

Cet article présente de manière synthétique les courbes de la résistance à la fatigue d'un détail constructif.

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 : par 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.

Dans les essais de résistance à la fatigue, les cycles d'étendues de contrainte sont appliqués avec une amplitude constante, que l'on fait varier entre chaque essai. Plus l'étendue est importante, moins de cycles sont nécessaires pour atteindre la ruine. Les résultats expérimentaux sont utilisés pour construire les courbes de résistance à la fatigue dans lesquelles les étendues $\Delta\sigma$ sont tracées en fonction de N .

Compte tenu de la dispersion importante des résultats de tels essais, les courbes de résistance à la fatigue considérées pour le calcul dans la norme NF EN 1993-1-9 ont été calibrées pour que la probabilité de ruine ne dépasse pas 5 %. Ces courbes de calcul sont aussi appelées courbes $\Delta\sigma$ - N , courbes $\log\Delta\sigma$ - $\log N$, courbes S- N , ou courbes de Wöhler. Elles sont représentées sur une échelle bi-logarithmique.

Comme ces courbes sont fondées sur les études expérimentales à grande échelle, 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 NF EN 1993-1-9, les courbes de résistance à la fatigue sont constituées d'une multitude de couples ($\Delta\sigma_R - N$), ou ($\Delta\sigma - N_R$), où :

- $\Delta\sigma_R$ est la **résistance à la fatigue** pour le nombre de cycles N ,
- N_R est l'**endurance** (nombre de cycles à la ruine) pour l'étendue de contrainte $\Delta\sigma$.

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

Pour les détails constructifs sensibles à la fatigue, la norme propose trois types de courbes de résistance à la fatigue :

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

Note : les dénominations Type a), Type b) et Type c) ne sont pas officielles. Elles sont utilisées uniquement dans cet article par souci de compréhension.

Cycles de chargement d'amplitude constante

Les essais de résistance à la fatigue semblent mettre en évidence l'existence d'une limite inférieure de résistance à la fatigue, ce qui se traduit par l'existence d'un « plateau », dans le tracé des courbes de résistance à la fatigue. Si toutes les étendues de contrainte se situent au-dessous de cette limite, appelée **limite de fatigue à amplitude constante** $\Delta\sigma_D$, il est considéré que l'endommagement ne s'initie pas.

A chacun des trois types 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. Ces trois types de courbes sont présentés à la Figure 1 pour les étendues de contrainte constantes :

- Type a) : une ligne de pente m = 3, avec la limite de fatigue à amplitude constante à 5 millions de cycles,
- Type b) : une ligne de pente m = 5, avec la limite de fatigue à amplitude constante à 100 millions de cycles,
- Type c) : une ligne de pente m = 3, avec la limite de fatigue à amplitude constante à 10 millions de cycles.

Note : les « pentes » mentionnées ci-dessus sont, en toute rigueur, les valeurs inverses négatives des pentes des courbes de résistance à la fatigue.

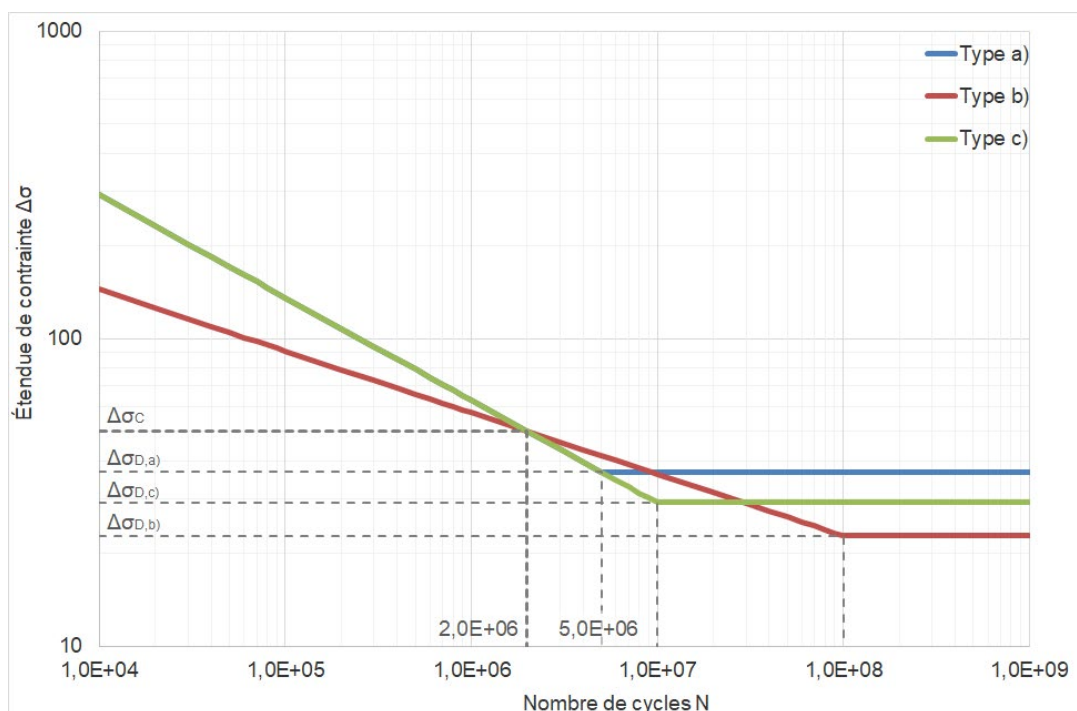


Figure 1 : Courbes de résistance à la fatigue pour les étendues de contrainte constantes

Quel 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 à 2 millions de cycles du détail constructif auquel la courbe s'applique, 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.

