

Génie mécanique

Cours No 7.2

Fatigue

V.Michaud

Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne

EPFL

Rappel ténacité

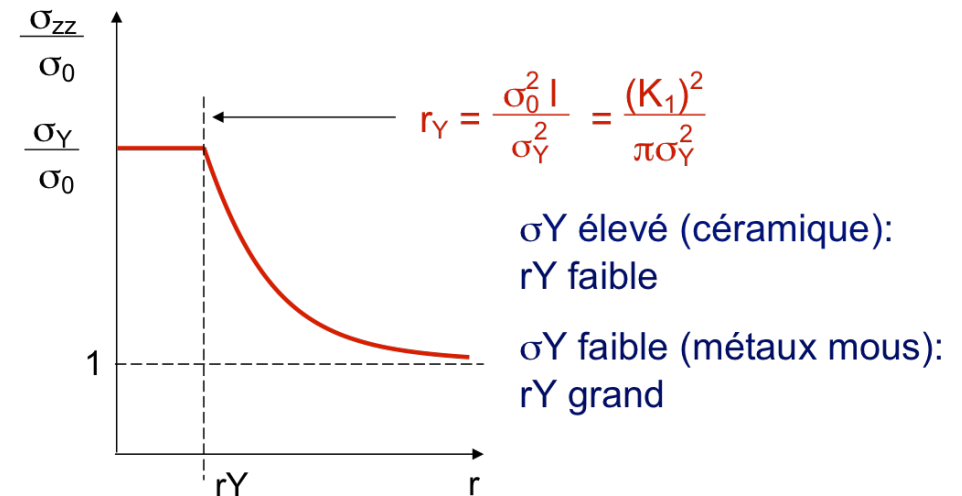
Une fissure de longueur l sous contrainte globale σ_c avance spontanément si:

$$K_1 = \sigma_c \sqrt{\pi l} \geq K_{1c}$$

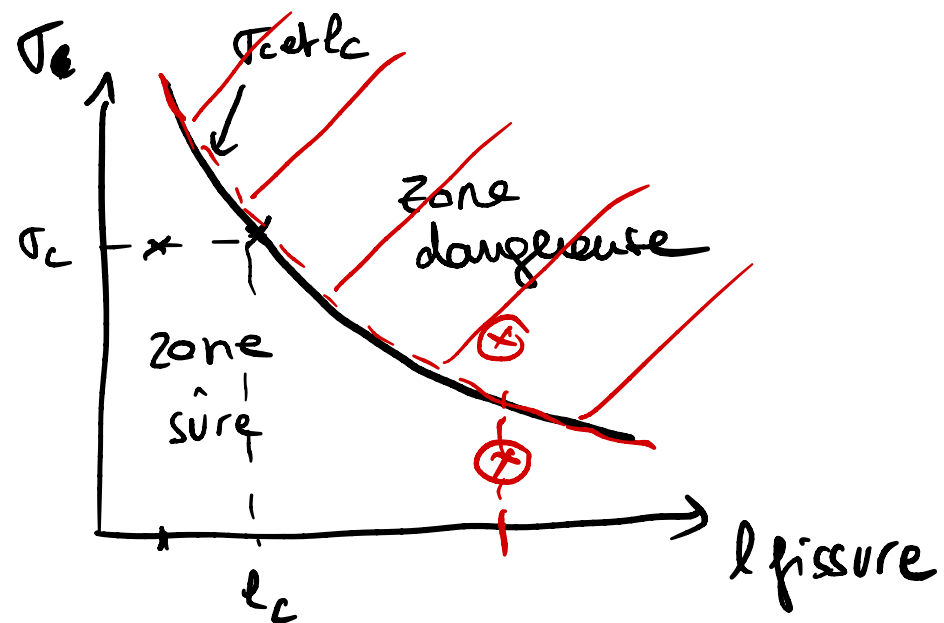
$$K_{1c} = \sqrt{G_c E}$$

$G_c = 2\gamma + G_c^{pl} \gg 2\gamma$ si le matériau plastifie

Si le matériau est ductile, l'énergie de déformation plastique, G_c^{pl} est plus grande que γ , énergie de surface, et la ténacité est donc plus grande. Si le matériau est fragile, G_c^{pl} est proche de zéro.



A cause de la ténacité, le matériau qui aura des fissures pourra se rompre à une charge plus faible que ce que l'on aurait sans fissures...



$$K_1 = \sigma \sqrt{\pi l}$$

critique

$$\sigma_c = \frac{K_{1c}}{\sqrt{\pi l_c}}$$

Objectifs du cours sur la fatigue

- Introduire le concept de sollicitation en fatigue des matériaux, qui encore une fois fait rompre les pièces à une contrainte globale plus faible que la contrainte à rupture (statique) vue précédemment...à prendre en compte lors du dimensionnement!

