

Chapitre 4. Endommagement

I) Mécanique de l'Endommagement:

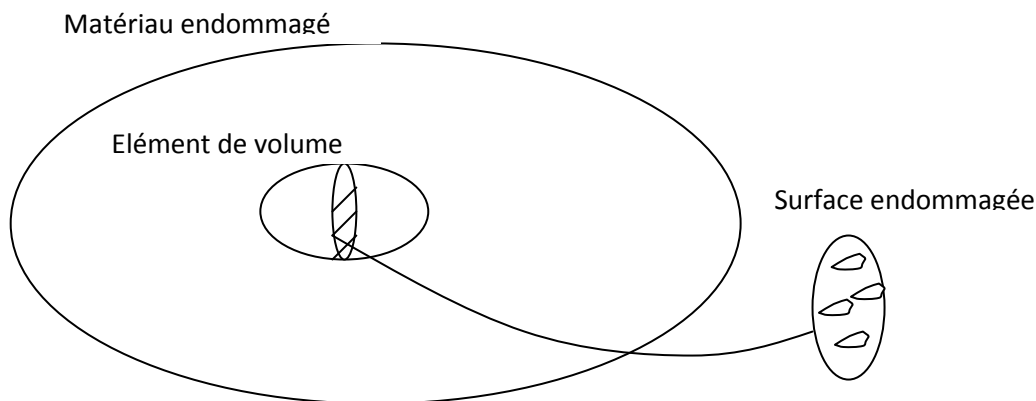
1) Introduction

La théorie de l'Endommagement se préoccupe de la détérioration progressive de la matière qui précède la rupture macroscopique.

L'endommagement se traduit dans le matériau par la formation (phase d'amorçage) et le développement (phase de croissance et propagation) de discontinuités surfaciques (microfissures) ou volumiques (cavités).

2) Variables d'endommagement :

Soit S_0 l'aire d'une section de l'élément de volume repéré par sa normale \vec{n} :



Pour un endommagement isotrope, on mesure l'endommagement local par la variable d'endommagement notée D :

$$D = \frac{S_D}{S_0},$$

$$S_D = S_0 - \bar{S} \quad (\text{Surface corrigée} = \text{surface initiale} - \text{surface de résistance effective})$$

$D = 0$ correspond à un matériau vierge (non endommagé)

$D = 1$ correspond à un matériau totalement rompu

Donc $0 \leq D \leq 1$ caractérise l'état d'endommagement.

3) Endommagement critique à rupture :

$$D = \frac{S_D}{S_0} = \frac{S_0 - \bar{S}}{S_0} = 1 - \frac{\bar{S}}{S_0}, \text{ donc } \frac{\bar{S}}{S_0} = 1 - D$$

Or, $\sigma = \frac{F}{S_0}$ (contrainte nominale usuelle) et $\sigma_D = \frac{F}{\bar{S}}$ (contrainte effective), donc

$$\sigma_D = \frac{\sigma}{1 - D}$$

Par conséquent, $\bar{\sigma}_D = \frac{\bar{\sigma}}{1 - D}$, où : $\bar{\sigma}$ et $\bar{\sigma}_D$ sont respectivement, la contrainte de rupture usuelle et la contrainte d'endommagement critique à rupture.

On peut donc définir la valeur critique de l'endommagement D_C qui correspond à l'apparition du phénomène de rupture (décohésion atomique) par :

$$D_C = 1 - \frac{\bar{\sigma}}{\bar{\sigma}_D}$$

D_C est donc de l'ordre de 0.8

4) Lois élémentaires d'endommagement:

4-1) Loi d'endommagement plastique ductile linéaire de déformation :

$$D = D_C \cdot \left\langle \frac{\varepsilon_v - \varepsilon_{vD}}{\varepsilon_{vR} - \varepsilon_{vD}} \right\rangle \text{ où } : \langle X \rangle = \begin{cases} X & \text{si } X \geq 0 \\ 0 & \text{si } X < 0 \end{cases}, \text{ avec :}$$

D et D_C : facteurs d'endommagement et d'endommagement critique

ε_v : Déformation vraie (rationnelle) en grandes déformations : $\varepsilon_v = \text{Ln}(1 + \varepsilon)$

ε_{vD} : Déformation vraie au seuil de l'endommagement, au-delà de laquelle l'endommagement est nul ou négligeable

