FATIGUE PLASTIQUE OLIGOCYCLIQUE

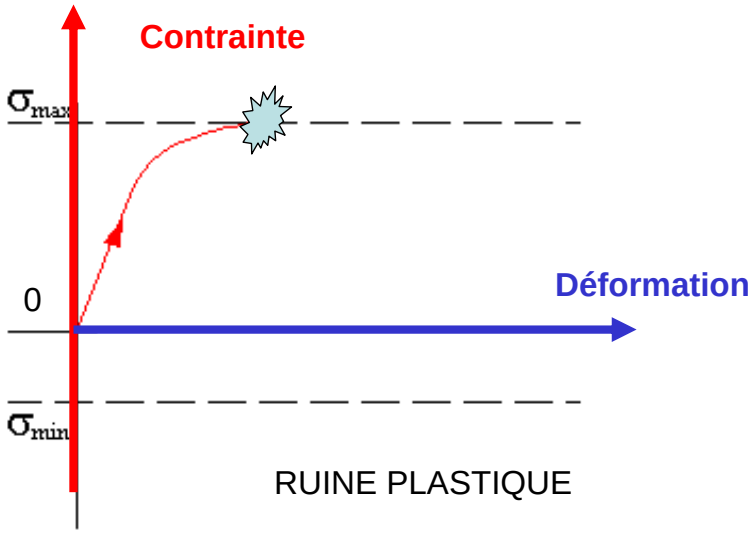
Claude ROBIN
Ecole des Mines de Douai
mai – décembre 2010

Fatigue plastique oligocyclique

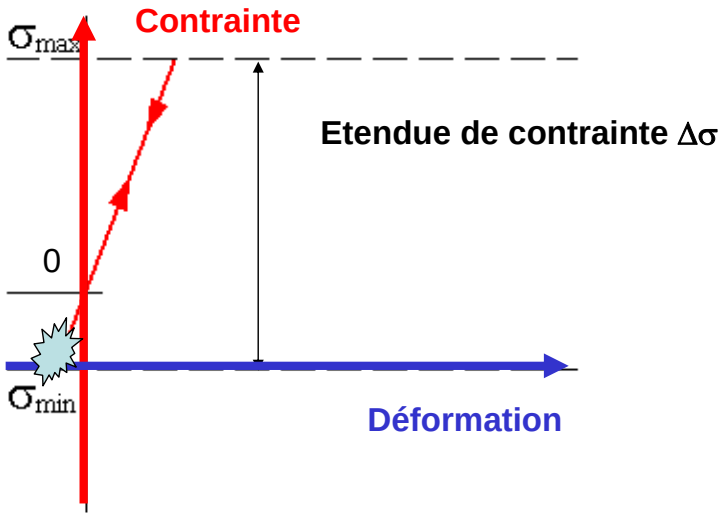
- Introduction
- Quelques généralités
- Méthodes d'essais
- Description phénoménologique de la fatigue plastique oligocyclique

Quelques généralités

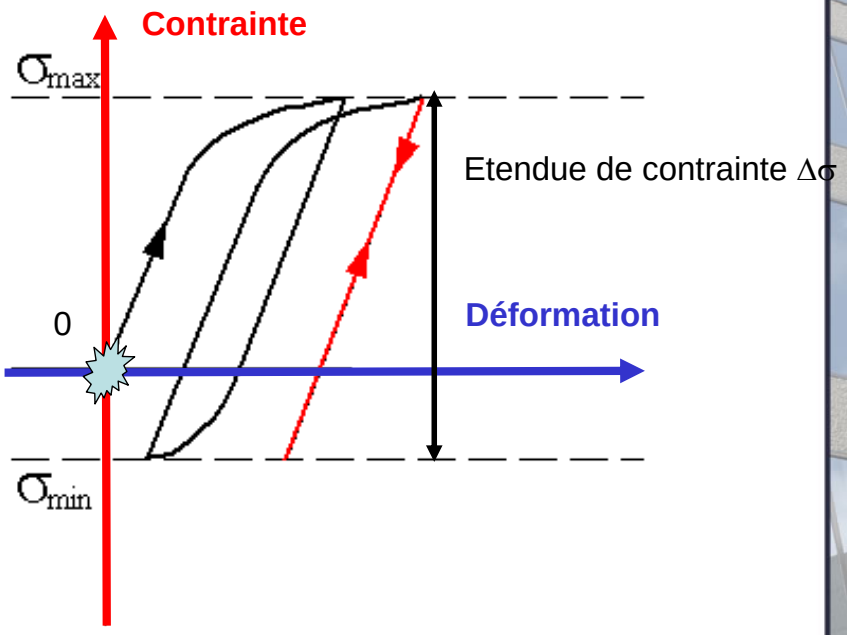
- Comportement élastique
- Adaptation
- Accommodation
- Déformation progressive



