Dimensionnement en fatigue

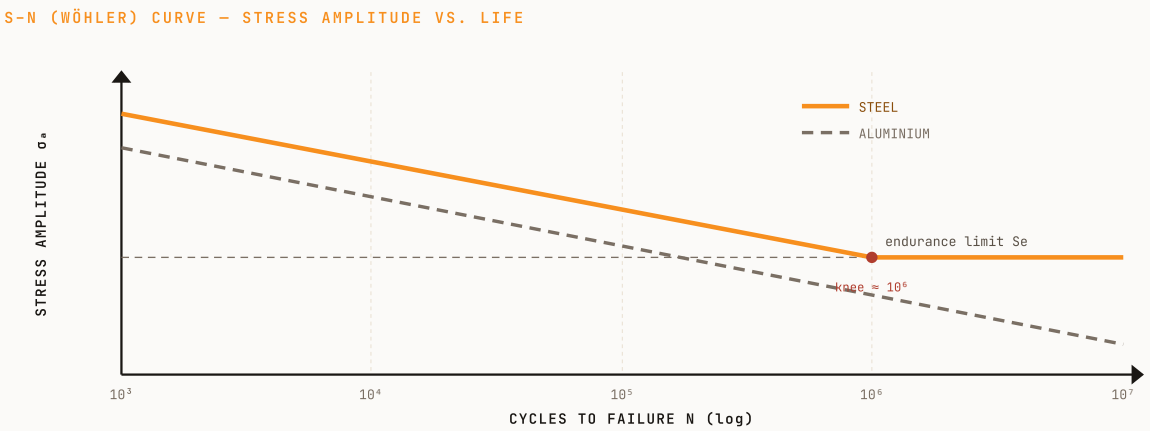
Concevoir contre la rupture sous chargement cyclique — courbe S-N et limite d'endurance, facteurs de Marin qui la réduisent, correction de la contrainte moyenne (Goodman) et entailles où les fissures s'amorcent réellement.

RÉVISION	PUBLICATION	RESPONSABLE	COMPLÉMENT
1.0	June 2026	Ingénierie Ideambox	Référence PDF

RÉSUMÉ

La plupart des pièces mécaniques qui cassent en service cassent par fatigue — fissuration sous contrainte cyclique bien en deçà de la résistance statique. La fatigue est pilotée par l'*amplitude* de contrainte (et par la contrainte moyenne), part des concentrations de contraintes et est extrêmement sensible à l'état de surface. Ce guide présente la démarche de dimensionnement en fatigue à grand nombre de cycles.

La section 1 explique ce qu'est la fatigue. La section 2 traite de la courbe S-N et de la limite d'endurance. La section 3 présente les facteurs de Marin, qui ramènent la limite d'endurance de laboratoire à une valeur réelle. La section 4 traite de la correction de contrainte moyenne (Goodman / Gerber / Soderberg). La section 5 couvre la concentration de contraintes et la sensibilité à l'entaille. La section 6 donne des règles de conception et une liste de contrôle.



LA COURBE S-N. LES ACIERS PRÉSENTENT UNE LIMITE D'ENDURANCE — UNE CONTRAINTE EN DESSOUS DE LAQUELLE ILS TIENNENT INDÉFINIMENT ; L'ALUMINIUM ET LA PLUPART DES ALLIAGES NON FERREUX CONTINUENT DE DÉCROÎTRE ET SONT DONC CARACTÉRISÉS À UN NOMBRE DE CYCLES FINI. ÉTAT DE SURFACE, DIMENSIONS ET ENTAILLES ABAISSENT TOUS LA LIMITE RÉELLE.

SOMMAIRE

1. Qu'est-ce que la fatigue
2. Courbe S-N et limite d'endurance
3. Facteurs correctifs de la limite d'endurance (facteurs de Marin)
4. Correction de la contrainte moyenne
5. Concentration de contraintes et entailles
6. Règles de conception et liste de contrôle

1. Qu'est-ce que la fatigue

Une pièce chargée de façon répétée peut se fissurer et rompre sous une contrainte très inférieure à sa limite d'élasticité. Une fissure s'amorce sur une concentration de contraintes, progresse un peu à chaque cycle, puis la section restante rompt brutalement. Le moteur est la **contrainte alternée**, modulée par la **contrainte moyenne**.

1.1 Termes

`Amplitude de contrainte` σ_a	La moitié de l'étendue de contrainte — (σ_max − σ_min)/2 — principal moteur de la fatigue
`Contrainte moyenne` σ_m	(σ_max + σ_min)/2 — une contrainte moyenne de traction réduit la durée de vie
`Rapport de contrainte R`	σ_min / σ_max (R = −1 alterné symétrique, R = 0 répété)
`Limite d'endurance Se`	Amplitude de contrainte qu'un acier supporte indéfiniment (>10^6–10^7 cycles)
`Courbe S-N`	Amplitude de contrainte en fonction du nombre de cycles à rupture (log-log), issue d'essais de flexion rotative
`Kt / Kf`	Coefficient de concentration de contraintes géométrique / effectif en fatigue au droit d'une entaille

La fatigue à grand nombre de cycles (>10^3 cycles, domaine élastique) se traite par l'approche S-N / limite d'endurance ci-dessous. La fatigue plastique à très faible nombre de cycles relève des méthodes en déformation (hors du champ de ce document).

2. Courbe S-N et limite d'endurance

Le tracé de l'amplitude de contrainte en fonction du nombre de cycles à rupture donne la courbe S-N (courbe de Wöhler) :

- **Les aciers** ont une **limite d'endurance**
  un coude vers 10^6 cycles en dessous duquel la durée de vie est pratiquement infinie. L'estimation de laboratoire est `Se' ≈ 0.5 · Sut` (plafonnée à ~700 MPa pour Sut > ~1400 MPa).