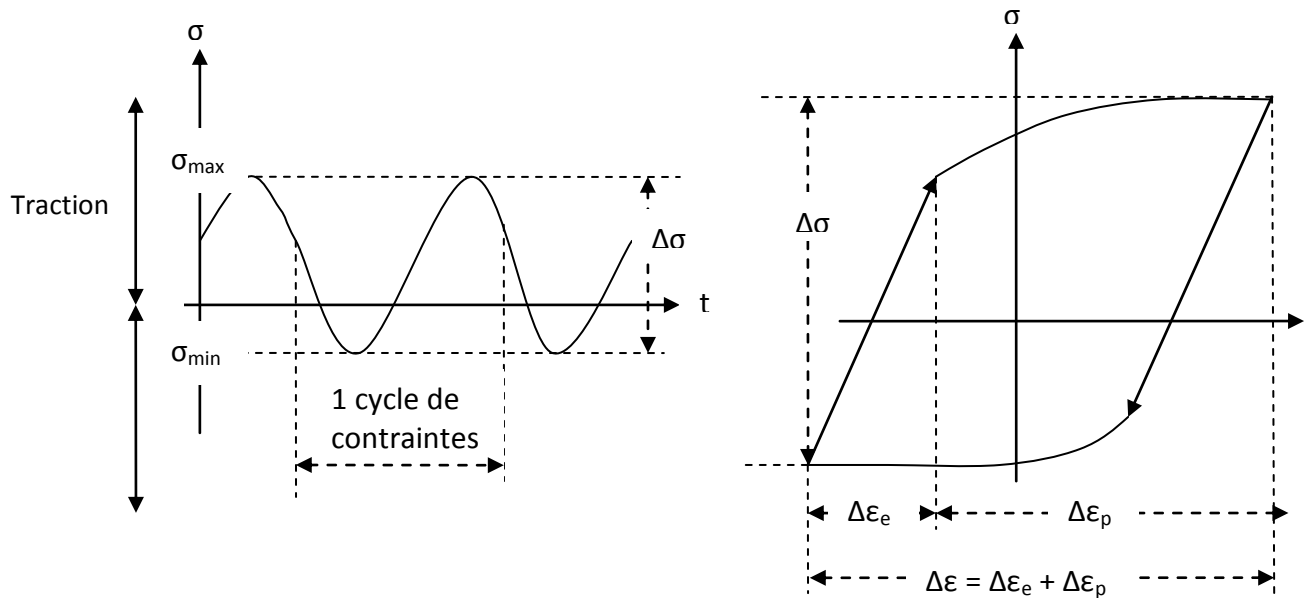
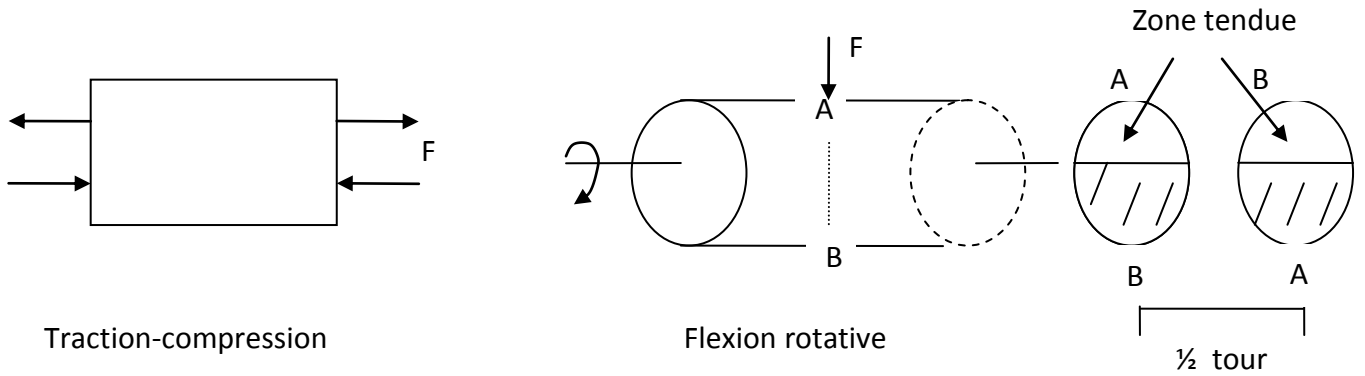
ε_{vR} : déformation vraie à rupture, pour laquelle l'endommagement est égal à sa valeur critique D_C

4-2) Loi d'endommagement par fatigue

L'endommagement par fatigue (ou plus simplement fatigue) correspond à la naissance et la croissance de microfissures dans les métaux sous l'effet de sollicitations cycliques. Ce phénomène peut se produire pour des niveaux de contrainte inférieurs à la limite élastique mais dont la répétition constitue le danger. La capacité de résistance à la fatigue d'un matériau s'appelle **endurance**. Elle est déterminée à l'aide de **l'essai de fatigue**

