Chapitre II : La fatigue des matériaux

1 Définition et généralités

1.1 La rupture

En science des matériaux, la rupture d'un matériau est la séparation, partielle ou complète, en deux ou plusieurs pièces sous l'action d'une contrainte.

Une rupture peut être souhaitée par le concepteur de la pièce comme dans le cas de la conception de dispositifs de sécurité, ou au contraire celui-ci cherche à éviter cette rupture en mettant en adéquation la fonction de cette pièce avec les dimensionnement et choix des matériaux utilisés et des procédés de réalisation.

1.2 La mécanique de la rupture

La mécanique de la rupture tend à définir une propriété du matériau qui peut se traduire par sa résistance à la rupture fragile ou ductile. Car si les structures sont calculées pour que les contraintes nominales ne dépassent pas, en règle générale, la limite d'élasticité du matériau et soient donc par voie de conséquence à l'abri de la ruine par rupture de type ductile, elles ne sont pas systématiquement à l'abri d'une ruine par rupture de type fragile que ce soit à partir d'une fissure préexistante à la mise en service ou créée en service par fatigue.

1.3 La fatigue

La fatigue désigne l'endommagement d'une pièce sous l'effet d'efforts répétés : vibrations, rafales de vent… C'est un phénomène distinct de l'usure. Alors que la pièce est conçue pour résister à des efforts donnés, l'application répétée d'efforts plus faibles peut provoquer sa rupture : si une vis de diamètre 6 mm peut tenir un objet d'une tonne, elle peut en revanche casser si on lui suspend un objet de100 kg un million de fois de suite.

La fatigue est un processus (succession de mécanismes) qui sous l'action de contraintes ou déformations variables dans le temps modifie les propriétés locales d'un matériau. Ces dernières peuvent entraîner la formation de fissures et éventuellement la rupture de la structure. La fatigue est notamment caractérisée par une étendue de variation de contrainte qui peut être bien inférieure à la limite d'élasticité du matériau.

1.4 Rupture par fatigue

- Phénomène remarqué vers 1800 sur les essieux de wagon de train après un temps de service limité.

Notion de chargement variable complètement réversible appliqué sur ces axes (flexion rotative)

- Fatigue : terme employé pour désigner ce phénomène par Poncelet en 1839

Objectifs de l'étude de la fatigue d'une pièce :

Calcul de vérification, depuis une architecture donnée on vérifie la durée de vie réelle > durée de vie souhaitée.

Calcul de conception, à partir d'un spectre des contraintes déterminé et d'une durée de vie souhaitée on dimensionne la pièce.

2 Fatigue failure

le processus de défaillance consiste à déclencher une fissuration microscopique, fréquemment à une caractéristique de surface telle qu'un changement de section, suivie d'une propagation, chaque cycle de charge entraînant une extension de fissure. Les fissures de la fatigue sont dans bien des cas très fines, restant étroitement fermées à un minimum de charge et donc difficiles à trouver par examen visuel seul. Au fur et à mesure que la fissure s'étend, la zone intacte restante de la section transversale réduit, entraînant éventuellement une fracture complète ou une défaillance par un autre mode.

2.1 Amorçage :

A cause de la grande finesse du défaut initié, sa détection n'est possible que si on utilise de puissants équipements de laboratoire. Son initiation peut avoir lieu dans des endroits où l'accès est impossible.

Dans la figure 1 la zone d'amorçage est repérée par zone 1.

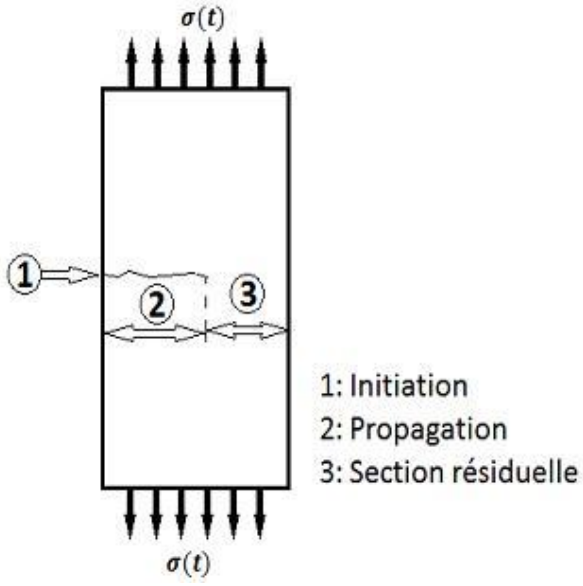


Figure 1. Les trois stades de la rupture par fatigue

2.2 Propagation

Sous l'effet du changement cyclique du chargement la fissure initiée commence à prendre des dimensions importantes menant finalement à la ruine.