Cycles de chargement d'amplitude variable

Dans le cas de cycles de chargement d'amplitude variable, il y a deux possibilités :

1. Les étendues de contrainte de tous les cycles se trouvent au-dessous de la limite de fatigue à amplitude constante $\Delta\sigma_D$: dans ce cas, les courbes valides pour les cycles de chargement d'amplitude constante, présentées à la Figure 1, s'appliquent et les étendues de contrainte sont censées ne provoquer aucun endommagement.
2. Les étendues de contrainte ne se trouvent pas au-dessous de la limite de fatigue à amplitude constante $\Delta\sigma_D$ pour tous les cycles : dans ce cas, les cycles dont les étendues sont au-dessus de $\Delta\sigma_D$ induisent un endommagement et, en conséquence, les étendues de contrainte situées au-dessous $\Delta\sigma_D$ contribuent à son aggravation. De ce fait, le tracé des courbes de résistance à la fatigue est modifié pour pouvoir quantifier la contribution à l'endommagement des cycles d'étendues de contrainte inférieures à cette limite.

Pour cette seconde possibilité, à chacun des trois types de courbe, détaillés ci-dessus, est associé un nouveau « plateau », appelé **limite de troncature** $\Delta\sigma_L$, définie conventionnellement à 100 millions de cycles :

- Type a) : la ligne de base, de pente $m = 3$, est prolongée au-dessous de la limite de fatigue à amplitude constante par une ligne de pente $m = 5$, jusqu'à la limite de troncature,
- Type b) : la courbe ne change pas,
- Type c) : la ligne de base, de pente $m = 3$, est prolongée au-dessous de la limite de fatigue à amplitude constante par une ligne de pente $m = 5$, jusqu'à la limite de troncature.

Aucune étendue de contrainte se situant au-dessous de la limite de troncature n'est censée contribuer à l'endommagement.

Les trois types de courbes pour les étendues de contrainte variables, dans les cas où certaines étendues sont supérieures à $\Delta\sigma_D$, sont représentés à la Figure 2. Il est possible d'observer le changement de pente pour les courbes de Type a) et de Type c) et les limites de troncature pour les trois types.

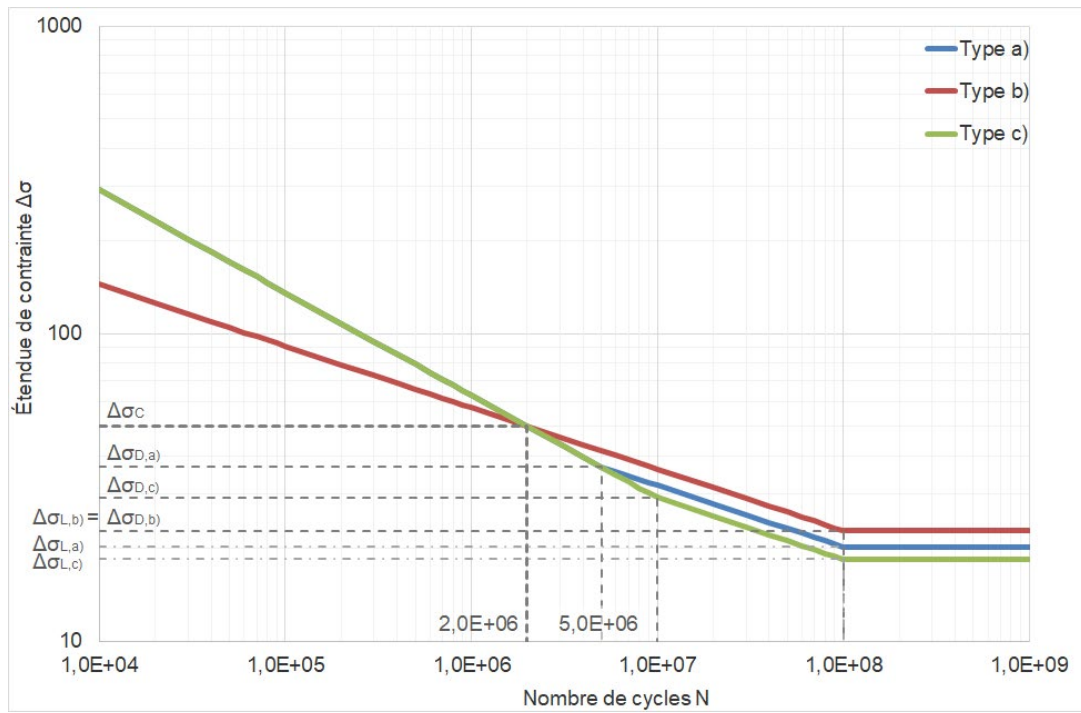


Figure 2 : Courbes de résistance à la fatigue pour les étendues de contrainte variables

Note : il est à remarquer que pour la courbe de Type b), la limite de fatigue à amplitude constante correspond à la limite de tronçature.