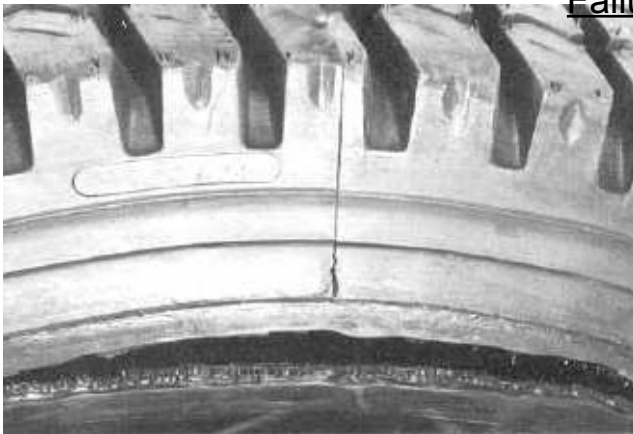
Introduction- fatigue



Même si l'on reste dans un régime de déformation élastique, il peut y avoir un peu de dissipation d'énergie ou **amortissement** (damping). Ceci s'observe notamment pour des vibrations acoustiques. Lorsque les sollicitations mécaniques sont répétées, cela peut amener à la rupture du matériau par **fatigue**.

Rupture par fatigue d'un boulon tenant un sprinkler.

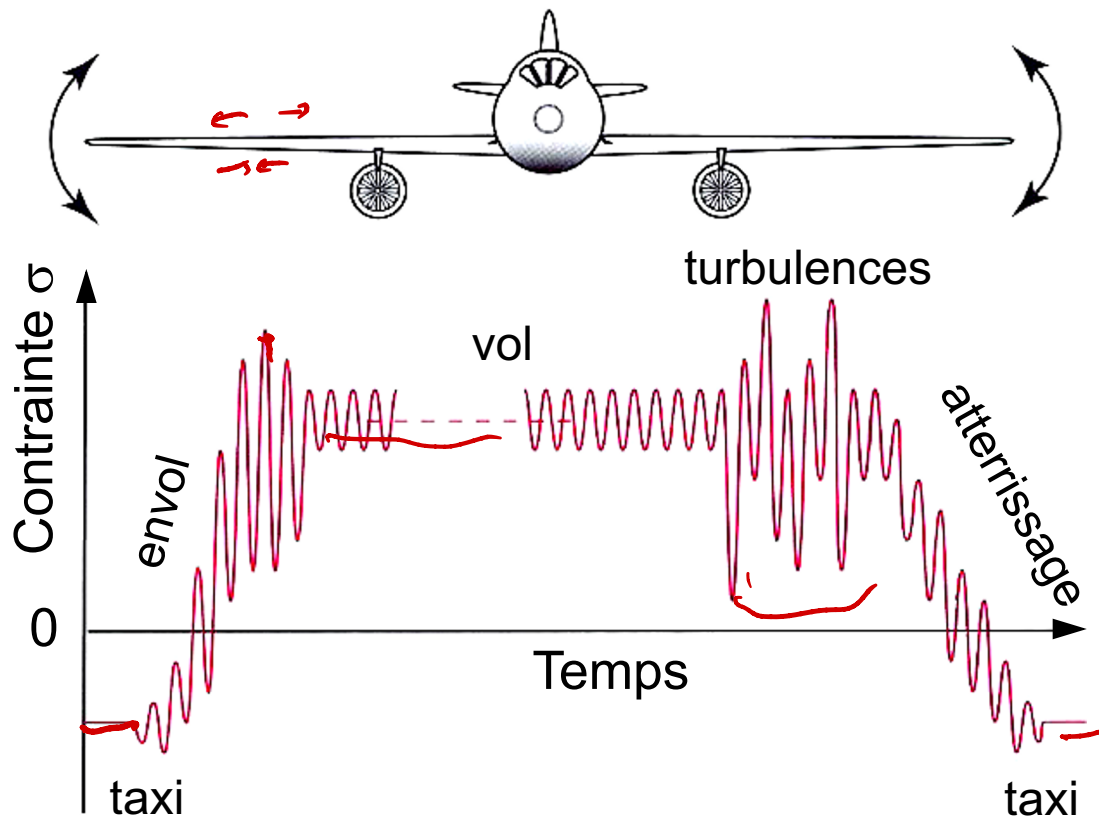
<http://metallurgist.com/html/ClampBoltFailure.htm>



Rupture circonférentielle d'un pneu sous-gonflé par fatigue au niveau des flancs.

