

Génie mécanique

**Partie II: Cours No 7.2**  
**Fatigue**

**V.Michaud**

**Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne**

**EPFL**

# Rappel ténacité

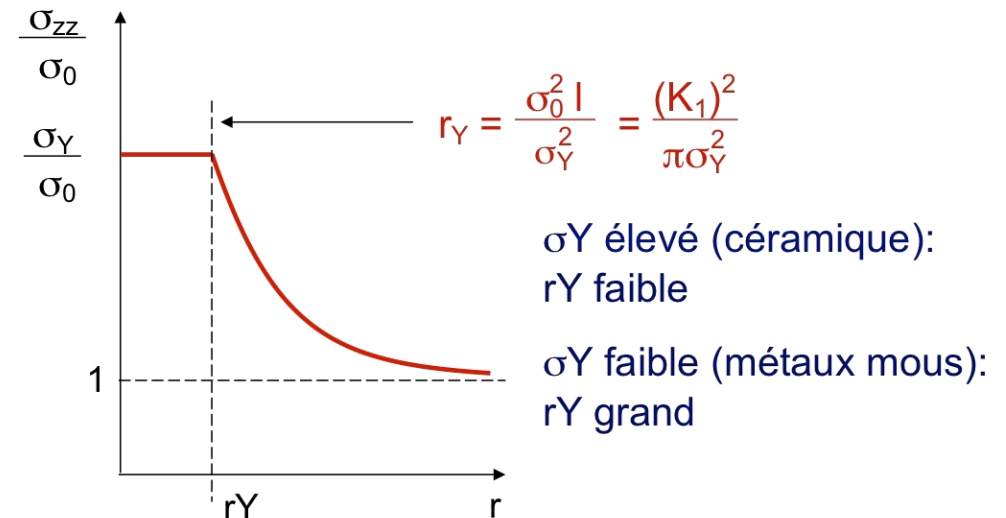
Une fissure de longueur  $l$  sous contrainte globale  $\sigma_c$  avance spontanément si:

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

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

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

Si le matériau est ductile, l'énergie de déformation plastique,  $G_c^{pl}$  est plus grande que  $\gamma$ , 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...



# 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!

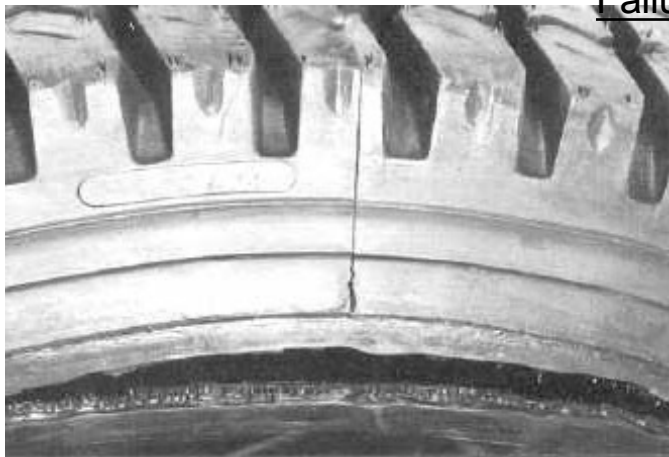
# Introduction- fatigue



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.