- **L'aluminium et la plupart des alliages non ferreux** n'ont **pas de véritable limite d'endurance**
  la courbe continue de décroître ; ils sont donc caractérisés à une durée finie (p. ex. résistance à la fatigue à 5×10^8 cycles).

- Le domaine d'endurance limitée, entre ~10^3 et 10^6 cycles, est approximativement linéaire en coordonnées logarithmiques ; interpoler dans cette zone pour une durée de vie visée.

`Se'` correspond à une éprouvette de laboratoire polie. La pièce réelle est toujours moins résistante — c'est précisément le rôle des facteurs de Marin.

3. Facteurs correctifs de la limite d'endurance (facteurs de Marin)

Ramener la limite de laboratoire à une valeur de calcul : `Se = ka · kb · kc · kd · ke · Se'`.

FACTEUR	PREND EN COMPTE	VALEUR TYPIQUE
ka — surface	état de surface (les fissures s'amorcent en surface)	rectifié ~0.9, usiné ~0.7–0.8, laminé à chaud ~0.5–0.7, brut de forge ~0.3–0.5
kb — dimension	les grosses sections cèdent plus tôt (flexion/torsion)	~1.0 (d ≤ 8 mm) jusqu'à ~0.75 (grandes sections) ; axial = 1.0
kc — type de charge	flexion, traction-compression ou torsion	flexion 1.0, axial 0.85, torsion 0.59
kd — température	variation de résistance avec la température	~1.0 au voisinage de la température ambiante
ke — fiabilité	dispersion pour un % de survie plus élevé	`50% 1.00, 90% 0.90, 99% 0.81, 99.9% 0.75`

L'état de surface (ka) est généralement, à lui seul, le facteur le plus pénalisant — une surface brute de forge ou corrodée peut diviser par deux la limite d'endurance. C'est pourquoi les pièces critiques en fatigue sont rectifiées, polies ou grenaillées. Le facteur de surface usuel est `ka = a · Sut^b` (a, b selon la finition ; Sut en MPa).

4. Correction de la contrainte moyenne

Une contrainte moyenne de traction réduit l'amplitude admissible. Combiner σ_a et σ_m selon l'un des critères suivants :

CRITÈRE	ÉQUATION	USAGE
Goodman (modifié)	$\sigma_a/Se + \sigma_m/Sut = 1/n$	Par défaut pour les matériaux peu ductiles / une conception prudente
Gerber	$\sigma_a/Se + (\sigma_m/Sut)^2 = 1/n$	Aciers ductiles, moins conservatif (proche des essais)
Soderberg	$\sigma_a/Se + \sigma_m/Sy = 1/n$	Le plus conservatif ; couvre aussi la plastification

Ici, **n** est le coefficient de sécurité en fatigue. Goodman est le choix habituel par défaut. Toujours vérifier aussi la limite élastique statique sous la contrainte maximale ($\sigma_max \leq Sy/n$).

5. Concentration de contraintes et entailles

Les fissures de fatigue s'amorcent sur les **concentrations de contraintes** — congés, trous, rainures de clavette, filetages, épaulements, traces d'outil. Le coefficient géométrique **Kt** multiplie la contrainte nominale ; l'effet *en fatigue* vaut `Kf = 1 + q(Kt - 1)`, où **q** (sensibilité à l'entaille, 0–1) croît avec la résistance du matériau et le rayon d'entaille.

- Appliquer Kf à la contrainte
  alternée
  (et souvent à la contrainte moyenne) dans la vérification de Goodman.

- Un **rayon de congé** généreux est l'amélioration en fatigue la moins coûteuse
  les angles intérieurs vifs sont de véritables usines à fissures.

- **Filetages, rainures de clavette et bords d'ajustements serrés sont des sites d'amorçage classiques**
  les tenir à l'écart des zones les plus sollicitées ou en soigner le détail (filets roulés, gorges de dégagement à rayon).

6. Règles de conception et liste de contrôle

- **Arrondir tous les angles intérieurs**
  maximiser les rayons de congé aux épaulements et aux changements de section.

- **Améliorer la surface** là où la contrainte est élevée
  finition fine, et grenaillage de précontrainte / galetage pour introduire des contraintes résiduelles de compression (ce qui augmente nettement la résistance à la fatigue).

- **Ne pas cumuler les concentrations de contraintes**
  pas de trou dans un congé situé en zone fortement sollicitée.

- **Limiter la contrainte moyenne**
  précharge, compression résiduelle et chargement symétrique y contribuent.

- **Choisir le bon détail pour les soudures**
  les pieds de cordon sont des entailles sévères ; meuler/marteler les pieds de cordon et utiliser des détails d'assemblage classés en fatigue.

- **Liste de contrôle :** déterminer σ_a et σ_m dans la section critique → appliquer Kf → estimer Se = ka·kb·kc·kd·ke·Se′ → appliquer Goodman pour obtenir le n en fatigue → vérifier la limite élastique statique à σ_max → si la marge est faible, agir d'abord sur l'état de surface, les congés et les contraintes résiduelles.

À utiliser avec les outils Ideambox de ressorts et d'assemblages boulonnés, dont les coefficients de sécurité en fatigue reposent exactement sur cette approche de Goodman.

This document is also a web page, kept up to date:
https://ideambox.com/fr/downloads/fatigue-design-primer/

Designing something that needs this? ideambox.com/contact