A ce stade la fissure qui a grandit résultait de la propagation des microfissures causées par le défaut initié dans la première étape, c'est elle qui deviendra la fissure de la fatigue.

Sur la figure 1 ce stade correspond à la zone 2.

2.3 Rupture brutale

Lorsque la fissure atteint une distance de telle façon que la section résiduelle est trop faible pour supporter de fortes contraintes résultant d'une concentration au fond de la fissure, sur la figure 1 cette section correspond à la zone 3.



Figure 2. Faciès de rupture d'un arbre de transmission de voiture de course

3 Types de contraintes

Les sollicitations en fatigue peuvent être simples (traction, compression, torsion..) ou complexes (combinées). Les efforts répétés, varient en fonction du temps d'une façon périodique, dans ce cas on admet que leurs variations sont sinusoïdales, ou quelconque. On peut distinguer :

3.1 Contrainte sinusoïdale à amplitude constante

C'est la variation la plus simple elle est continue et à amplitude de contrainte constante.

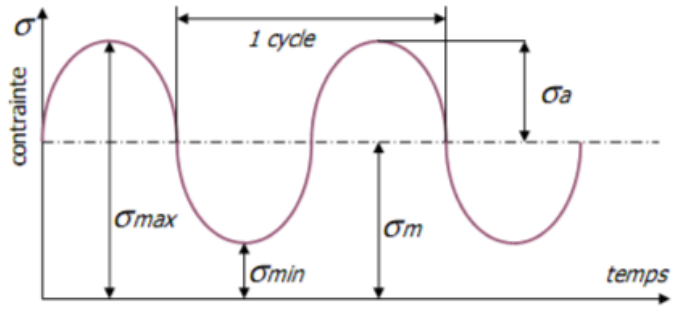


Figure 3. Contrainte sinusoïdale à amplitude constante

3.2 Contrainte sinusoïdale à amplitude variable

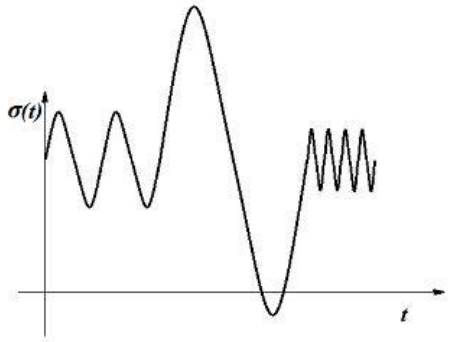


Figure 4. Contrainte sinusoïdale à amplitude variable

3.3 Contrainte aléatoire

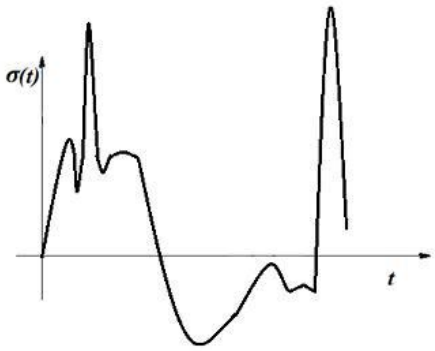


Figure 5. Contrainte aléatoire

4 Cycle de contrainte

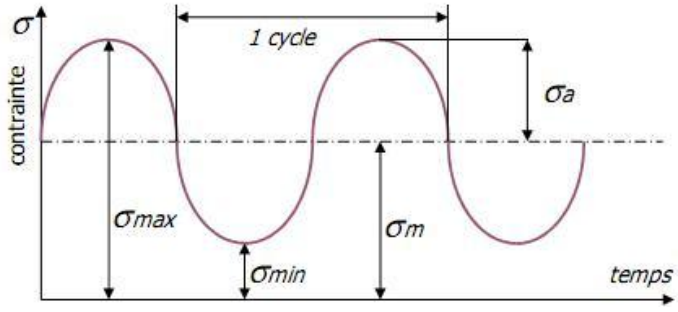


Figure 6. Cycle de contrainte sinusoïdale

σ_A Amplitude de contrainte

σ_M : Contrainte moyenne

σ_{MAX} : Contrainte maximale

σ_{MIN} : Contrainte minimale

$\Delta\sigma$: Etendue contrainte

$$\sigma_A = \frac{\sigma_{MAX} - \sigma_{MIN}}{2}$$

$$\sigma_M = \frac{\sigma_{MAX} + \sigma_{MIN}}{2}$$

$$\Delta\sigma = \sigma_{MAX} - \sigma_{MIN} = 2\sigma_A$$

$$\sigma_{MAX} = \sigma_M + \sigma_A$$

$$\sigma_{MIN} = \sigma_M - \sigma_A$$

Par considération des signes des termesσ_{MAX} et σ_{MIN} et les termesσ_M etσ_A les sollicitations peuvent être classées comme suit :