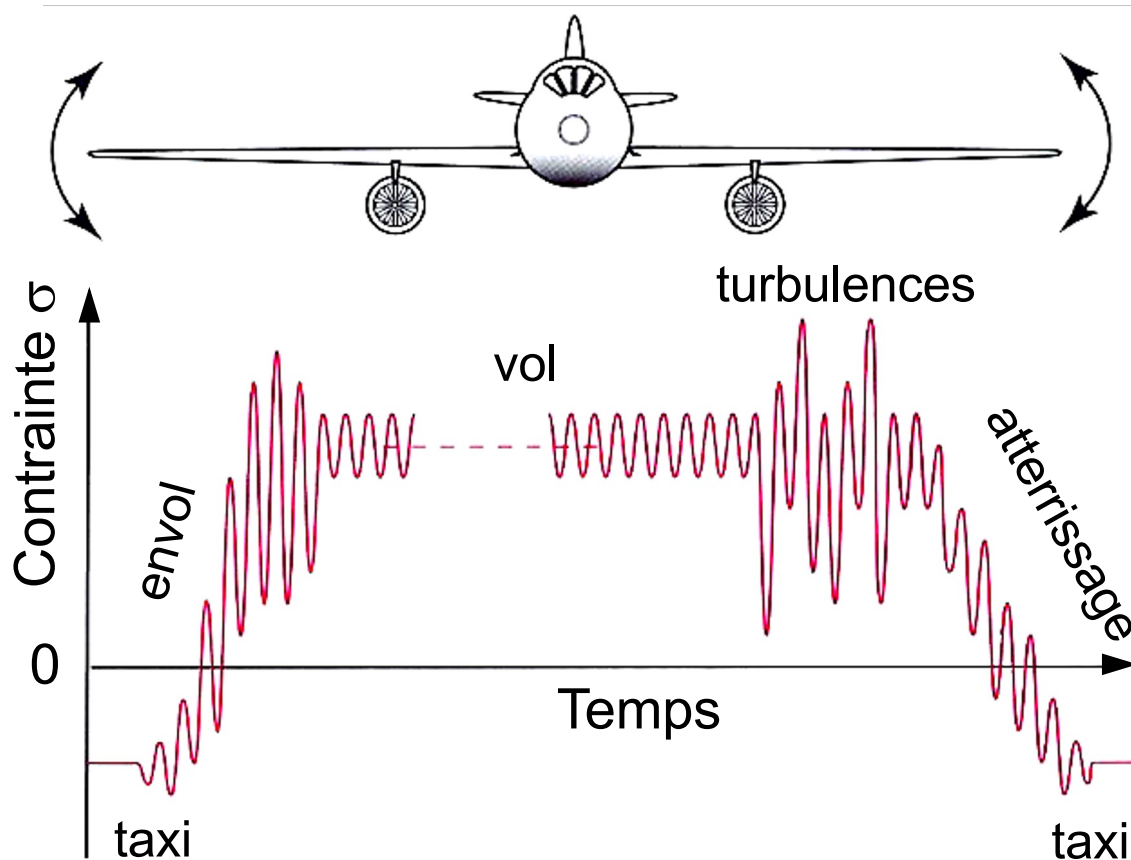
<http://metallurgist.com/html/ClampBoltFailure.htm>



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

# Fatigue

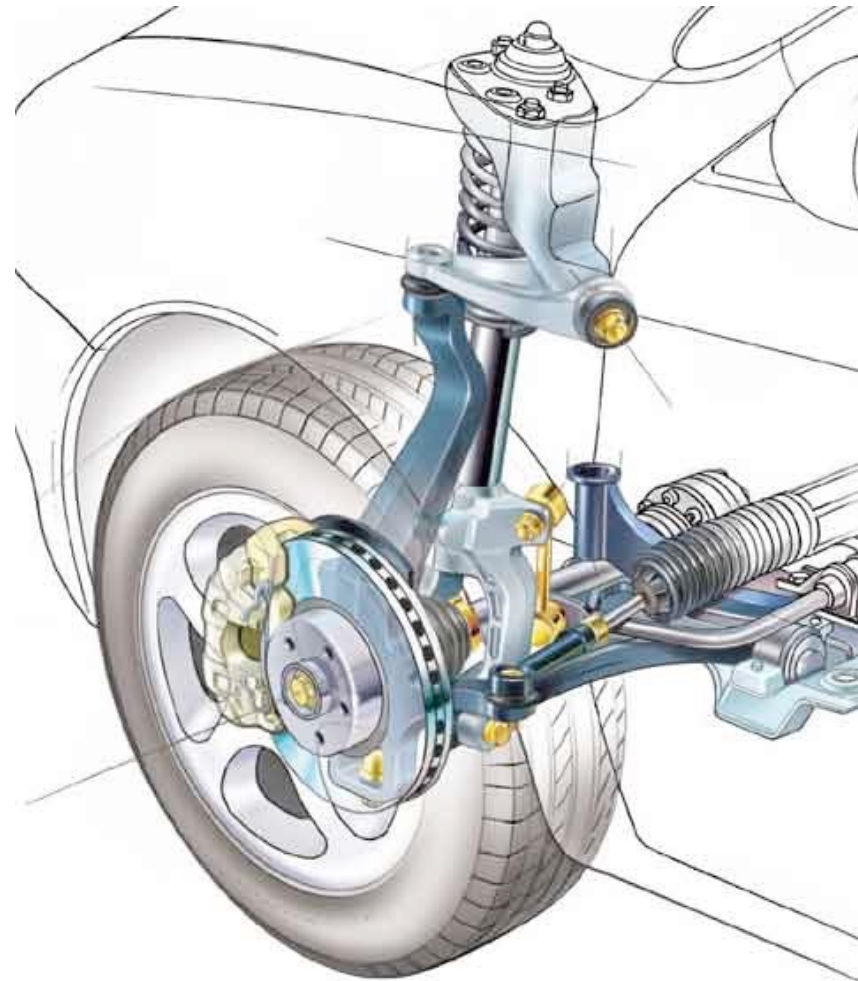
La **résistance en fatigue** d'un matériau se définit comme sa réponse à des variations répétées (périodiques) de la contrainte appliquée.