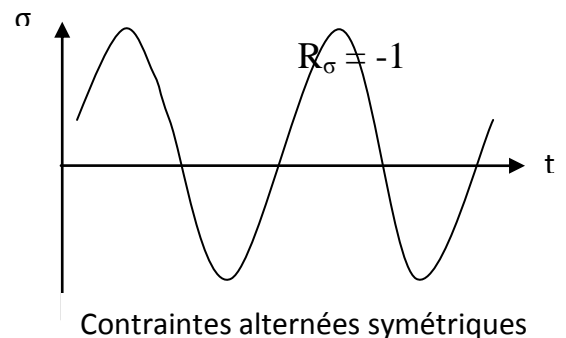
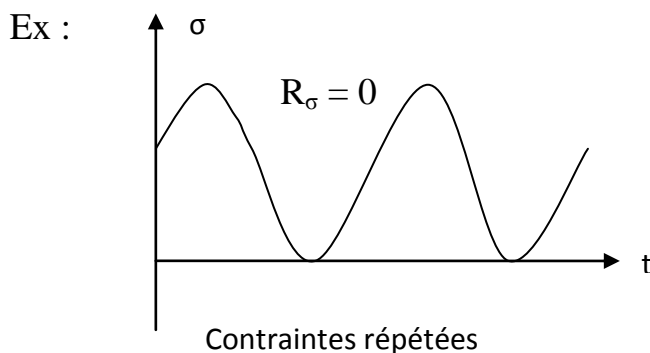
5) Essai de fatigue :

L'essai de fatigue le plus simple consiste à imposer à un certain nombre d'éprouvettes des cycles d'efforts périodiques sinusoïdaux soit par charge axiale (traction-compression) soit par flexion rotative.



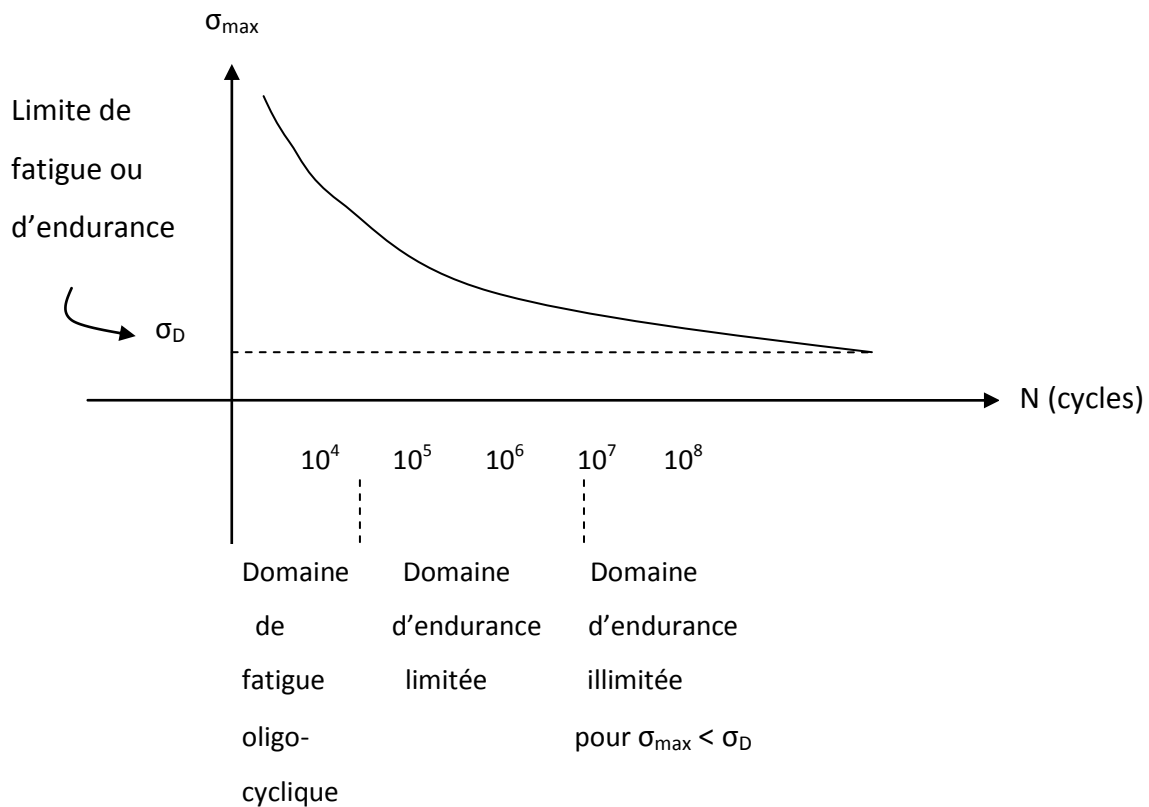
Différence de contraintes : $\Delta\sigma = \sigma_{max} - \sigma_{min}$ (en valeurs algébriques)

Chaque cycle est caractérisé par le rapport de contraintes: $R_\sigma = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}}$



Pour chaque niveau de contrainte σ_{\max} , on détermine le nombre N de cycles à rupture. Ce dernier est utilisé pour prévoir la **durée de vie** d'une pièce en service en fonction de ses sollicitations.

La courbe la plus utilisée à cette fin est celle de Wohler qui correspond à la valeur médiane de N (probabilité de rupture ou de survie 0,5) et qui a une allure hyperbolique comme le montre le diagramme suivant sur lequel on distingue trois domaines :



Remarque : L'essai de fatigue est assez long.

En effet, la limite d'endurance (i.e. nombre de cycles enregistrés avant rupture) étant égal à 30 millions pour les alliages ferreux et si le moteur tourne à 3000 tours par minute par exemple, il faut 7 jours environ.