4.1 Sollicitation répétée

C'est le cas où les termes σ_{MIN} et σ_{MAX} sont ou bien positifs ou bien négatifs

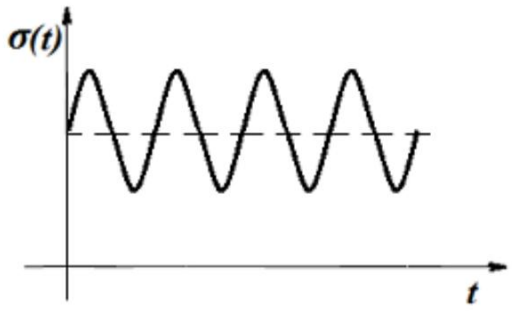


Figure 7. *Sollicitation répétée* ($\sigma_M > 0$)

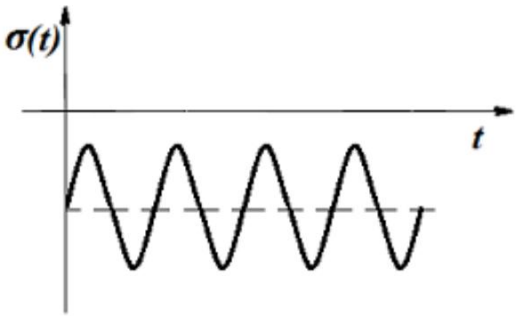


Figure 8. *Sollicitation répétée* (σ_M 0)

4.2 Sollicitation alternée

Dans ce cas : $\frac{\sigma_{max}}{\sigma_{mix}} < 0$

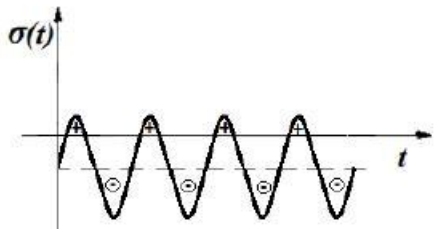


Figure 9. *Sollicitation alternée* ($\sigma_M > 0$)

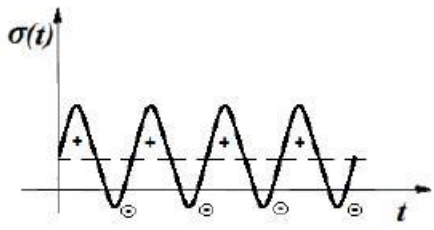


Figure 10. *Sollicitation alternée* (σ_M 0)

Cas particulier :

$\frac{\sigma_{max}}{\sigma_{mix}} = -1$



Figure 11. *Sollicitation complètement renversée* ($\sigma_M = 0$)

4.3 Sollicitation statique

C'est le cas où $\sigma_a = 0$ et $\sigma_m \neq 0$

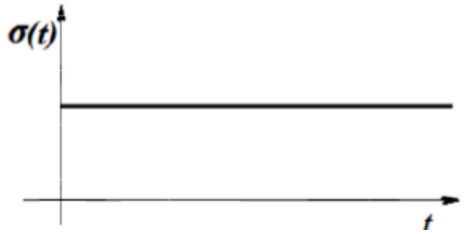


Figure 12. *Sollicitation statique* ($\sigma_M > 0$)

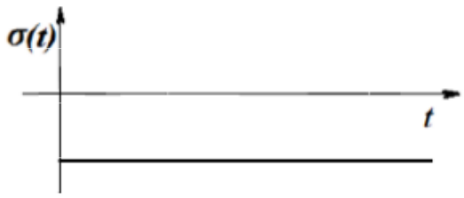


Figure 13. *Sollicitation statique* (σ_M 0)

5 Coefficient de Steefhelner

$\phi = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_{mix}}$ avec $-1 \leq \phi \leq +1$

Ce coefficient est utilisé pour déterminer le type de sollicitation.

$\phi = -1$: Contrainte complètement renversée

$\phi = 1$: Sollicitation statique

$-1 < \phi < 0$ ou $0 < \phi < +1$: Sollicitation répétée