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

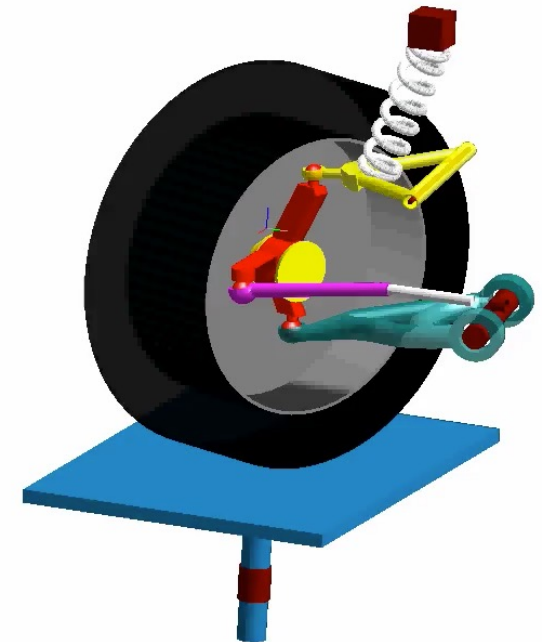
## Bras de suspension avant de l'Alfa Romeo 156



APPLICABILE SU TUTTI I MODELLI DI: **147 - 156 - GT**

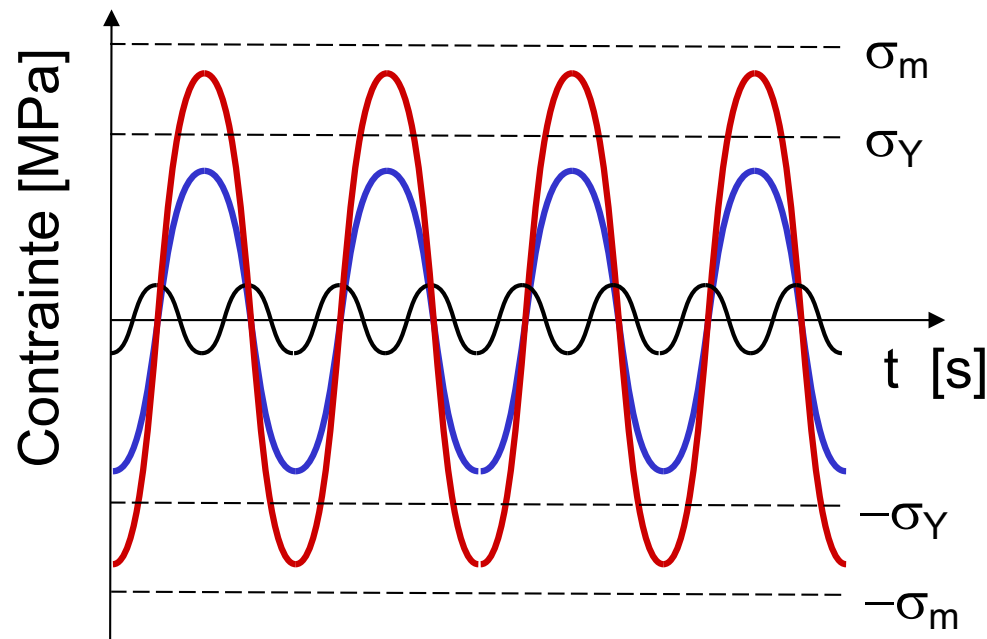
ORIGINAL BIRTH ITALY car components


KIT BRACCI 8 PEZZI SOSPENSIONE ANTERIORE





# Fatigue

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



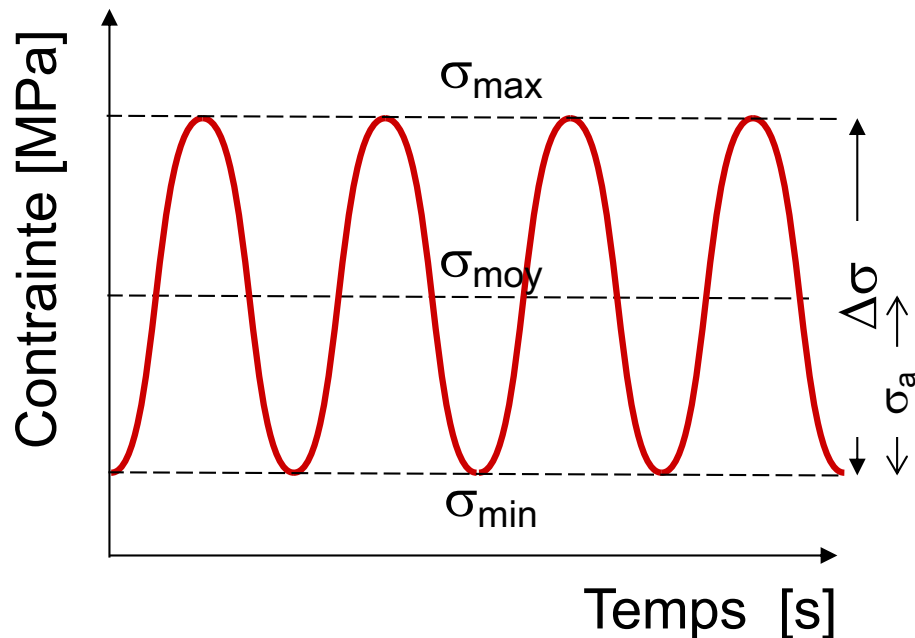
 Vibrations (faible  $\Delta\sigma$ , haute f)

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

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

# Fatigue - Définitions

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



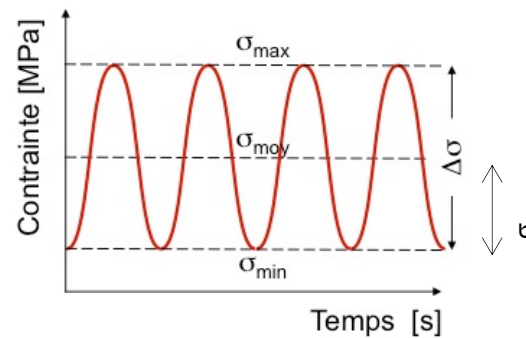
**Amplitude**  $\sigma_a = \frac{\Delta\sigma}{2} = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2}$

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

# Fatigue

Cette résistance à la fatigue dépend de la **contrainte moyenne**,  $\sigma_{\text{moy}}$ , de l'**amplitude**  $\sigma_a$  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.

