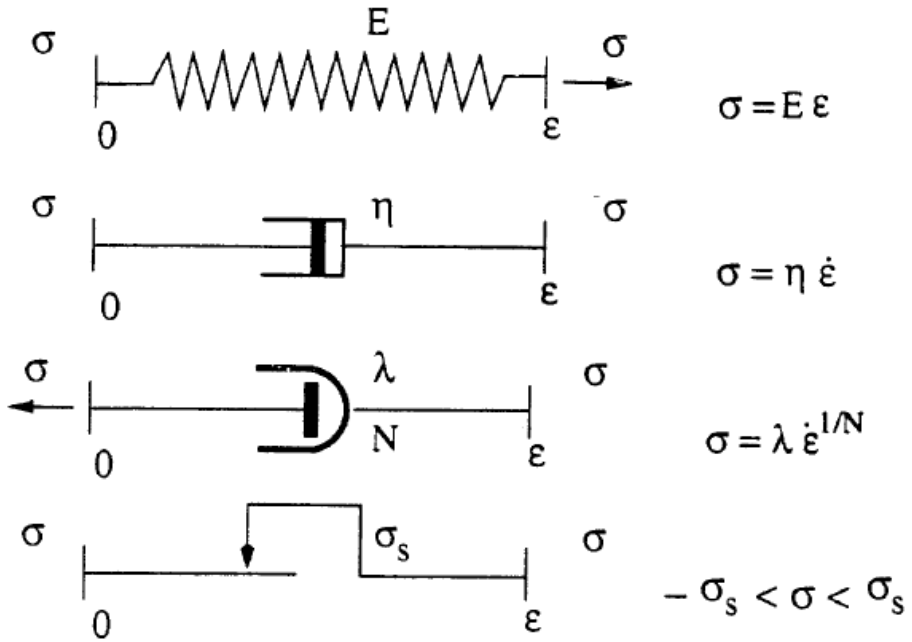
les comportements "de base", qui peuvent être représentés par des systèmes mécaniques élémentaires, sont :

l'élasticité,

Plasticité,

viscosité.

Les éléments les plus courants sont :



1.2 Les lois rhéologiques et comportement des matériaux.

1- Le ressort qui symbolise l'élasticité linéaire parfaite,

2- L'amortisseur, qui schématise la viscosité, linéaire ou non

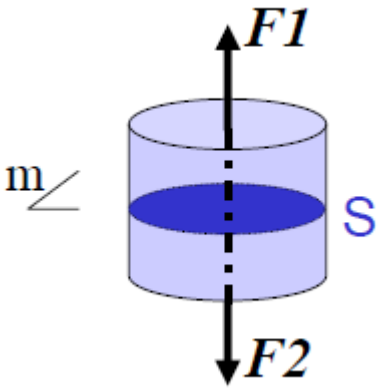
3- Le patin, qui modélise l'apparition de déformations permanentes lorsque la charge est suffisante

La combinaison de ces éléments peuvent former des **modèles rhéologiques.**

1.3 Essai de traction quasi stationnaire.

EXEMPLES DE CONTRAINTES

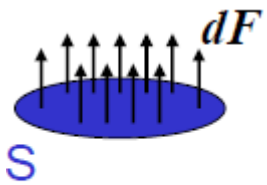
CONTRAINTES NORMALES : Traction simple



Corps cylindrique soumis à deux forces F1 et F2

- colinéaires
- normales à la section
- de même valeur F1=F2=F
- opposées

Selon le plan (m) ⊥ axe de traction, la surface S est soumise à une série de forces dF



$\Sigma\, dF = F$

1.3 Essai de traction quasi stationnaire.

La surface S est soumise à une contrainte normale de traction

$$\sigma = \frac{dF}{dS} \qquad (1) \qquad F = \iint_S \sigma \, dS$$

Pour une traction simple,
σ est la même sur toute la surface S

(1) devient $$\sigma = \frac{F}{S}$$

contrainte normale de traction

⇓

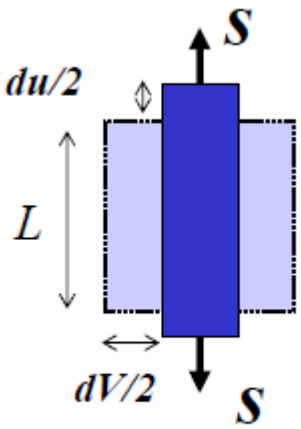
contrainte perpendiculaire à la surface S

1.3 Essai de traction quasi stationnaire.

DEFORMATIONS

DEFORMATION DE TRACTION

Considérons un élément de matière cubique



cube de coté L

Après application de la contrainte σ,
le cube est déformé selon les 3 directions :