Fatigue

La **résistance en fatigue** d'un matériau se définit comme sa réponse à des variations répétées (périodiques) de la contrainte appliquée.



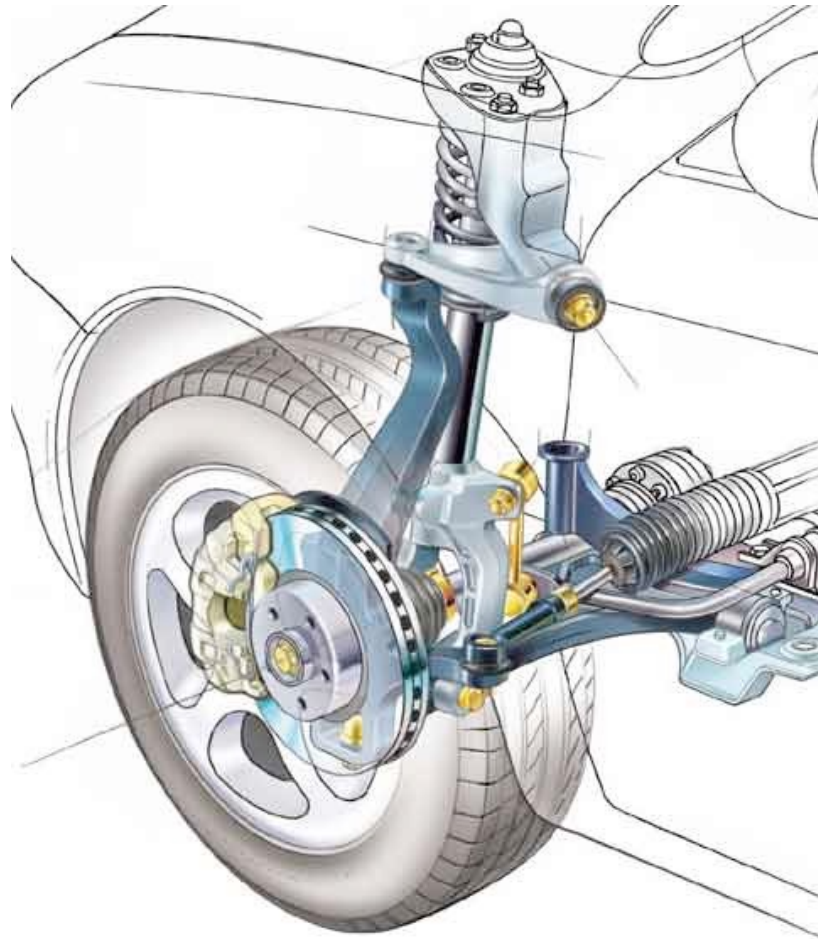
Contrainte ressentie au cours du temps par une aile d'avion. Mais dans quelle partie ?

Fatigue

La **résistance en fatigue** d'un matériau se définit comme sa réponse à des variations répétées (périodiques) de la contrainte appliquée.

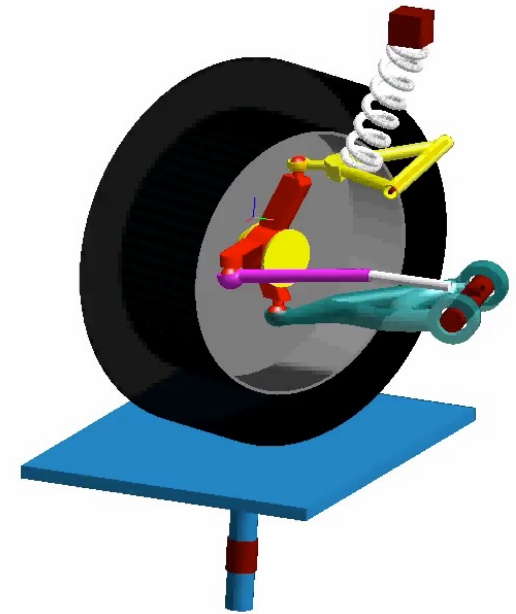


Quelle est la fonction dans une automobile de cette pièce très sollicitée en fatigue ?