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



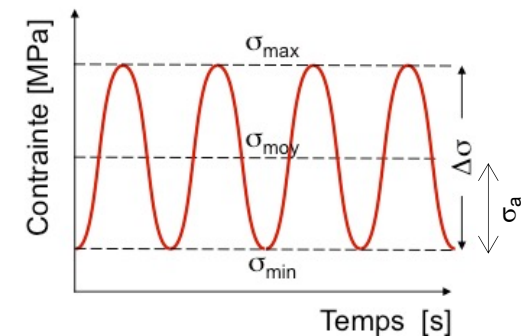
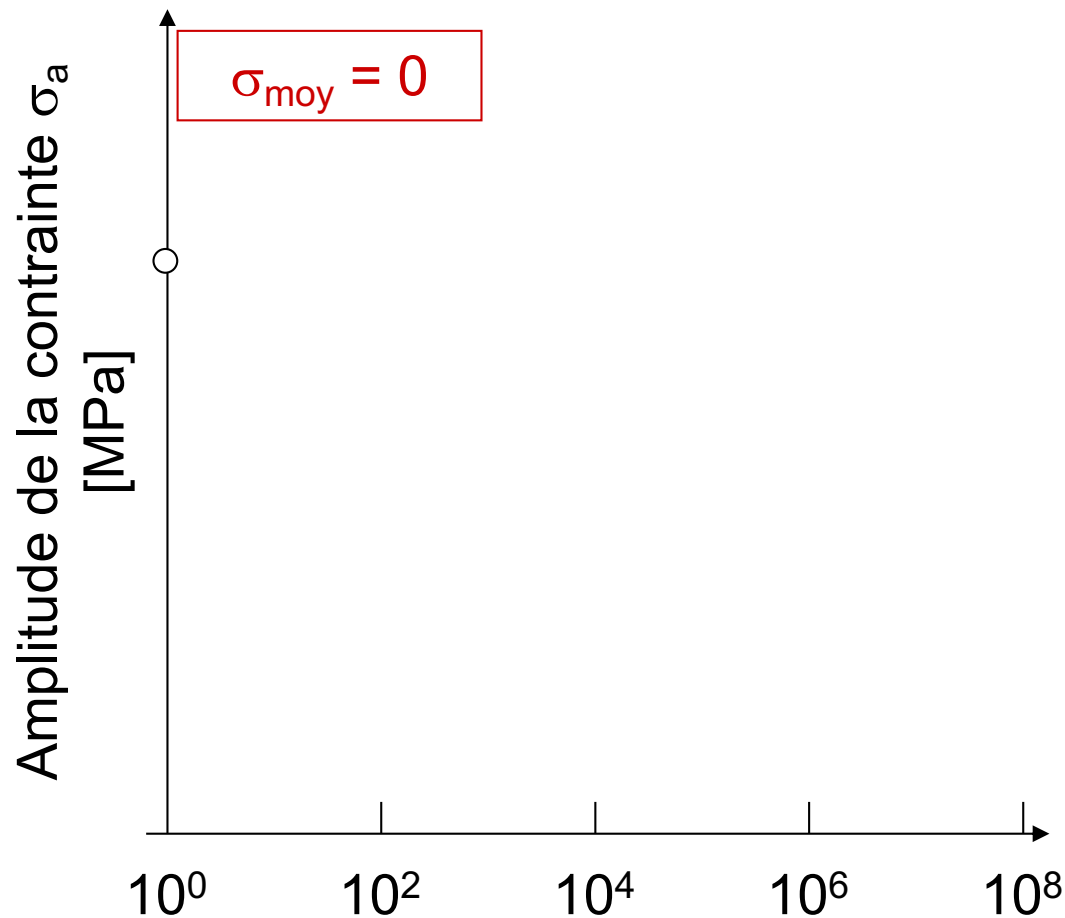
Nbre cycles à rupture  $N_{f1}$   
pour une amplitude  $\sigma_{a1}$