- allongement du // traction

$\varepsilon_{//} = du / L$ *déformation longitudinale*

- accourcissement dv ⊥ traction

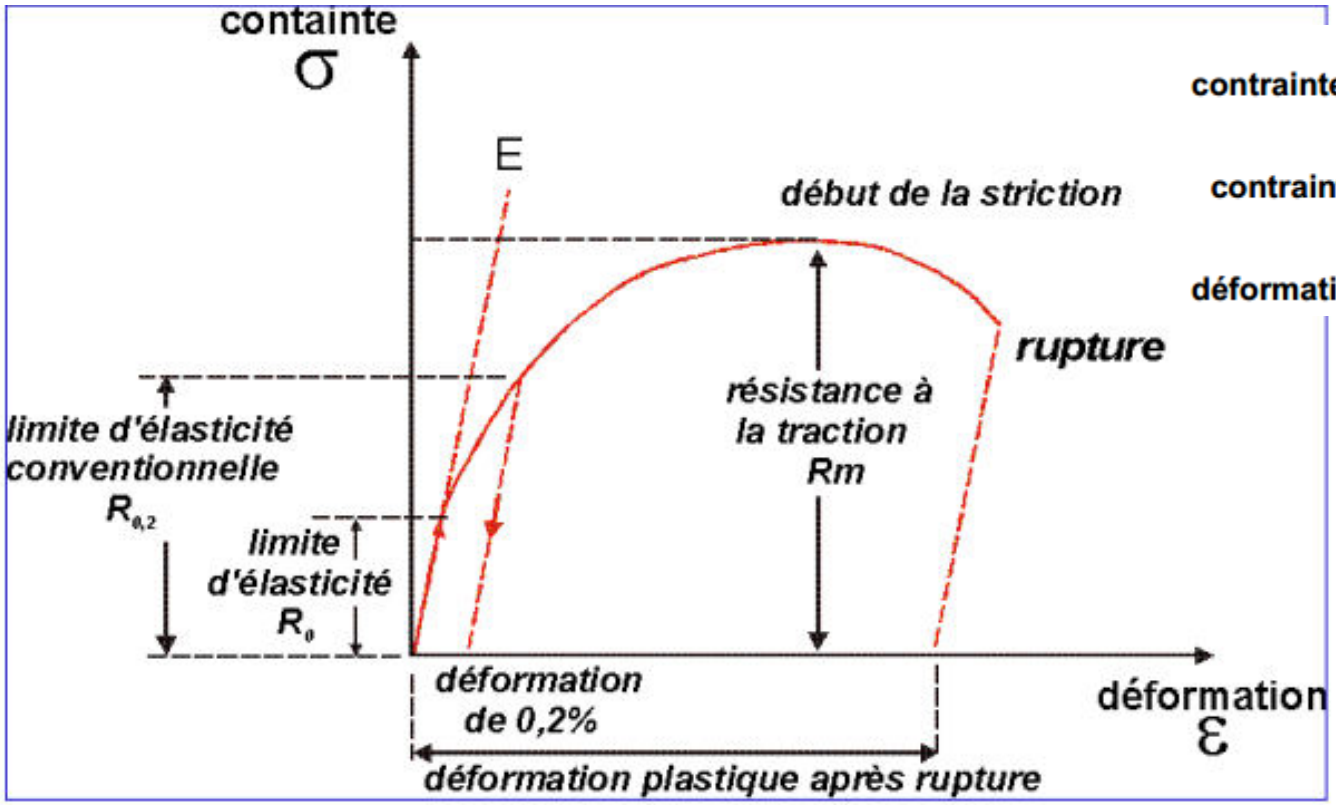
$\varepsilon_{\perp} = dv / L$ *déformation latérale*

Le coefficient de Poisson ν relie les deux déformations

$$\nu = - \varepsilon_{\perp} / \varepsilon_{//}$$

1.3 Essai de traction quasi stationnaire.

La déformation conventionnelle et réelle.