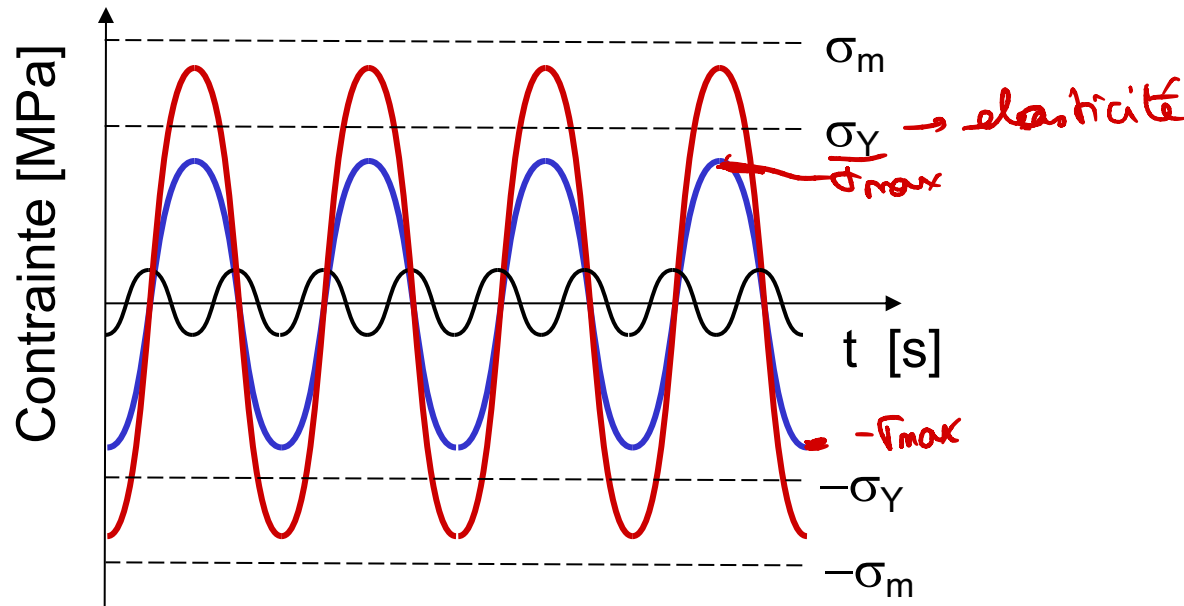
Fatigue

Bras de suspension avant de l'Alfa Romeo 156

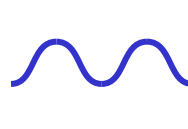


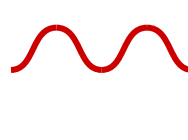
Fatigue

La **résistance en fatigue** d'un matériau se définit comme sa réponse à des variations répétées (périodiques) de la contrainte appliquée.



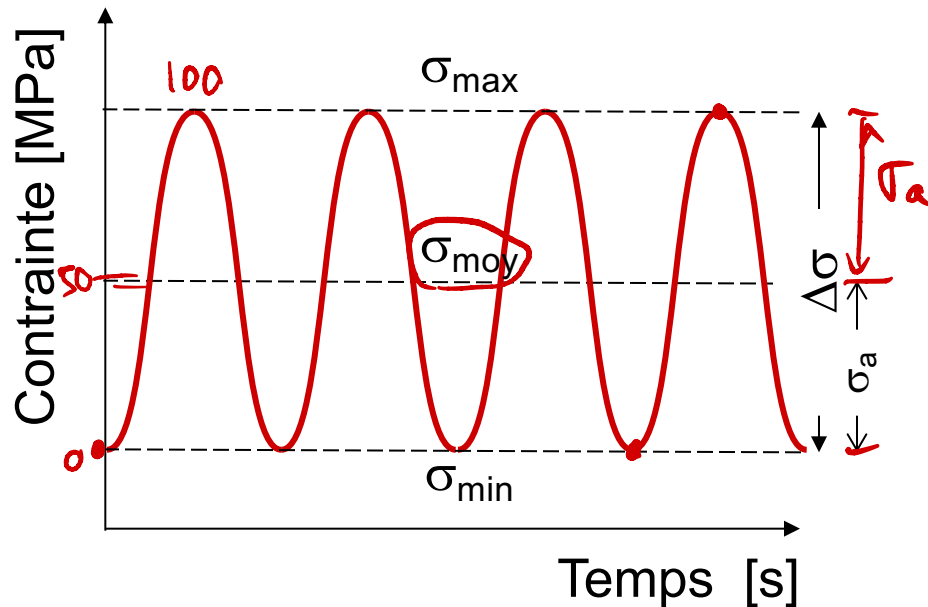
 Vibrations (faible $\Delta\sigma$, haute f)

 Fatigue à grand nombre de cycles ("high-cycle") $\sigma_{max} < \sigma_Y$

 Fatigue à faible nombre de cycles ("low-cycle") $\sigma_{max} > \sigma_Y$ → oligocyclique

Fatigue - Définitions

La **résistance en fatigue** d'un matériau se définit comme sa réponse à des variations répétées (périodiques) de la contrainte appliquée.