Nbre cycles à rupture  $N_{f2}$   
pour une amplitude  $\sigma_{a2}$

Nbre cycles à rupture  $N_{f3}$   
pour une amplitude  $\sigma_{a3}$

# Fatigue

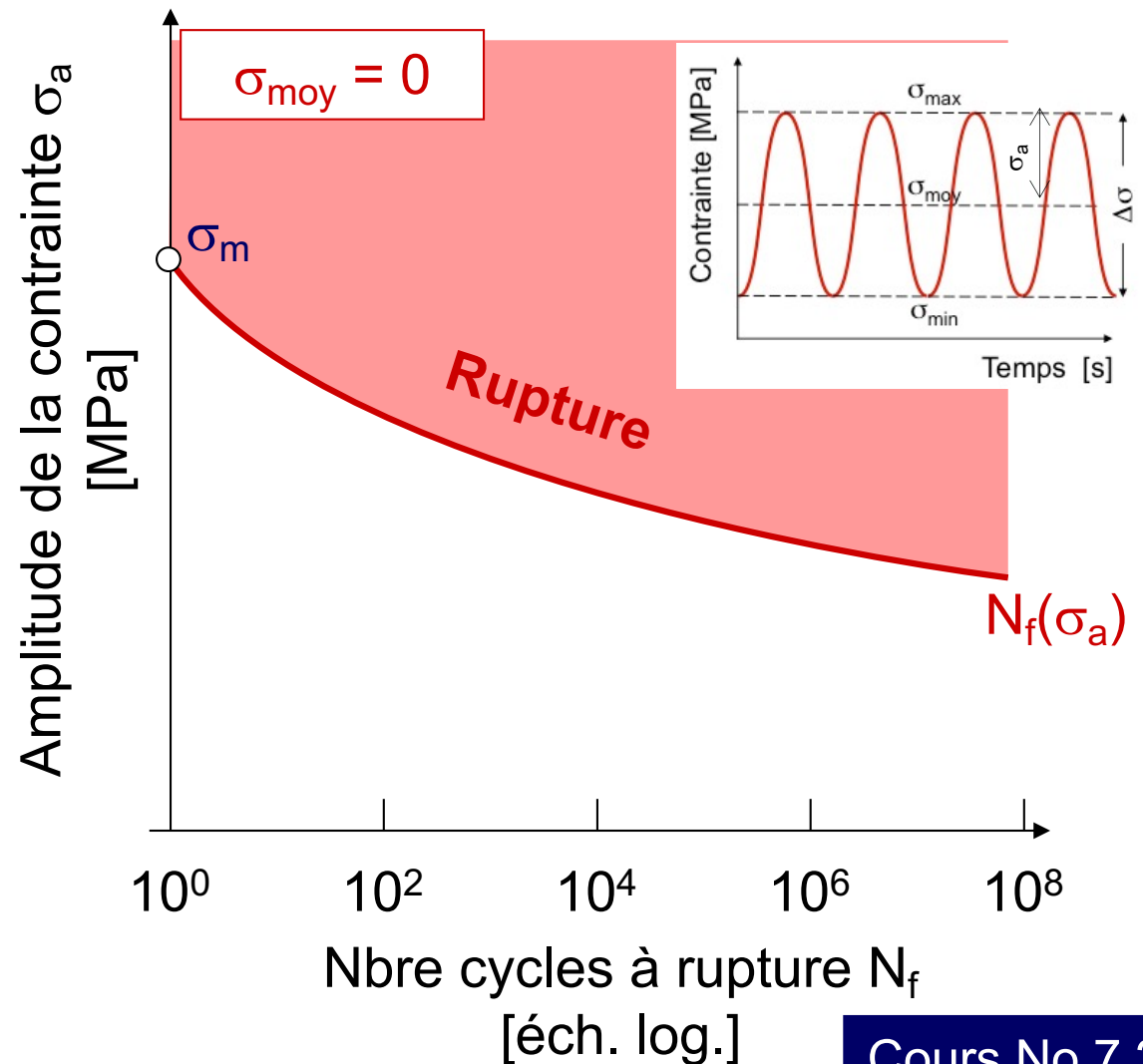
Cette résistance à la fatigue dépend de la **contrainte moyenne**,  $\sigma_{\text{moy}}$ , de l'**amplitude**  $\sigma_a$  et du **nombre de cycles**. On peut construire une **courbe (dite de Wöhler)** si on note après combien de cycle le matériau va rompre, pour une amplitude de contrainte donnée.



Nbre cycles à rupture  $N_f$   
[éch. log.]