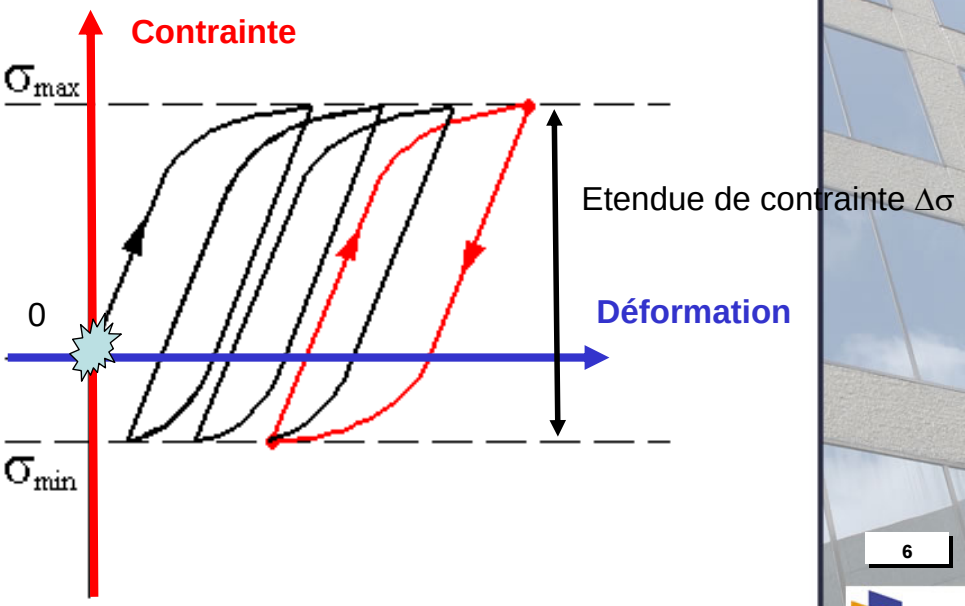
Comportement élastique



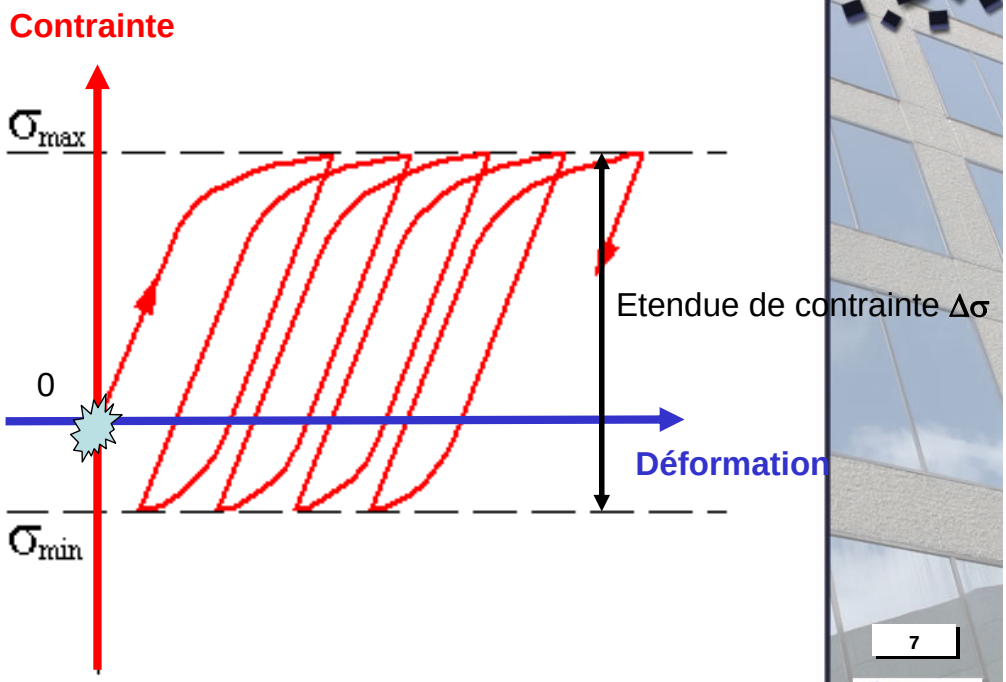
Adaptation



Accommodation



Déformation Progressive



introduction

- Historique
  - Déformation plastique imposée à chaque cycle
  - Fatigue plastique oligocyclique : les matériaux ont une endurance finie à ce type de sollicitations.
- Intérêt d'étudier la fatigue plastique oligocyclique
  - Permet de connaître les matériaux (caractéristiques, comportement).
  - Permet de dimensionner des pièces dans certains cas.

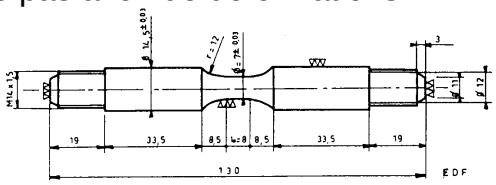
Méthodes d'essais

- Le principe général des essais consiste à imposer une sollicitation qui provoque une déformation plastique cyclique dans la pièce et à déterminer le nombre de cycles que pourra supporter l'éprouvette.

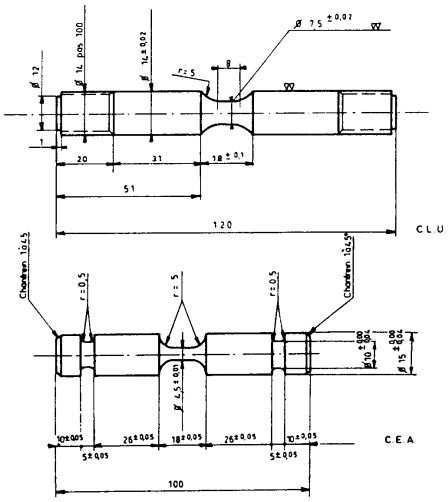
- Machines d'essais
  - Traction - compression ou torsion alternée
  - Essais limités à 10^5 cycles
  - Fréquence faible (quelques Hz)
  - Déformation imposée à vitesse de déformation constante (cycle triangulaire)
  - Machines servo-hydrauliques

Méthodes d'essais : éprouvettes

Les éprouvettes pour essais oligocycliques sont lisses avec une partie réduite pour l'amorçage de fissure et des têtes massives pour ne pas avoir de déformations

