

Cet article présente de manière synthétique le principe de détermination de la résistance à la fatigue d'un détail constructif soumis aux cycles de chargement d'amplitude variable.

Cycles de chargement d'amplitude variable

Il est possible d'exprimer les durées (nombres de cycles jusqu'à la ruine) N_R , correspondant à une étendue de contrainte appliquée $\Delta\sigma$, pour chacune des parties distinctes des trois types de courbe de résistance à la fatigue de la norme NF EN 1993-1-9.

Note 1 : la détermination de l'étendue de contrainte maximale pour un nombre de cycles connu n'a pas beaucoup d'utilité pratique dans le cas de cycles d'étendues de contrainte variables.

Note 2 : les **courbes de résistance à la fatigue** sont présentées dans la [1^{re} partie de cet article](#).

Note 3 : la détermination de la résistance à la fatigue pour des **cycles de chargement d'amplitude constante** fait l'objet de la [2^e partie de cet article](#).

Nombre de cycles maximal pour une étendue de contrainte connue

Si une étendue de contrainte appliquée $\Delta\sigma$ est connue, l'endurance (nombre de cycles jusqu'à la ruine) N_R est donnée par les expressions suivantes :

- Pour les courbes de Type a) :

$N_R = 2 \times 10^6 (\Delta\sigma_C / \Delta\sigma)^3$,	pour $\Delta\sigma \geq \Delta\sigma_D$
$N_R = 5 \times 10^6 (\Delta\sigma_D / \Delta\sigma)^5$,	pour $\Delta\sigma_D \geq \Delta\sigma \geq \Delta\sigma_L$
$N_R = \infty$,	sinon ;
- Pour les courbes de Type b) :

$N_R = 2 \times 10^6 (\Delta\sigma_C / \Delta\sigma)^5$,	pour $\Delta\sigma \geq \Delta\sigma_D = \Delta\sigma_L$
$N_R = \infty$,	sinon ;
- Pour les courbes de Type c) :

$N_R = 2 \times 10^6 (\Delta\sigma_C / \Delta\sigma)^3$,	pour $\Delta\sigma \geq \Delta\sigma_D$
$N_R = 5 \times 10^6 (\Delta\sigma_D / \Delta\sigma)^5$,	pour $\Delta\sigma_D \geq \Delta\sigma \geq \Delta\sigma_L$
$N_R = \infty$,	sinon.

Dans ces formules :

- $\Delta\sigma_C$ est la catégorie de détail, à savoir la résistance à la fatigue à 2 millions de cycles ;
- $\Delta\sigma_D$ est la limite de fatigue à amplitude constante :
 - Pour les courbes de Type a) : $\Delta\sigma_D = \Delta\sigma_C (2 / 5)^{1/3} = 0,737 \Delta\sigma_C$
 - Pour les courbes de Type b) : $\Delta\sigma_D = \Delta\sigma_C (2 / 100)^{1/5} = 0,457 \Delta\sigma_C$
 - Pour les courbes de Type c) : $\Delta\sigma_D = \Delta\sigma_C (2 / 10)^{1/3} = 0,585 \Delta\sigma_C$
- $\Delta\sigma_L$ est la limite de troncature :
 - Pour les courbes de Type a) : $\Delta\sigma_L = \Delta\sigma_D (5 / 100)^{1/5} = 0,405 \Delta\sigma_C$
 - Pour les courbes de Type b) : $\Delta\sigma_L = \Delta\sigma_D = 0,457 \Delta\sigma_C$
 - Pour les courbes de Type c) : $\Delta\sigma_L = \Delta\sigma_D (10 / 100)^{1/5} = 0,369 \Delta\sigma_C$

Application numérique

Comme dans la 2^e partie de cet article, on prend l'exemple d'une catégorie de détail de 90 MPa associée à une courbe de Type a). Les étendues de contrainte désignant son tracé sont alors :

- Catégorie de détail (résistance à la fatigue à 2 millions cycles) :
 $\Delta\sigma_C = 90 \text{ MPa}$,
- Limite de fatigue à amplitude constante (résistance à la fatigue à 5 millions cycles) :
 $\Delta\sigma_D = (2 / 5)^{1/3} \times 90 \text{ MPa} = 66,31 \text{ MPa}$,
- Limite de troncature (résistance à la fatigue à 100 millions cycles) :
 $\Delta\sigma_L = (5 / 100)^{1/5} \times 66,31 \text{ MPa} = 36,42 \text{ MPa}$,

Si l'on imagine que trois actions cycliques, chacune avec une étendue de contrainte constante, sont présentes dans la durée de vie du détail constructif analysé, il est possible de déterminer l'endurance pour chacune des trois étendues de contrainte données : on peut utiliser les formules appropriées, parmi celles présentées ci-dessus.

À titre d'exemple, les trois actions ont les étendues de contrainte suivantes :

- $\Delta\sigma_1 = 120 \text{ MPa}$,
- $\Delta\sigma_2 = 50 \text{ MPa}$
- $\Delta\sigma_3 = 30 \text{ MPa}$

L'endurance (nombre maximal de cycles) est alors calculée pour chacune de ces actions comme suit :

- Pour l'étendue de contrainte $\Delta\sigma_1 = 120 \text{ MPa}$:
 $N_{R1} = 2 \times 10^6 (\Delta\sigma_C / \Delta\sigma_1)^3 = 843\,750 \text{ cycles}$,
car $\Delta\sigma_1 > \Delta\sigma_D = 66,31 \text{ MPa}$.