# Fatigue

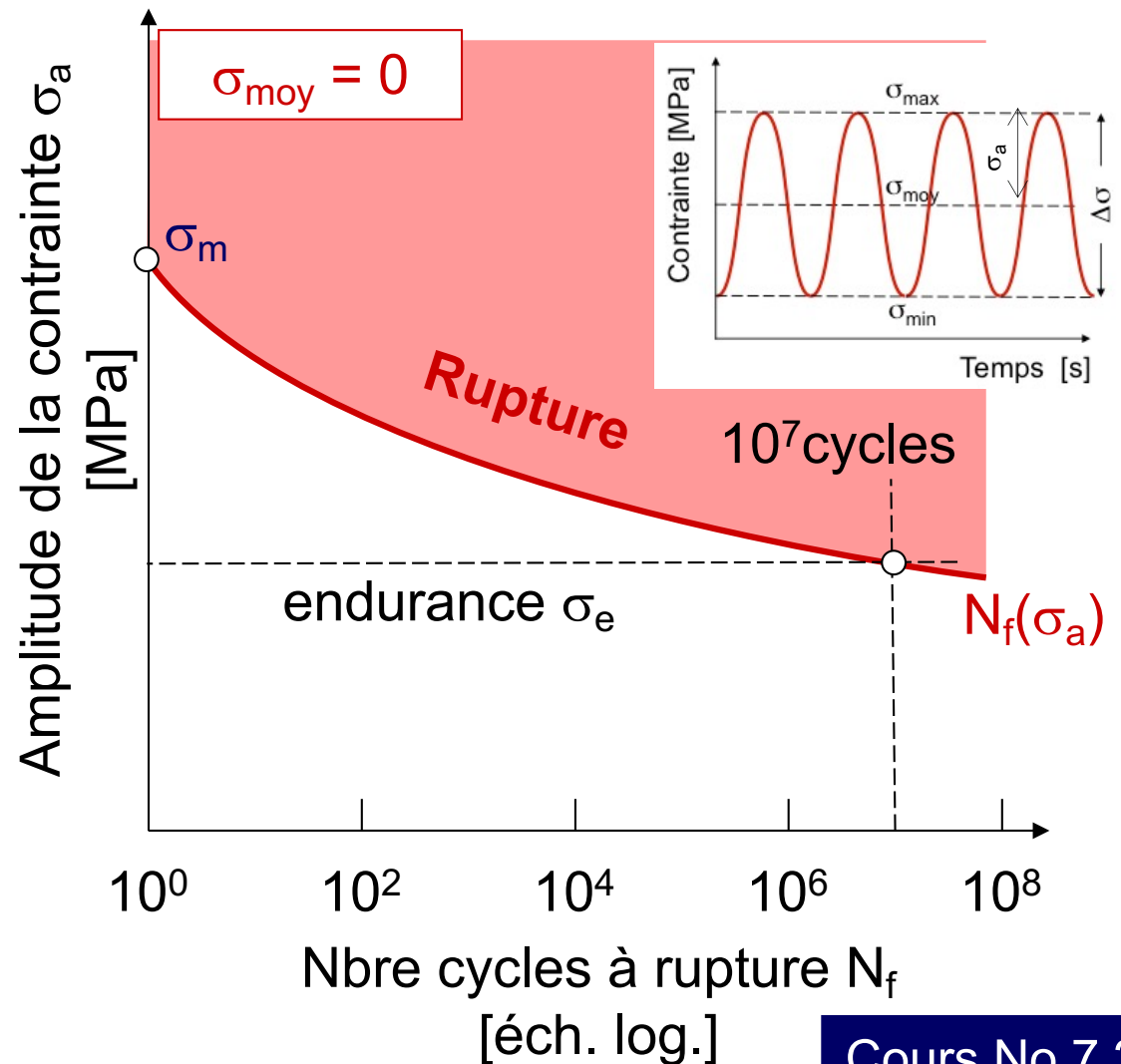
- Lorsque la contrainte max dépasse  $\sigma_Y$ , il y a **endommagement rapide** et le matériau supporte peu de cycles ("**low-cycle**" fatigue, ou **fatigue oligocyclique**).
- Lorsque la contrainte max est inférieure à  $\sigma_Y$ , le matériau peut supporter un grand nombre de cycles ("**high-cycle**"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