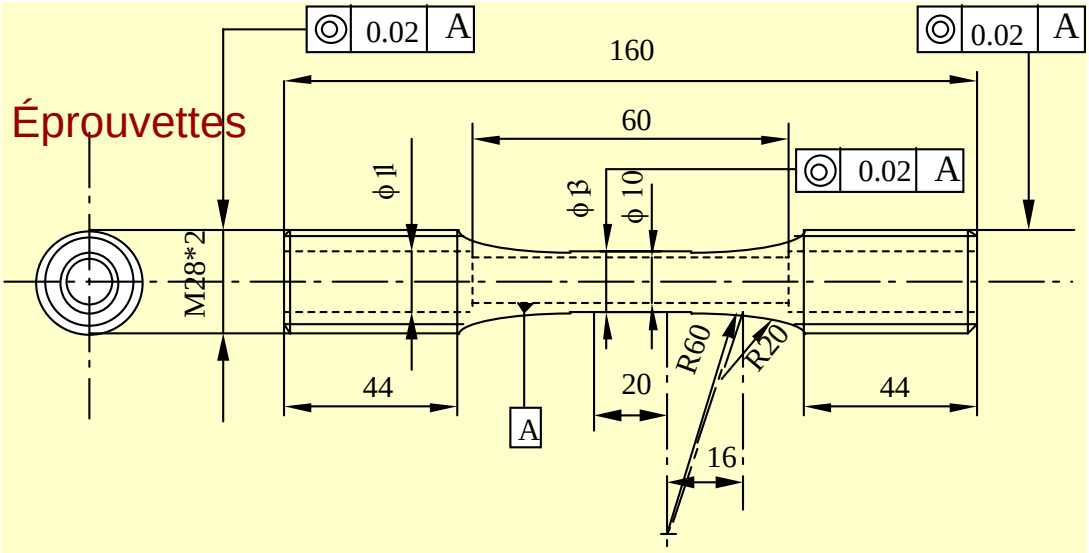


Eprouvettes à profil torique



Eprouvettes
à partie utile cylindrique

Méthodes d'essais : éprouvettes

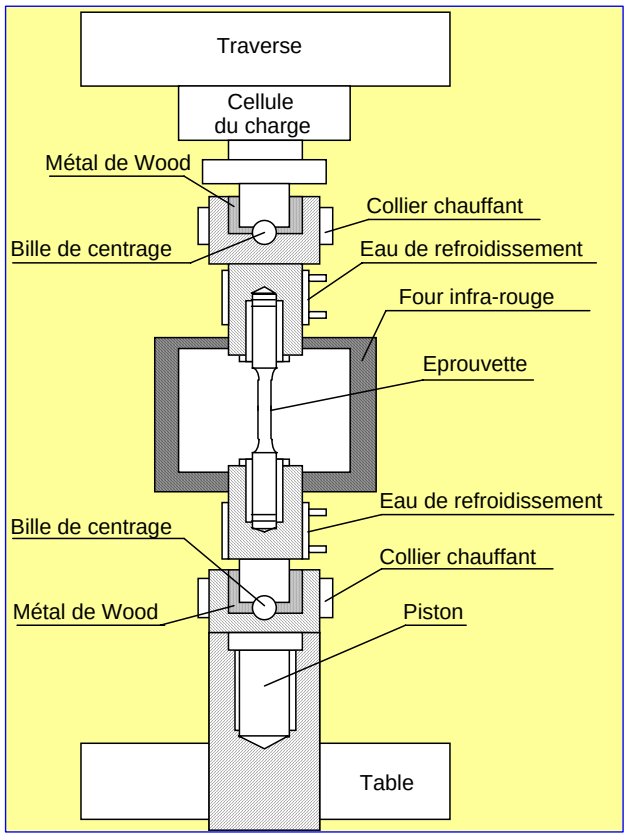


Eprouvette tubulaire

Amarrage des éprouvettes

- Pour éviter le flambement lorsque le chargement est en compression et pour supprimer les jeux, nécessité d'avoir un très bon alignement des têtes de l'éprouvette
  - Métal de Wood
  - Amarrages filetés

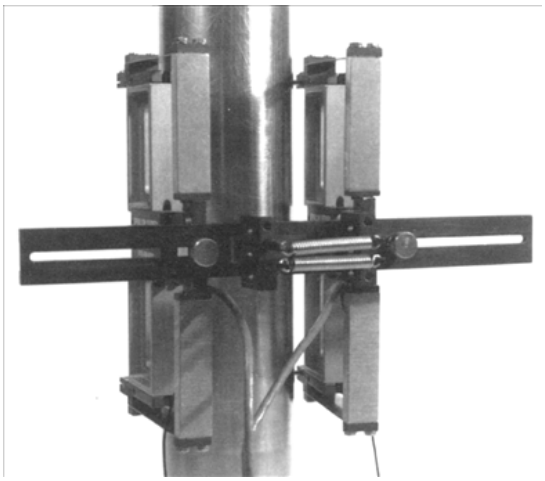
Exemple de montage avec métal de Wood



Mesures des déformations

- Par la mesure du déplacement de la traverse de la machine d'essai :
  - Grâce au capteur de déplacement intégré dans la machine
- Sur l'éprouvette :
  - exemple : éprouvette à collerettes
- À l'aide d'un extensomètre :
  - Avec contact : fixation sur l'éprouvette à l'aide de couteaux
  - sans contact : mesure optique
- Extensométrie axiale ou diamétrale