Amplitude $\sigma_a = \frac{\Delta\sigma}{2} = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2}$

ex: ~~100~~
50

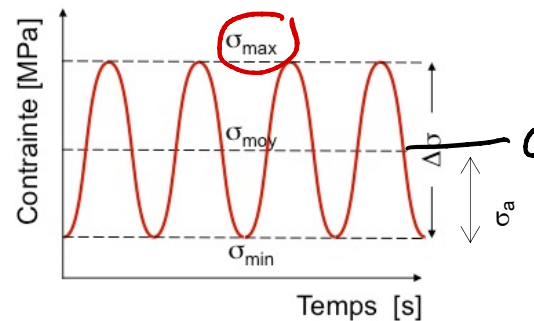
Contrainte moyenne $\sigma_{\text{moy}} = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2}$

ex: ~~0~~ 50

Fatigue

Cette résistance à la fatigue dépend de la **contrainte moyenne**, σ_{moy} , de l'**amplitude** σ_a et du **nombre de cycles**. On peut construire une **courbe (dite de Wöhler)** si on note après combien de cycle le matériau va rompre, pour une amplitude de contrainte donnée.

$$\sigma_{\text{moy}} = 0$$



$$\sigma_{\text{max}}$$
$$\sigma_{\text{moy}} = 0$$

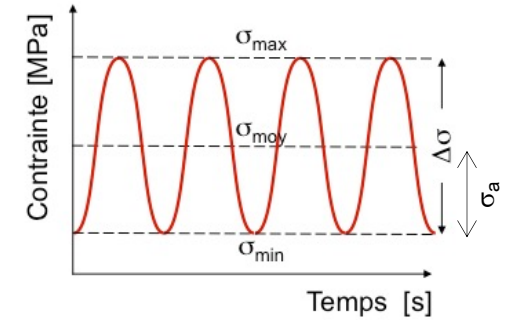
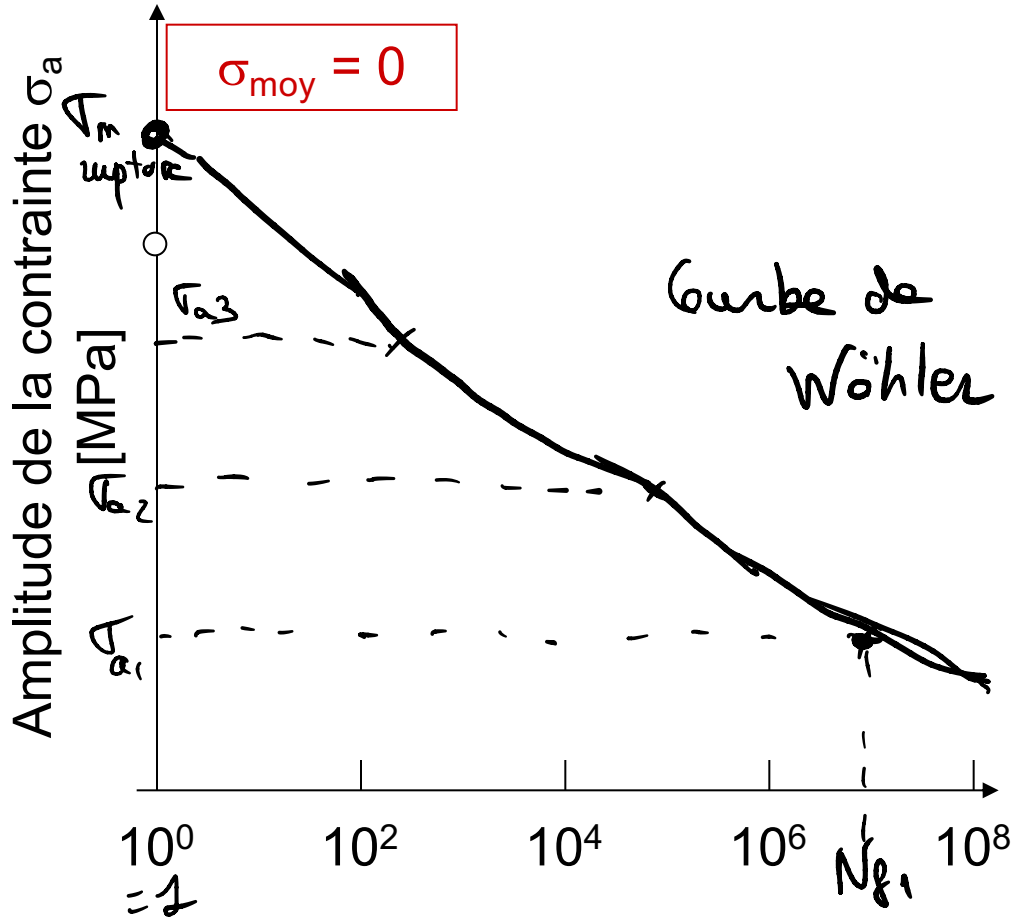
Nbre cycles à rupture N_{f1}
pour une amplitude σ_{a1}

