

## Détermination de la résistance à la fatigue

*Cet article présente de manière synthétique le principe de détermination de la résistance à la fatigue d'un détail constructif.*

### Cycles de chargement d'amplitude constante

Note : le cas des cycles de chargement d'amplitude variable fera l'objet d'une publication ultérieure.

#### Courbes de résistance à la fatigue

La résistance à la fatigue d'un détail constructif donné est établie expérimentalement. Le détail est soumis à des cycles d'étendues de contrainte d'amplitude constante,  $\Delta\sigma$  pour les contraintes normales et/ou  $\Delta\tau$  pour les contraintes de cisaillement. La ruine est atteinte après un nombre  $N$  de cycles.

Note : pour le souci de clarté, seul le symbole  $\Delta\sigma$  sera utilisé dans la suite de l'article. Le principe exposé s'applique pour les contraintes de cisaillement également.

Plusieurs grandeurs d'amplitude constante sont appliquées. Plus l'amplitude est importante, moins de cycles sont nécessaires pour atteindre la ruine. Ce constat est alors traduit dans les courbes de résistance à la fatigue dans lesquelles les amplitudes  $\Delta\sigma$  sont tracées en fonction de  $N$ .

Compte tenu de la dispersion importante des résultats de tels essais, une courbe correspondant à une probabilité de non ruine de 95 % est considérée pour le calcul. Ces courbes de calcul sont le plus souvent appelées courbes  $\Delta\sigma$ - $N$ , ou courbes S- $N$ , ou courbes de Wöhler. Elles sont représentées sur une échelle bi-logarithmique.

Comme ces courbes sont fondées sur les études expérimentales représentatives à grande échelle, par conséquent elles englobent les effets :

- des concentrations locales de contraintes dues à la géométrie de soudure,
- de la dimension et de la forme des discontinuités acceptables,
- de la direction de la contrainte,
- des contraintes résiduelles,
- des conditions métallurgiques,
- dans certains cas, des opérations de soudage et des procédés d'amélioration.

### Courbes de résistance à la fatigue utilisées dans les Eurocodes

#### Typologie des courbes

Dans la norme NF EN 1993-1-9, les courbes de résistance à la fatigue sont constituées d'une multitude de couples ( $\Delta\sigma_R - N_R$ ) où :

- $\Delta\sigma_R$  est la **résistance à la fatigue**,
- $N_R$  est l'**endurance** (nombre de cycles à la ruine) correspondant à cette résistance.

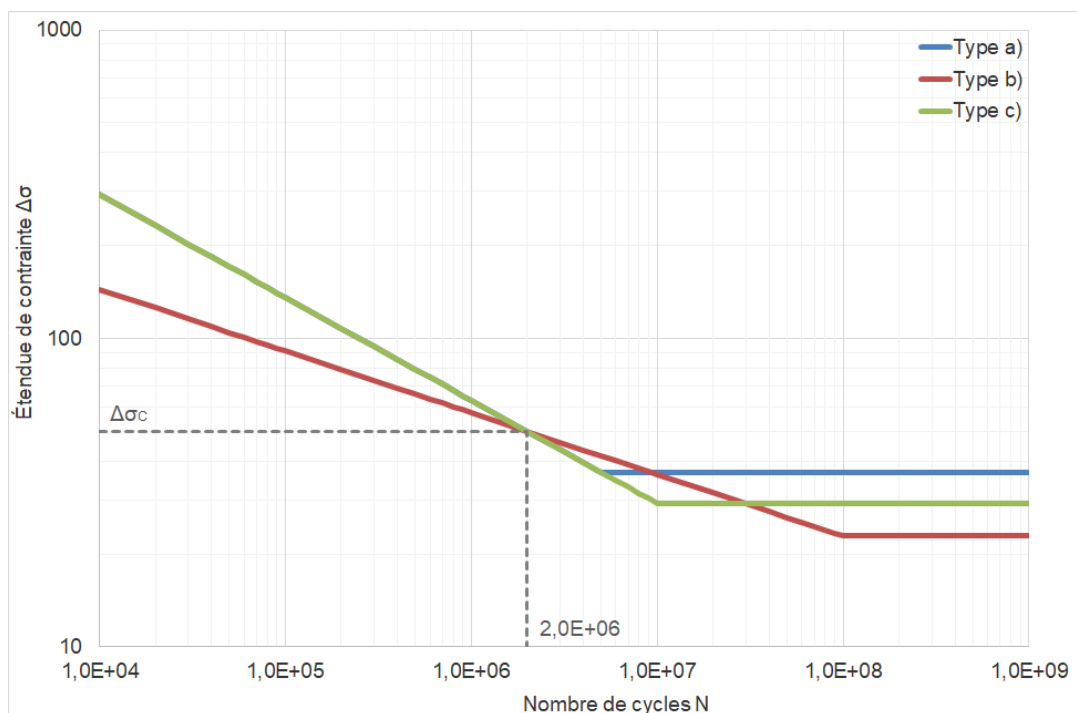
En d'autres termes, pour une étendue de contrainte appliquée  $\Delta\sigma_R$  correspond une seule valeur de l'endurance  $N_R$ . Inversement, pour un nombre de cycles appliqués  $N_R$  correspond une seule valeur de la résistance à la fatigue  $\Delta\sigma_R$ .

Les essais mettent en évidence l'existence d'une limite de résistance à la fatigue sous amplitude constante. Si tous les cycles de variations de contraintes se situent en dessous de cette valeur, la propagation ne s'initie pas.