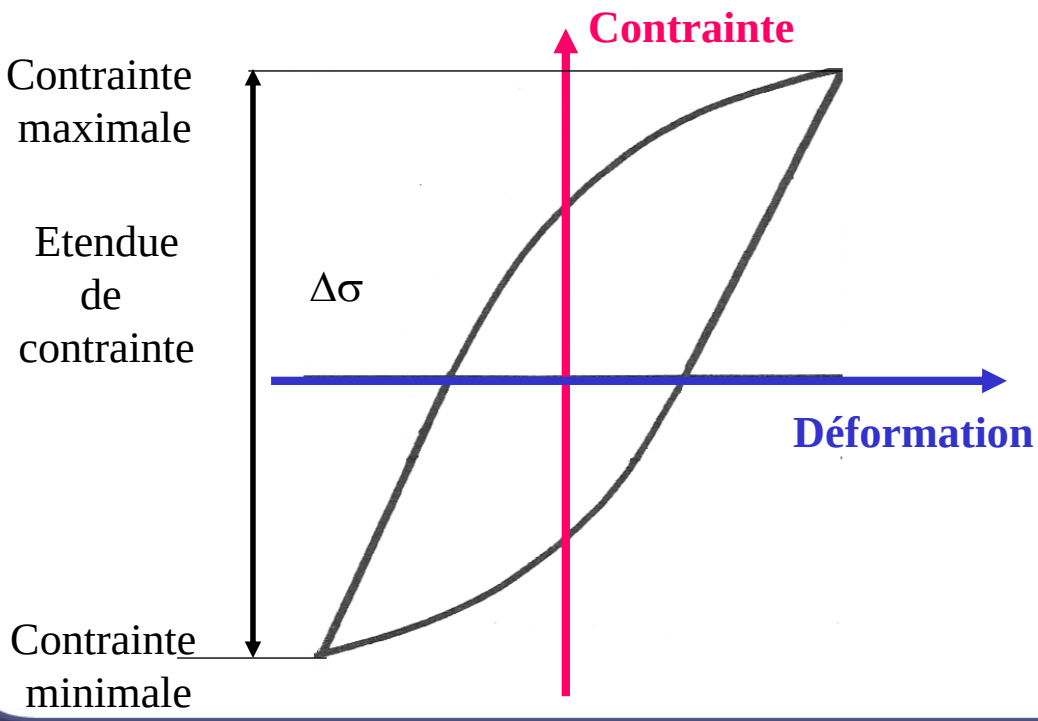
Extensomètre longitudinal



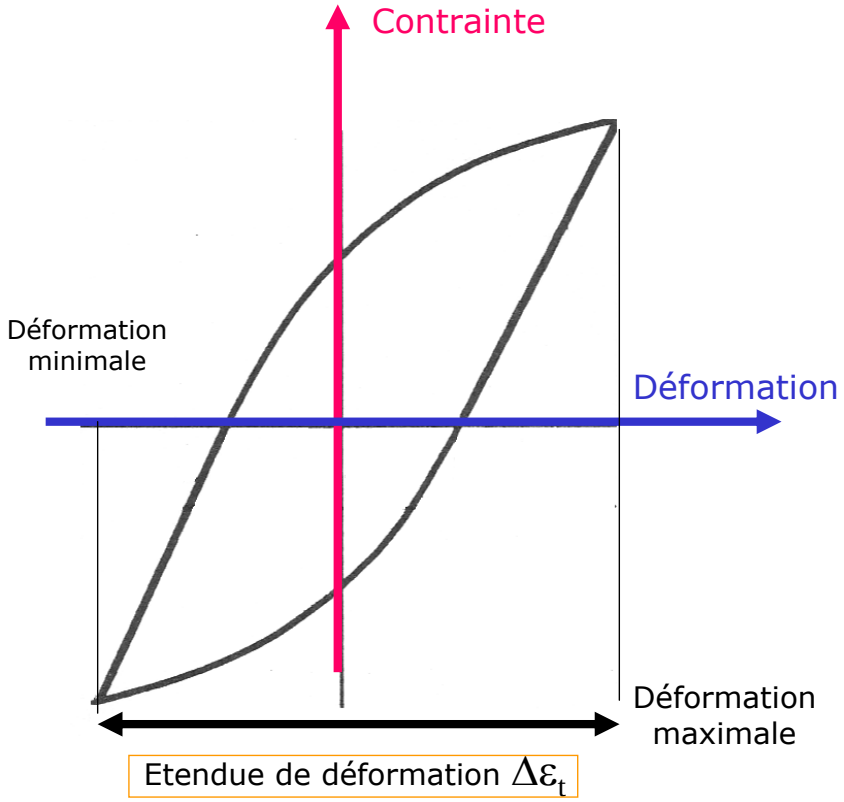
Température ambiante

Haute Température

Description phénoménologique de la fatigue plastique oligocyclique

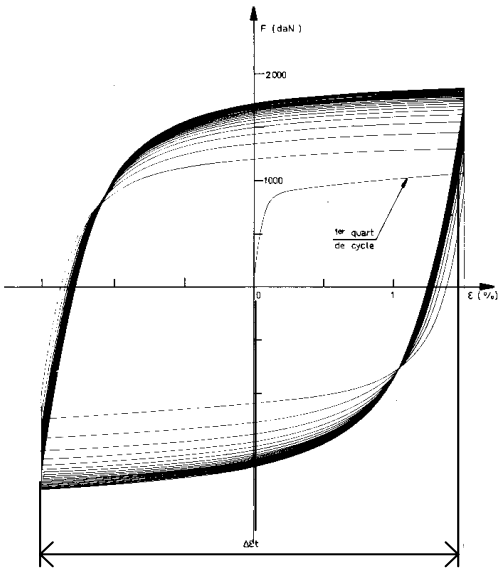


Description phénoménologique de la fatigue plastique oligocyclique



Description phénoménologique de la fatigue plastique oligocyclique

- Tracé des courbes contrainte – déformation (σ/ε)

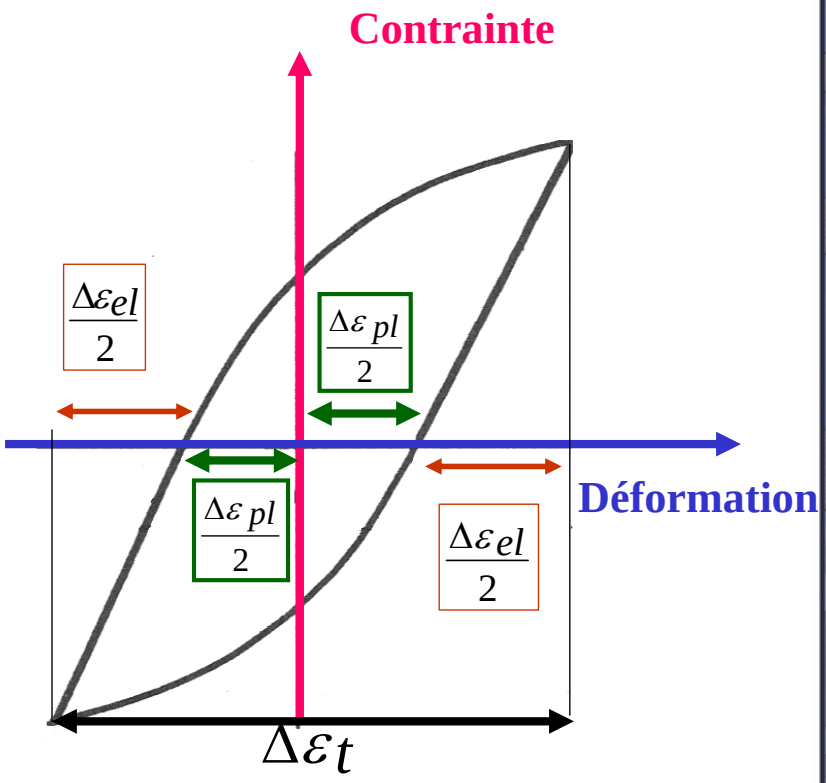


On enregistre l'effort ou la contrainte en fonction de la déformation.