Nbre cycles à rupture N_{f2}
pour une amplitude σ_{a2}

Nbre cycles à rupture N_{f3}
pour une amplitude σ_{a3}

Fatigue

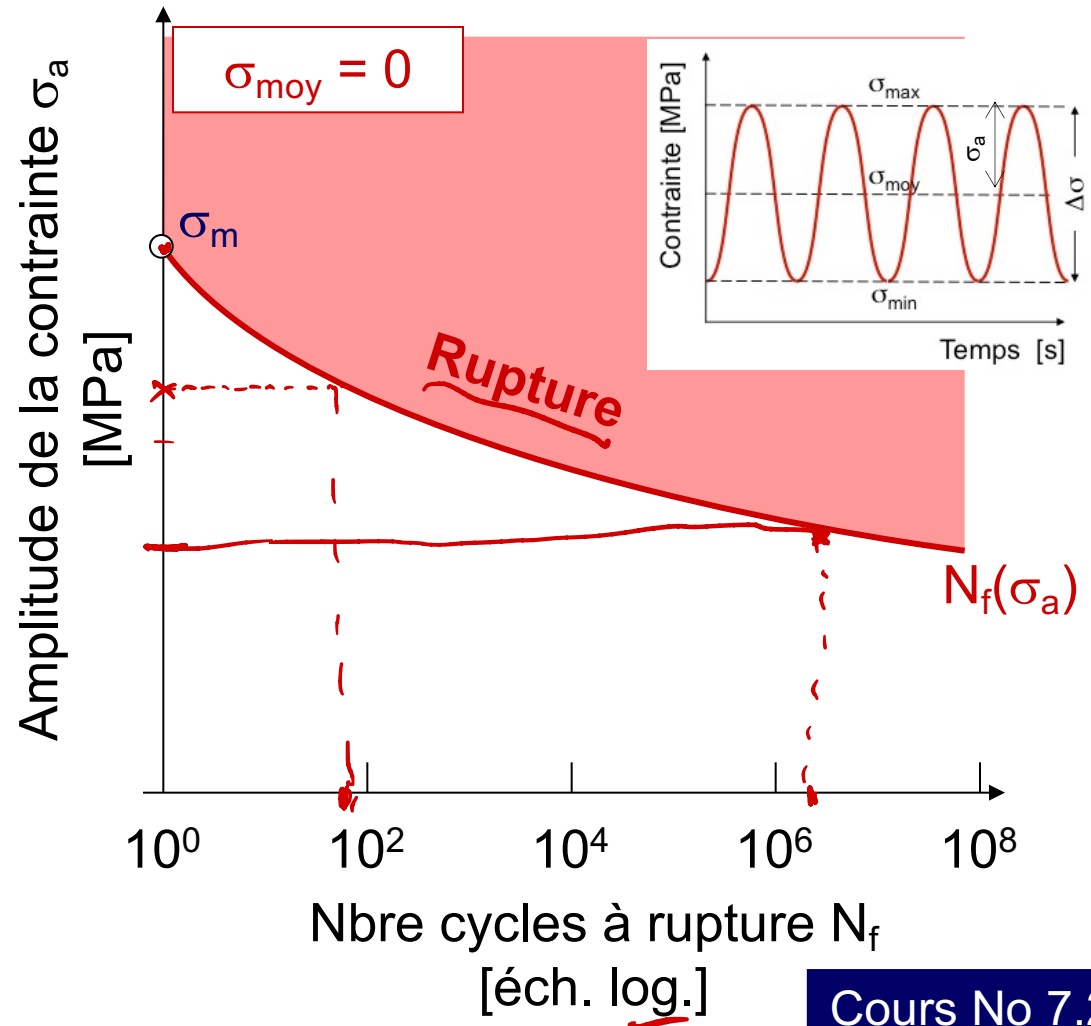
Cette résistance à la fatigue dépend de la **contrainte moyenne**, σ_{moy} , de l'**amplitude** σ_a et du **nombre de cycles**. On peut construire une **courbe (dite de Wöhler)** si on note après combien de cycle le matériau va rompre, pour une amplitude de contrainte donnée.



Nbre cycles à rupture N_f
[éch. log.]