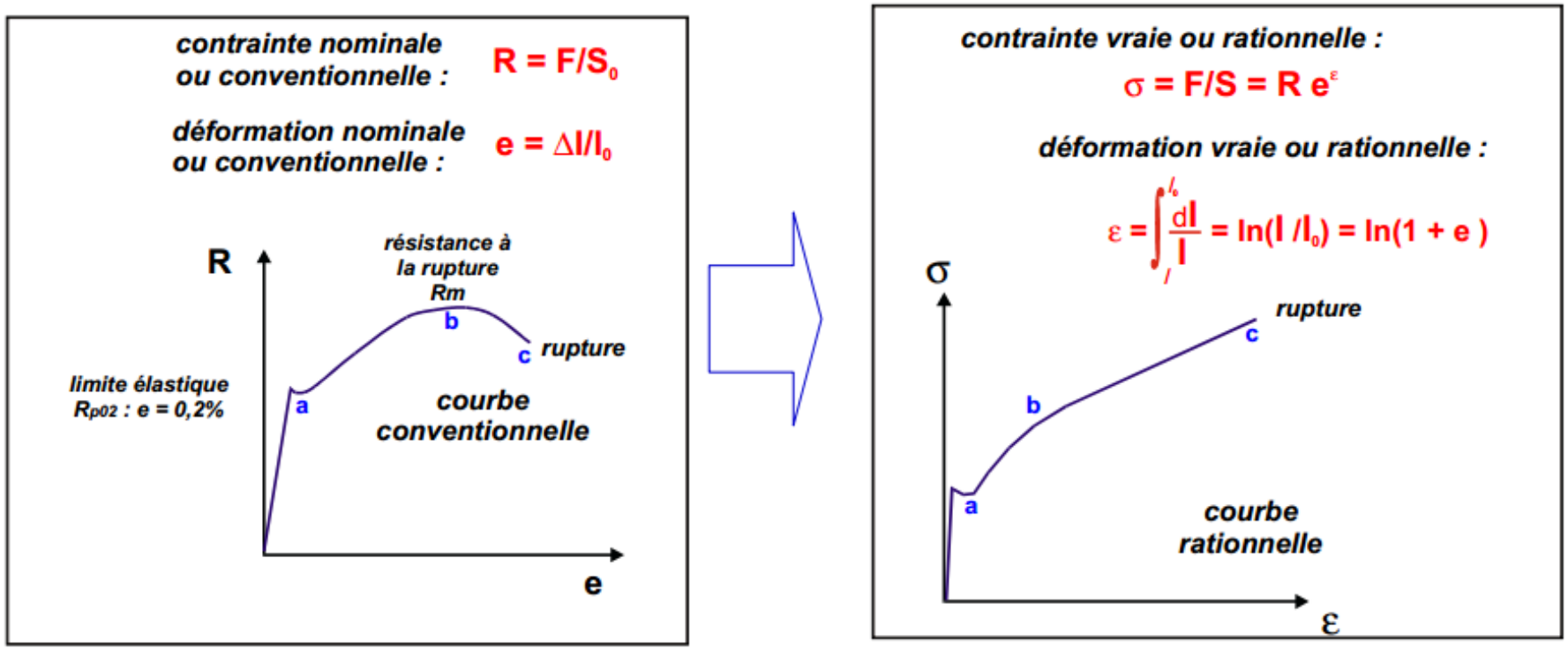


contrainte nominale : $\sigma_n = F/S_0$

contrainte vraie : $\sigma = F/S$

déformation nominale : $\varepsilon_n = u / l_0$

1.3 Essai de traction quasi stationnaire.



Les relations permettant de passer des grandeurs nominales aux grandeurs vraies s'écrivent telle que, l'hypothèse d'une déformation sans variation de volume :

$$\sigma = \sigma_n(1 + \varepsilon_n)$$

$$\varepsilon = \ln(1 + \varepsilon_n)$$

1-4 Le comportement élastique

C’est le plus simple des comportements.

Il est complètement réversible, donc pas de déformation résiduelle.

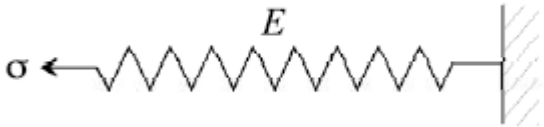
Ce comportement est instantané et on le qualifie de linéaire

La grande majorité des solides se comportent de façon élastique, au moins jusqu’à un certain niveau de contrainte.

1-4Le comportement élastique

Exemple 1D

Le modèle analogique 1D est celui du ressort de raideur E



La relation contrainte – déformation s'écrit simplement

$$\sigma = E\,\varepsilon$$

Généralisation 3D

En élasticité linéaire, homogène et isotrope, la relation $\sigma = E\,\varepsilon$ se généralise en 3D sous la forme suivante (loi de Hooke)

$$\boxed{\sigma = 2\mu\varepsilon + \lambda\, tr(\varepsilon)\, I}$$

où λ et μ sont des constantes (coefficients de Lamé)

1-4 Le comportement élastique

On peut aussi inverser cette relation en introduisant deux autres constantes, le module de Young et le coefficient de Poisson

$$\varepsilon = \frac{1+\nu}{E}\sigma - \frac{\nu}{E}\,tr(\sigma)\,I$$

Pour un matériau donné, ces diverses constantes élastiques peuvent être identifiées à partir d'expériences élémentaires (essai uniaxial, essai de cisaillement, …).

1-4 Le comportement élastique

Cas d'un essai uniaxial

Réalisons une expérience où l'état de contrainte est uniaxial (traction suivant *Ox par exemple). La matrice du* tenseur des contraintes et celle du tenseur des déformations sont donc de la forme

$$\sigma = \begin{bmatrix} \sigma_{xx} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \qquad \varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} & 0 & 0 \\ 0 & \varepsilon_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon_{zz} \end{bmatrix}$$

σ_{xx} est ici la contrainte de traction, ε_{xx} est la déformation longitudinale et ε_{yy} et ε_{zz} sont les déformations transversales.

En appliquant la loi de Hooke on a en particulier

$$\sigma_{xx} = E\varepsilon_{xx} \qquad \varepsilon_{yy} = \varepsilon_{zz} = -\nu\varepsilon_{xx}$$