On obtient des boucles qui évoluent et se stabilisent dans le cas où un régime stable existe.

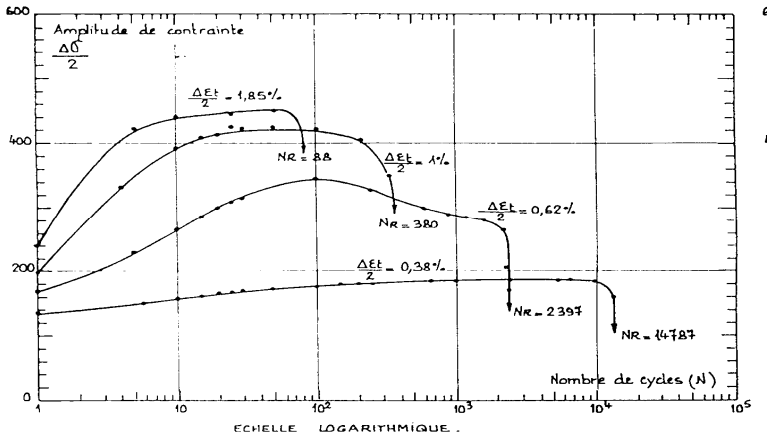
On travaille à amplitude de déformations imposée les contraintes varient

Partition des étendues de déformation sur le cycle d'hystérésis



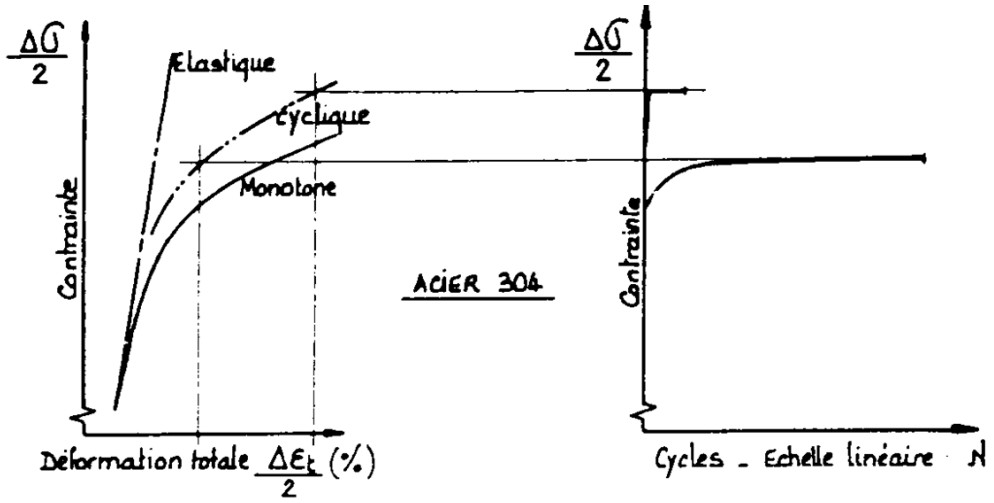
Loi de comportement cyclique

- Quand une éprouvette est soumise à une déformation cyclique imposée, on constate que les contraintes maxi et mini ne restent que rarement constantes pendant tout l'essai. Trois stades sont observés.
  - Stade transitoire où les contraintes varient très sensiblement
  - Stade de stabilisation
  - Chute des contraintes souvent associée à l'apparition de fissures



Loi de comportement cyclique

- Exemple de consolidation
  - Le matériau se durcit

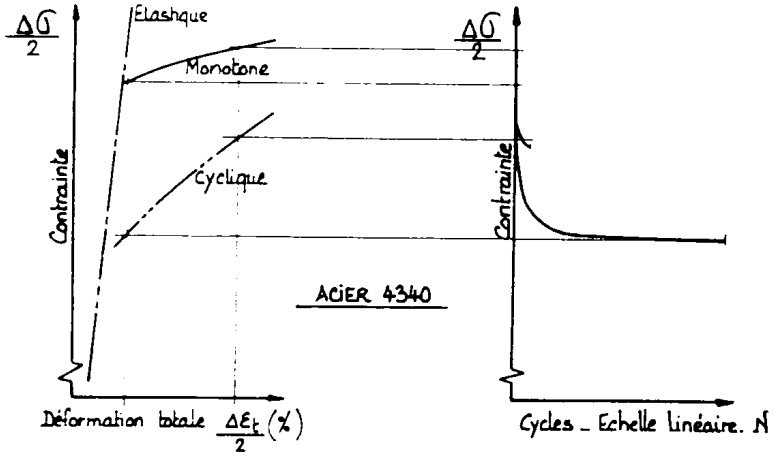


Cas de matériaux ductiles

c
a

Loi de comportement cyclique

- Exemple de déconsolidation
  - Le matériau s'adoucit

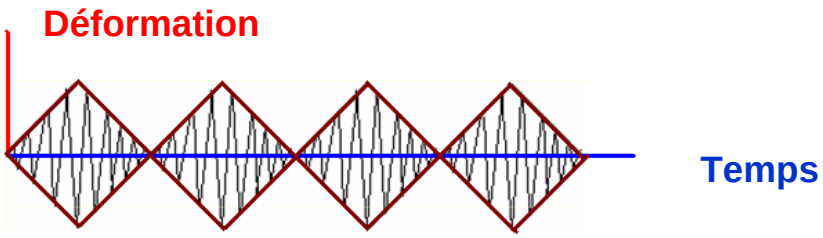


Cas des matériaux fragiles

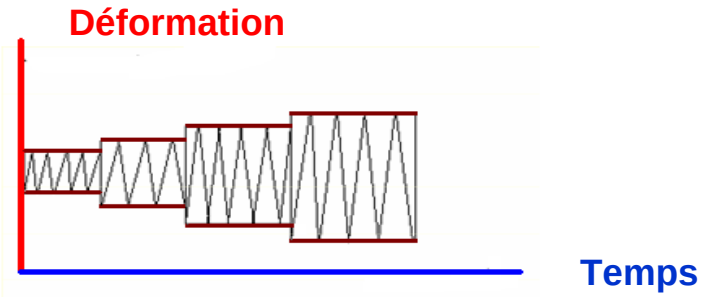
Tracé de la courbe d'écrouissage cyclique