Fatigue

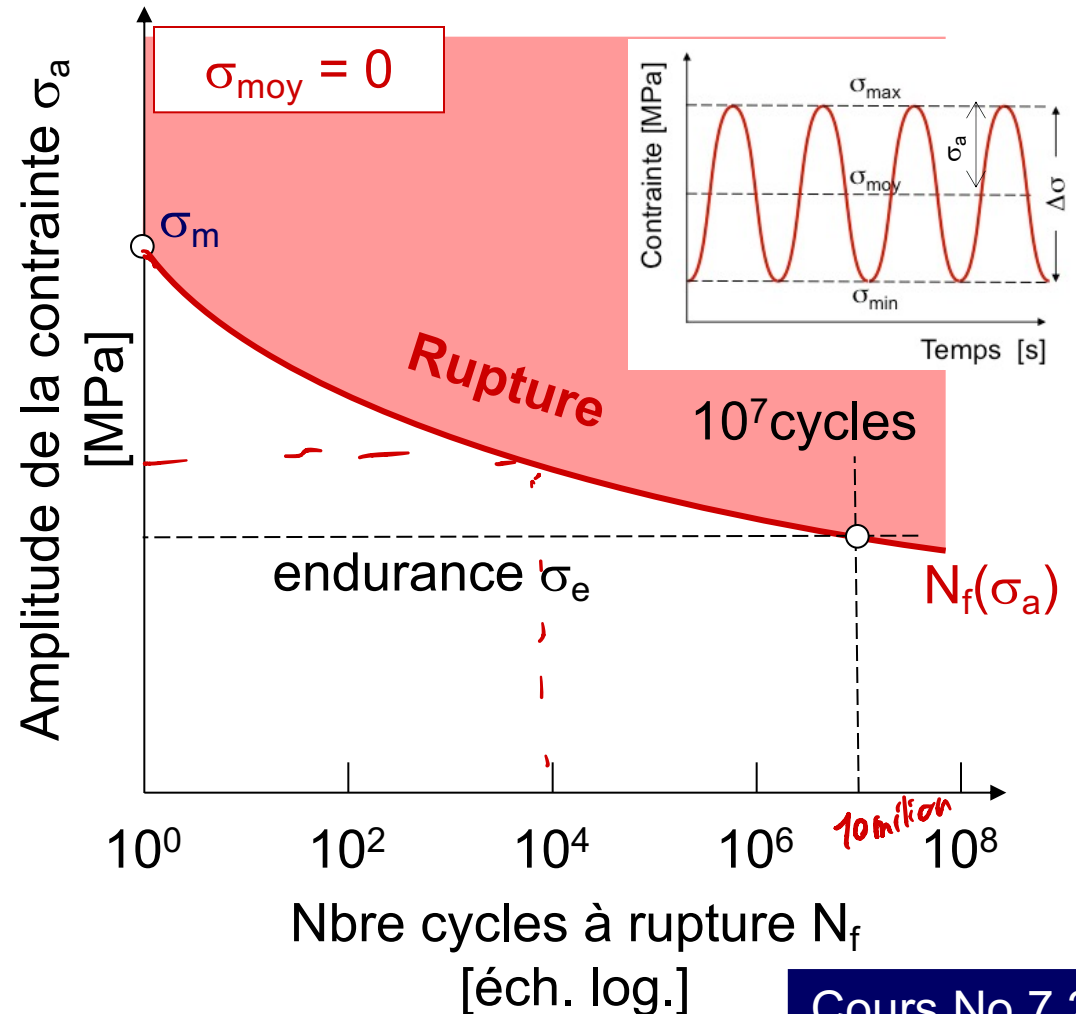
- Lorsque la contrainte max dépasse σ_Y , il y a **endommagement rapide** et le matériau supporte peu de cycles ("**low-cycle**" fatigue, ou **fatigue oligocyclique**).
- Lorsque la contrainte max est inférieure à σ_Y , le matériau peut supporter un grand nombre de cycles ("**high-cycle**" fatigue).