Pour une immense majorité de détails constructifs sensibles à la fatigue, la norme propose trois types des courbes S-N, tous les trois représentés à la figure ci-dessous, et désignés ici par a), b) et c) :

- Type a) concerne la majorité de détails constructifs,
- Type b) concerne certains détails (une dizaine de détails de la norme, indiqués par « m = 5 »),
- Type c) concerne uniquement les détails marqués avec un astérisque, au total moins d'une dizaine dans la norme.

A chaque type de courbe sont associées une pente et une limite de fatigue à amplitude constante (le « plateau ») qui résultent de l'observation des résultats d'essais.



Quelle que soit son type, une courbe S-N est définie par sa catégorie de détail,  $\Delta\sigma_c$ , qui est la résistance à la fatigue du détail constructif auquel la courbe s'applique à 2 millions de cycles, nombre de cycles choisis par convention. La catégorie de détail varie de 36 à 125 MPa (160 MPa pour les produits laminés), en fonction du détail constructif.

Il est possible de donner les expressions pour déterminer la résistance à la fatigue, ainsi que l'endurance, pour les trois types de courbe S-N de la norme.

## Etendue de contrainte maximale pour un nombre de cycles connu

Si le nombre de cycles N est connu, la résistance à la fatigue correspondante est donnée par les expressions suivantes :

- Pour les courbes de type a) :  
 $\Delta\sigma_R = (2 \times 10^6 / N)^{1/3} \Delta\sigma_C$ , pour  $N \leq 5 \times 10^6$   
 $\Delta\sigma_R = (2 / 5)^{1/3} \Delta\sigma_C = 0,737 \Delta\sigma_C$ , sinon ;
- Pour les courbes de type b) :  
 $\Delta\sigma_R = (2 \times 10^6 / N)^{1/5} \Delta\sigma_C$ , pour  $N \leq 100 \times 10^6$   
 $\Delta\sigma_R = (2 / 100)^{1/5} \Delta\sigma_C = 0,457 \Delta\sigma_C$ , sinon ;
- Pour les courbes de type c) :  
 $\Delta\sigma_R = (2 \times 10^6 / N)^{1/3} \Delta\sigma_C$ , pour  $N \leq 10 \times 10^6$   
 $\Delta\sigma_R = (2 / 10)^{1/3} \Delta\sigma_C = 0,585 \Delta\sigma_C$ , sinon.

## Nombre de cycles maximale pour une étendue de contrainte connue

Il est également possible d'exprimer les durées (nombres de cycles jusqu'à la ruine),  $N_R$ , correspondant à une étendue de contrainte appliquée,  $\Delta\sigma$  :

- Pour les courbes de type a) :  
 $N_R = 2 \times 10^6 (\Delta\sigma_C / \Delta\sigma)^3$ , pour  $0,737 \Delta\sigma_C \leq \Delta\sigma$   
 $N_R = \infty$ , sinon ;
- Pour les courbes de type b) :  
 $N_R = 2 \times 10^6 (\Delta\sigma_C / \Delta\sigma)^5$ , pour  $0,457 \Delta\sigma_C \leq \Delta\sigma$   
 $N_R = \infty$ , sinon ;
- Pour les courbes de type c) :  
 $N_R = 2 \times 10^6 (\Delta\sigma_C / \Delta\sigma)^3$ , pour  $0,585 \Delta\sigma_C \leq \Delta\sigma$   
 $N_R = \infty$ , sinon.

## Application numérique

On prend l'exemple d'une courbe d'allure a), définie par la catégorie de détail de 90 MPa. Donc, la résistance à la fatigue d'un détail constructif auquel cette courbe est associée est de 90 MPa avec 2 millions de cycles de la charge associée.

Si l'on veut connaître la résistance à la fatigue pour un chargement qui se répète un nombre de fois différent de 2 millions, on peut utiliser les formules développées ci-dessus pour ce cas. A titre d'exemple :

- Etendue de contrainte maximale pour un chargement qui se répète 100 000 ( $1 \times 10^5$ ) fois :  
 $\Delta\sigma_R = 90 \times (2 \times 10^6 / 1 \times 10^5)^{1/3} = 244,30 \text{ MPa}$  ;  
 Il convient alors de vérifier que l'étendue de contrainte  $\Delta\sigma$  ne dépasse pas 244,3 MPa.
- Etendue de contrainte maximale pour un chargement qui se répète 4 millions ( $4 \times 10^6$ ) fois :  
 $\Delta\sigma_R = 90 \times (2 \times 10^6 / 4 \times 10^6)^{1/3} = 71,43 \text{ MPa}$  ;  
 Il convient alors de vérifier que l'étendue de contrainte  $\Delta\sigma$  ne dépasse pas 71,43 MPa.

De même, si l'on veut connaître l'endurance pour une étendue de contrainte donnée, on peut utiliser les formules développées ci-dessus pour ce cas. A titre d'exemple :

- Nombre maximal de cycles pour une étendue de contrainte de 120 MPa :  
 $N_R = 2 \times 10^6 (\Delta\sigma_C / \Delta\sigma)^3 = 843\,750$  cycles ;  
 Il convient alors de vérifier que le nombre de cycles N ne dépasse pas 843 750 cycles.
- Nombre maximal de cycles pour une étendue de contrainte de 50 MPa :  
 $N_R = \infty$ , car  $\Delta\sigma = 50 \text{ MPa} < (2 / 5)^{1/3} \times 90 = 66,31 \text{ MPa}$  ;  
 Alors, quel que soit le nombre de cycles, aucun endommagement par fatigue ne se produira.

Ces exemples sont présentés graphiquement à la figure ci-dessous.