- les courbes contrainte / déformation permettent de tracer la courbe d'écrouissage cyclique.
  - Soit on effectue n essais avec n éprouvettes. Pour chaque éprouvette, on impose une déformation donnée et on mesure la contrainte stabilisée
  - Soit on utilise des méthodes nécessitant moins d'éprouvettes

Courbe d'écrouissage cyclique

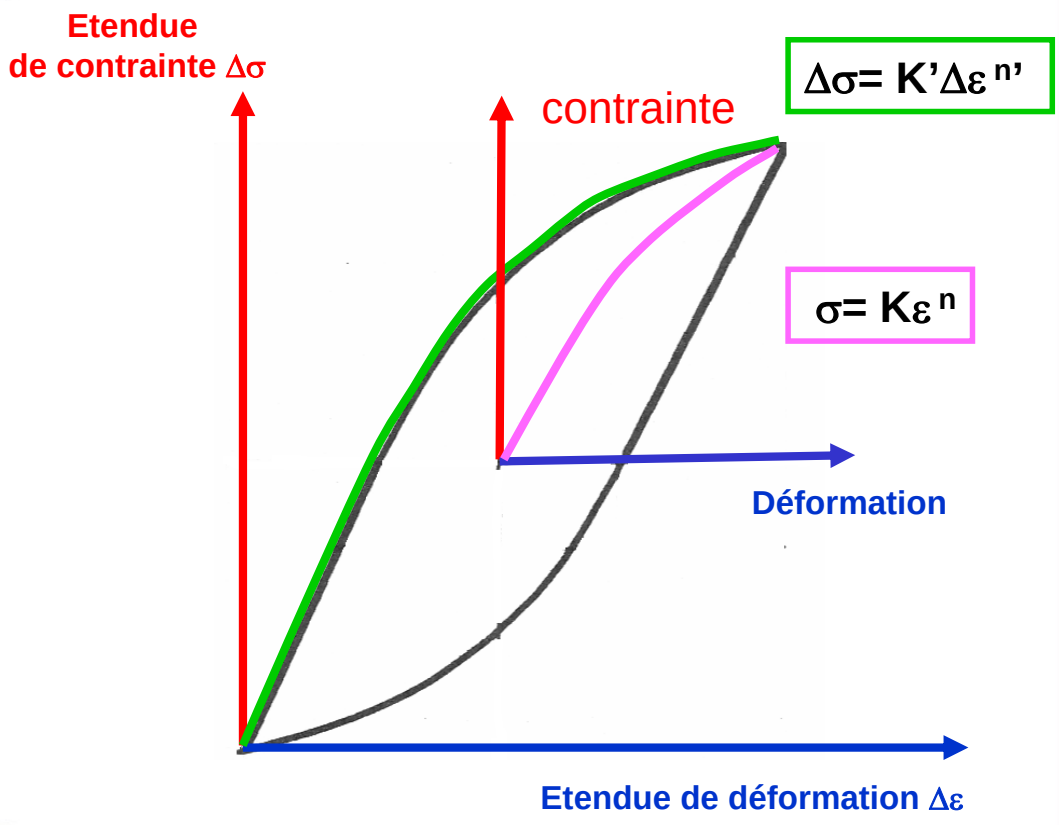


Méthode par Incréments



Méthode par paliers

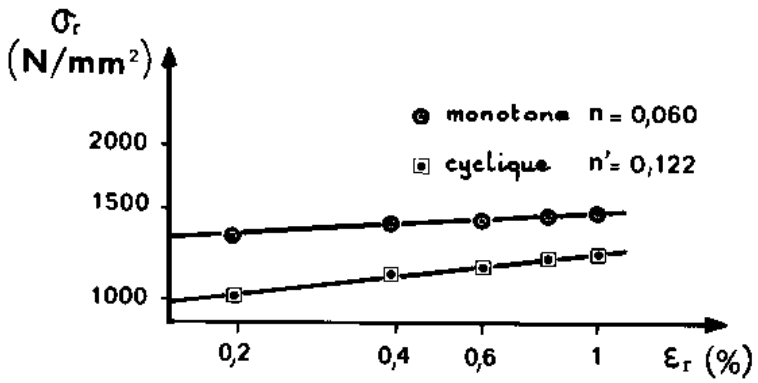
Construction de la courbe d'écrouissage cyclique à partir des boucles d'hystérésis



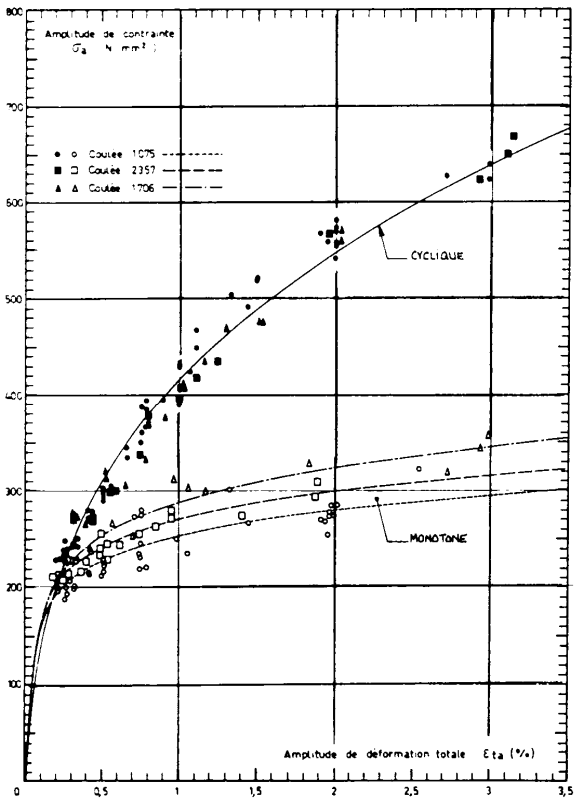
Tracé de la courbe d'écrouissage cyclique