Note : cette étendue de contrainte, la plus élevée, tombe sur la première portion de la courbe, de pente $m = 3$. De ce fait, elle est supérieure à la limite de fatigue à amplitude constante $\Delta\sigma_D$ et il est nécessaire de retracer la courbe expérimentale de résistance à la fatigue, en ajoutant au-dessous de la limite de fatigue à amplitude constante, une partie de la courbe de pente $m = 5$. Cela quantifie la contribution à l'endommagement des actions dont les étendues de contrainte sont inférieures à cette limite.

- Pour l'étendue de contrainte $\Delta\sigma_2 = 50 \text{ MPa}$:
 $N_{R2} = 5 \times 10^6 (\Delta\sigma_D / \Delta\sigma)^3 = 20\,512\,336 \text{ cycles}$,
car : $\Delta\sigma_D = 66,31 \text{ MPa} > \Delta\sigma_2 > \Delta\sigma_L = 36,42 \text{ MPa}$.

Note : cette étendue de contrainte tombe sur la deuxième portion de la courbe, de pente $m = 5$, au-dessous de la limite de fatigue à amplitude constante $\Delta\sigma_D$, mais au-dessus de la limite de troncature $\Delta\sigma_L$. Sans existence simultanée de l'étendue de contrainte $\Delta\sigma_1$ qui est supérieure à la limite de fatigue à amplitude constante, et qui de ce fait provoque un endommagement initial, cette étendue de contrainte n'aurait pas été préjudiciable (voir la 2^{ème} partie de cet article).

- Pour l'étendue de contrainte $\Delta\sigma_3 = 30 \text{ MPa}$:
 $N_{R3} = \infty$,
car $\Delta\sigma_L = 36,42 \text{ MPa} > \Delta\sigma_3$.

Note : quel que soit le nombre de cycles associés à cette action, aucun endommagement par fatigue ne se produit, car l'étendue de contrainte est au-dessous de la limite de troncature $\Delta\sigma_L$ et ne contribue pas à l'endommagement.

Ces trois actions sont représentées à la Figure 1.

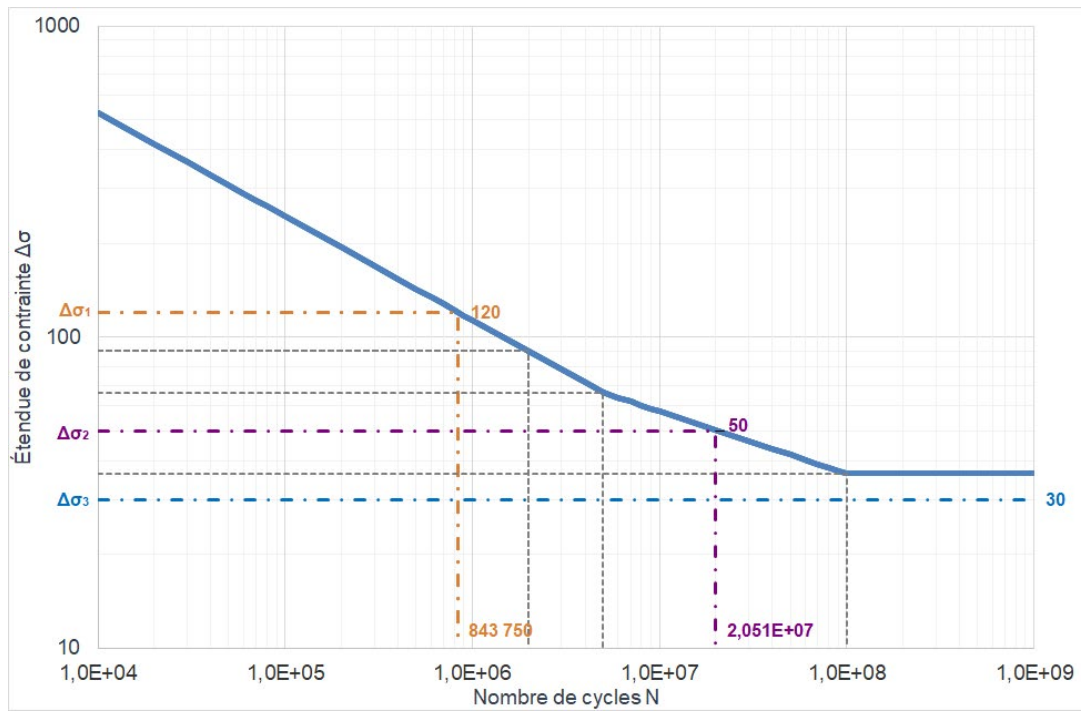


Figure 1 : Courbe de résistance à la fatigue de catégorie 90 pour les étendues de contrainte variables

Note : les calculs montrés ici sont des résultats intermédiaires pour effectuer la vérification à la fatigue sous cycles de chargements d'amplitude variable. Effectivement, les résultats obtenus s'interprètent de la manière suivante :

- L'endurance de 843 750 cycles n'est valable que pour une étendue de contrainte $\Delta\sigma_1 = 120$ MPa : il n'est pas possible d'y rajouter des cycles d'une autre étendue de contrainte ;
- L'endurance de 20 512 336 cycles n'est valable que pour une étendue de contrainte $\Delta\sigma_2 = 50$ MPa : il n'est pas possible d'y rajouter des cycles d'une autre étendue de contrainte ;
- L'étendue de contrainte $\Delta\sigma_3 = 30$ MPa ne provoque pas d'endommagement : il est donc possible de cumuler des cycles de $\Delta\sigma_3$ avec des cycles d'une autre étendue de contrainte.

La vérification à la fatigue sous cycles de chargements d'amplitude variable fera l'objet de publications ultérieures.