Limite d'endurance

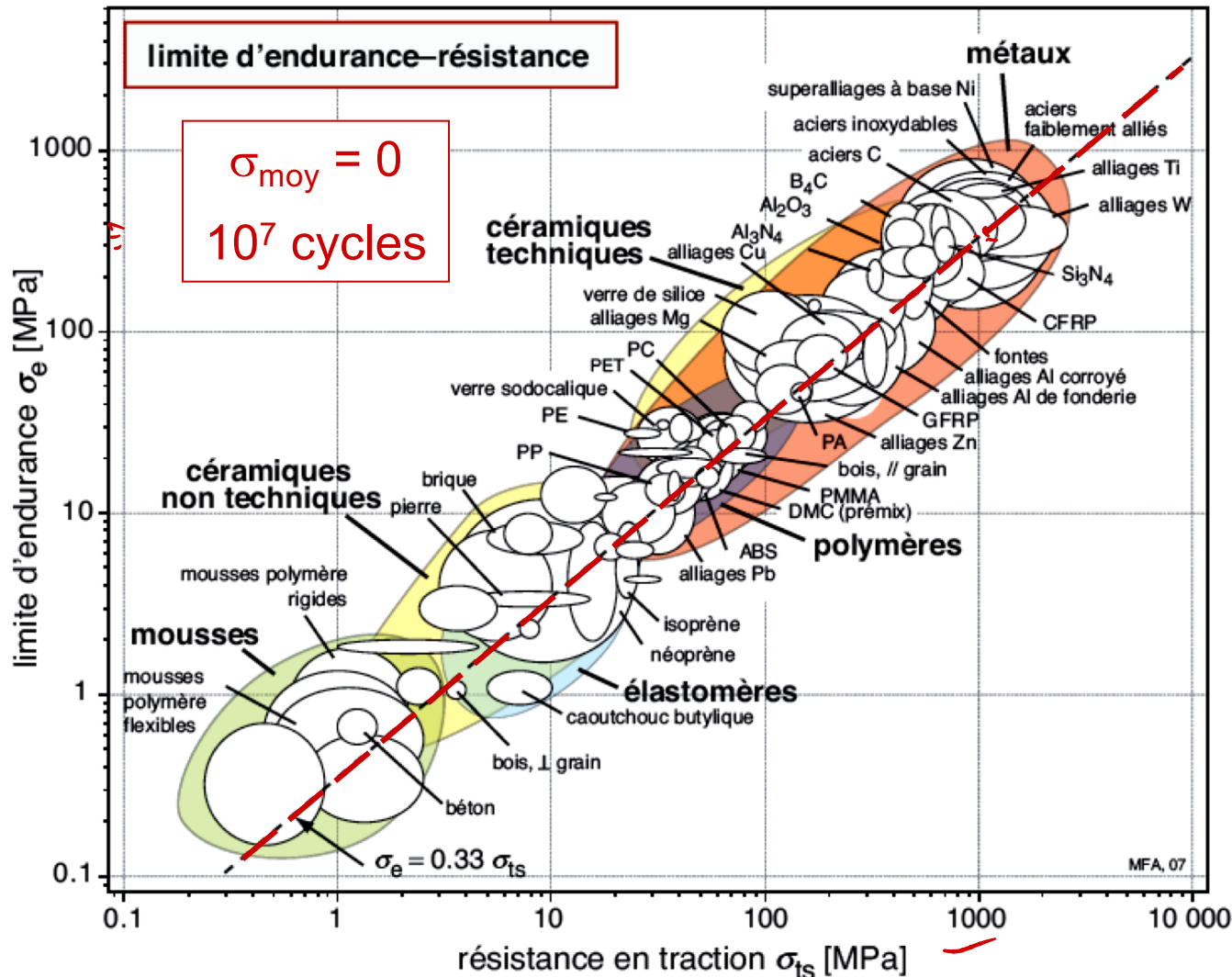
La limite d'endurance, σ_e , est définie comme la valeur d'amplitude de contrainte pour laquelle le matériau tient pendant 10 millions de cycles (10^7 cycles) avant de rompre.

C'est cette valeur (et non σ_m , contrainte à rupture trouvée pendant un test de traction simple), qui sera utilisée pour dimensionner une pièce qui travaille en fatigue.



Carte de la limite d'endurance

Comme pour les autres propriétés des matériaux, Ashby a établi des cartes donnant l'endurance à la fatigue.



$$\sigma_e \approx \frac{1}{3} \sigma_m$$

métaux .
polymères .

$$\sigma_s \sim 0.9 \sigma_m$$

céramiques
verres

A retenir du cours d'aujourd'hui

- *Connaître les définitions de la courbe de Wöhler, contrainte moyenne, amplitude, limite d'endurance, fatigue oligocyclique et à grand nombre de cycles.*
- *Savoir trouver à partir d'une courbe de Wöhler la durée de vie (nombre de cycles à rupture) d'un matériau sous contrainte.*

Résumé

- La fatigue est une cause très importante de dégradation des matériaux, et de rupture même sous charge pas très élevée.
- Les courbes de Wöhler permettent de relier le nombre de cycles à la rupture pour une variation de contrainte appliquée.
- Il faut distinguer fatigue oligocyclique, où la contrainte dépasse la limite d'élasticité, et la fatigue à grand nombre de cycles.
- Des règles heuristiques permettent d'adapter les lois de fatigue à des situations complexes, mais des tests proches de la réalité sont souvent nécessaires.