- Sur un diagramme logarithmique, on reporte la contrainte rationnelle σ_r en fonction de la déformation vraie ε_r

$$\sigma_r = \frac{F}{S_o}(1+e_\rho) \qquad \varepsilon_r = \log(1+e_r)$$



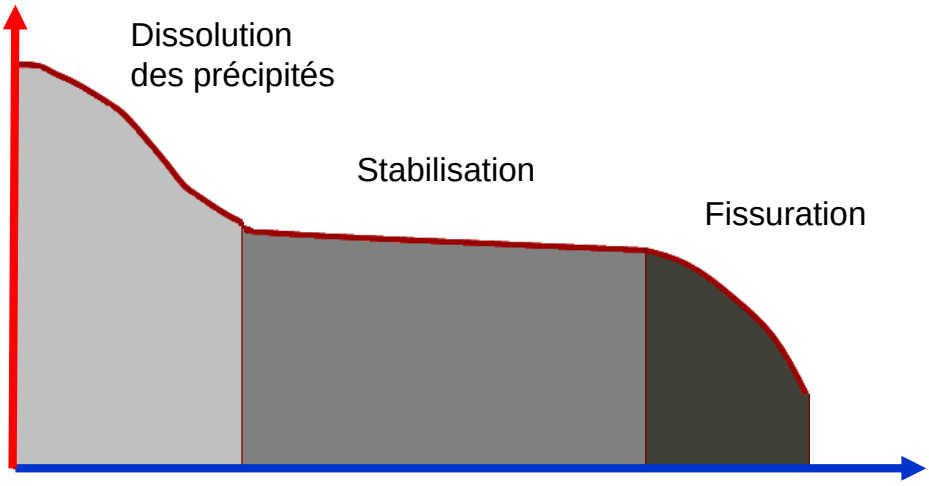
Exemple de courbes d'écrouissage cyclique



Acier inoxydable 316L

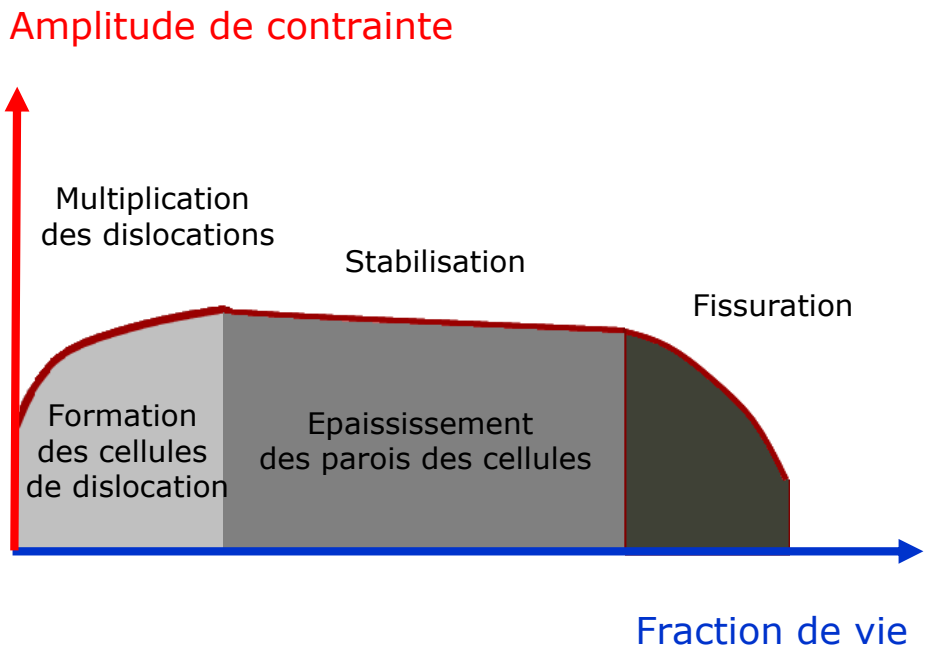
Mécanismes de l'adoucissement cyclique

Amplitude de contrainte



Fraction de vie

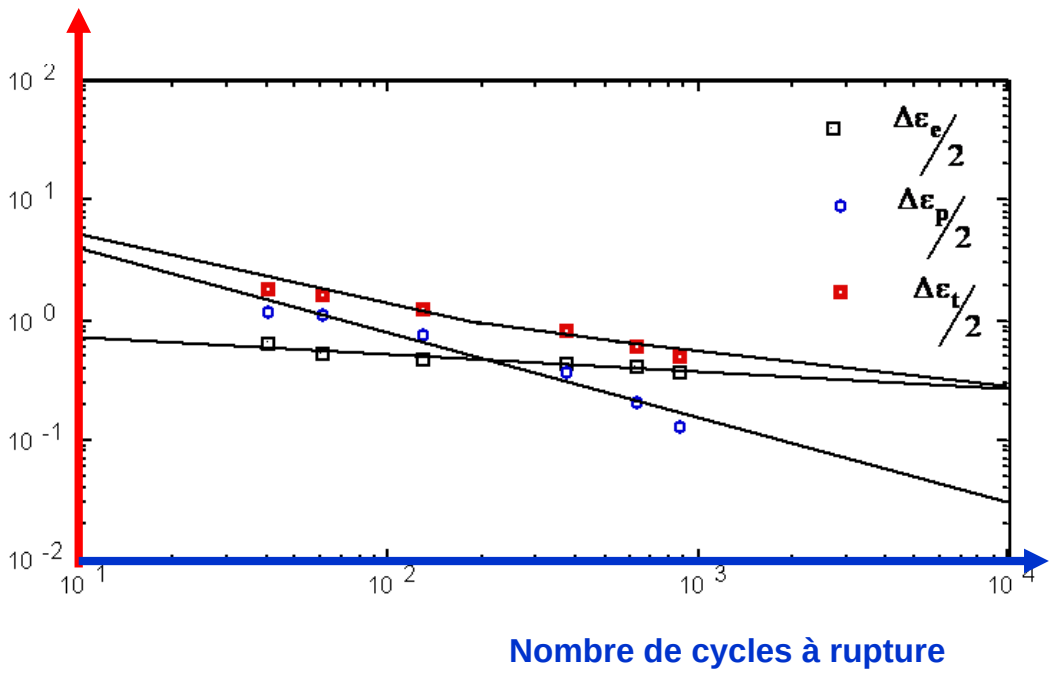
Mécanismes du durcissement cyclique



Courbes de résistance à la fatigue

- les courbes de résistance à la fatigue ou courbes de Manson Coffin représentent la déformation $\Delta\varepsilon$ en fonction du nombre de cycles à rupture N.
- On distingue deux courbes :
  - La courbe élastique représentant $\Delta\varepsilon_{el}$
  - La courbe plastique représentant $\Delta\varepsilon_{p}$
- Ce sont des droites dans un diagramme bi-logarithmique