# Limite d'endurance

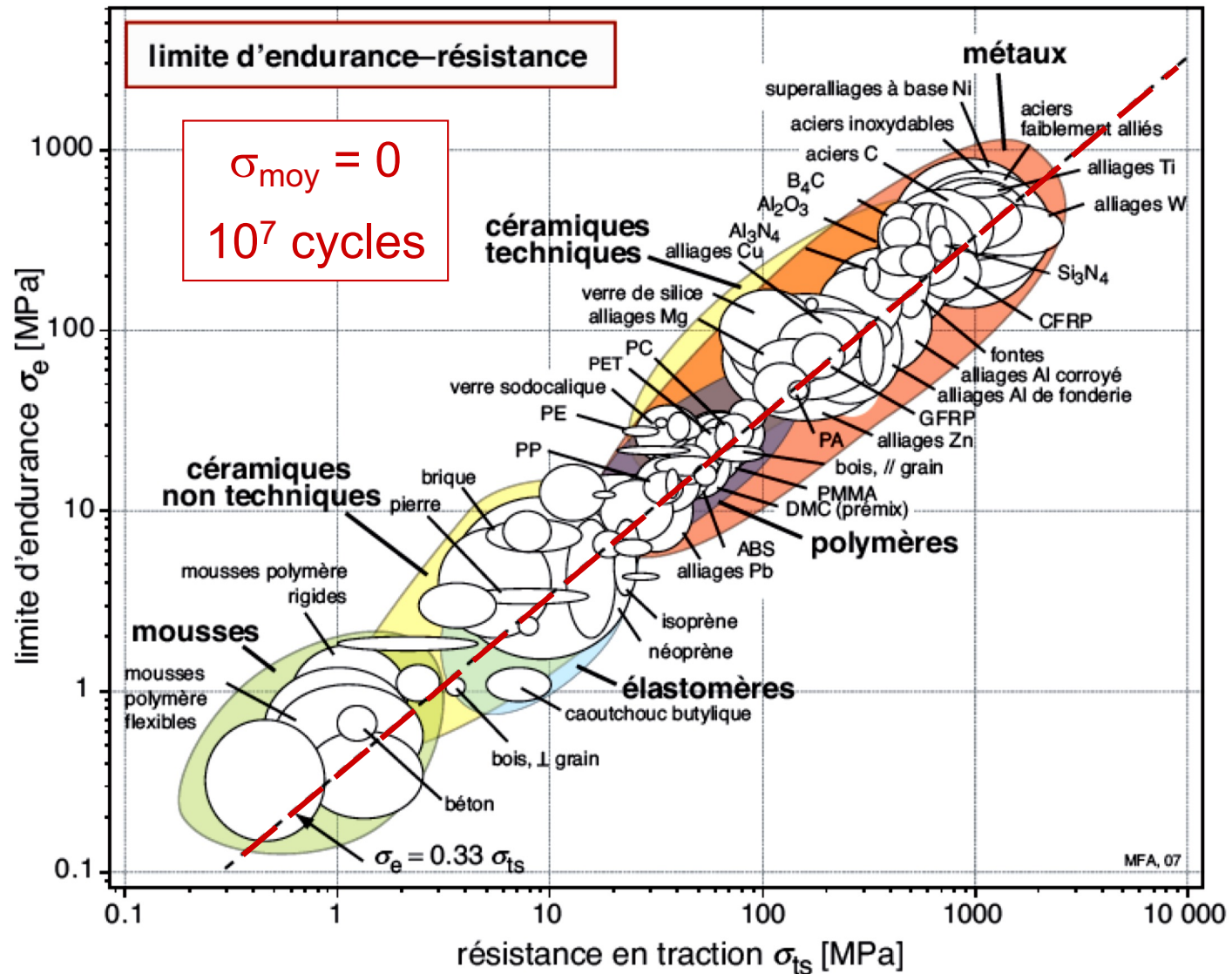
**La limite d'endurance**,  $\sigma_e$ , est définie comme la valeur d'amplitude de contrainte pour laquelle le matériau tient pendant 10 millions de cycles ( $10^7$  cycles) avant de rompre.

C'est cette valeur (et non  $\sigma_m$ , 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.