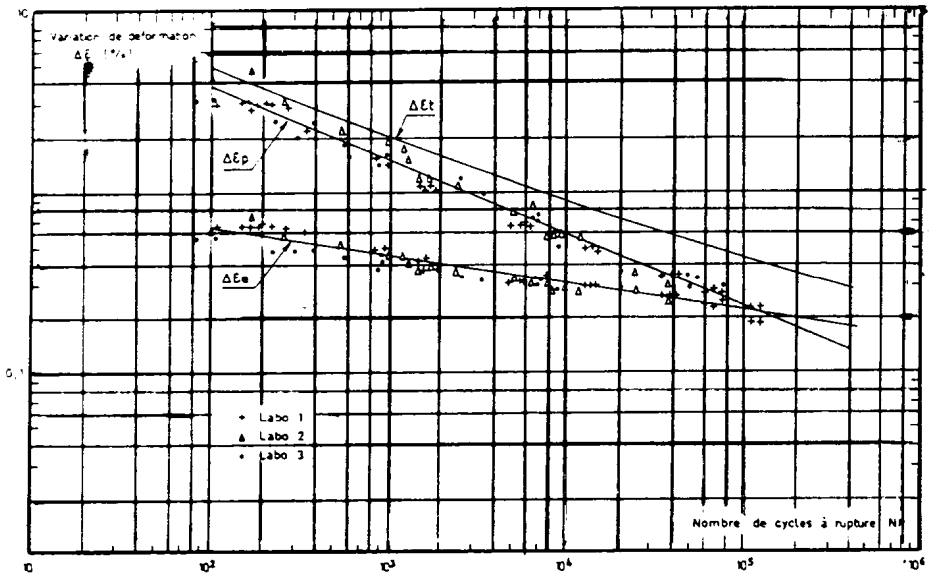
Courbes de Basquin, Coffin et Manson-Coffin



Représentation de la loi de Manson Coffin

$$\frac{\Delta\varepsilon_{el}}{2} = \frac{\sigma_f}{E}(2N_R)^b$$

$$\frac{\Delta\varepsilon_p}{2} = \varepsilon'_f\,(2N_R)^c$$



Représentation de la loi de Manson Coffin

- Loi de Basquin
  - b : exposant de résistance à la fatigue -0,09 ≤b ≤-0,16
  - σ_f : coefficient de résistance à la fatigue

$$\frac{\Delta\varepsilon_{el}}{2} = \frac{\sigma_f}{E}(2N_R)^b$$

- Loi de Manson-Coffin
  - c : exposant de ductilité à la fatigue -0,5≤c ≤-1
  - ε'_f : coefficient de ductilité à la fatigue

$$\frac{\Delta\varepsilon_p}{2} = \varepsilon'_f\,(2N_R)^c$$

- $\Delta\varepsilon_t = \Delta\varepsilon_{el} + \Delta\varepsilon_p$

Méthodes de prévision des courbes de Manson Coffin

- Prédiction de la loi de Manson Coffin :
  - 4 points
  - deux droites de pentes données
- dont les coordonnées sont issues des caractéristiques mécaniques monotones du matériau
- D : ductibilité en traction
- σ_u : contrainte ultime

Méthode des 4 points

- Les droites élastiques et plastiques sont définies par les points :

Droite élastique

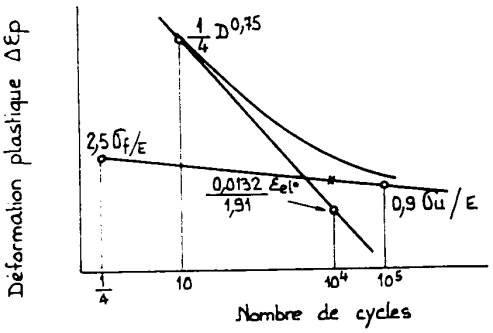
$$N_R = 1/4 ; \Delta\varepsilon_{el} = 2{,}5\frac{\sigma_f}{E}$$

$$N_R = 10^5 ; \Delta\varepsilon_{el} = 0{,}9\frac{\sigma_u}{E}$$

Droite plastique

$$N_R = 10 ; \Delta\varepsilon_{p\ell} = \frac{1}{4}D^{0,75}$$

$$N_R = 10^4 ; \Delta\varepsilon_{p\ell} \frac{0{,}0132}{1{,}91}\varepsilon_{e\ell}$$

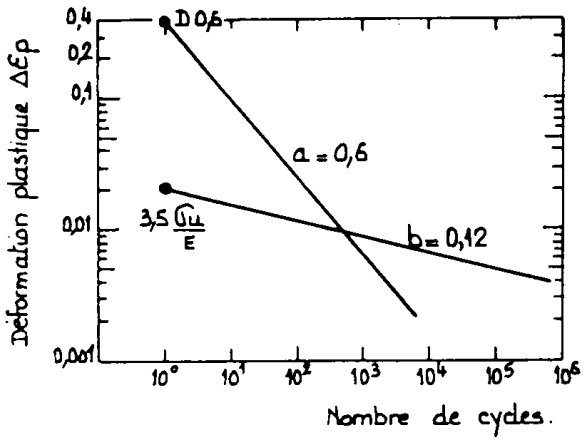


Méthode des pentes universelles

- Les droites élastiques et plastiques sont définies par leur pente et un point

Droite élastique

$$\begin{cases} b = -0{,}12 \\ N_R = 1 ; \Delta\varepsilon_\ell = 3{,}5\dfrac{\sigma_u}{E} \end{cases}$$



Droite plastique

$$\begin{cases} c = -0{,}6 \\ N_R = 1 ; \Delta\varepsilon_\rho = D^{0,6} \end{cases}$$

Merci de votre attention…

Claude ROBIN
claude.robin@mines-douai.fr