

ISO

ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION

RECOMMANDATION ISO R 373

PRINCIPES GÉNÉRAUX ~~DE~~ L'ESSAI DE FATIGUE DES MÉTAUX

1^{ère} ÉDITION

Août 1964

REPRODUCTION INTERDITE

Le droit de reproduction des Recommandations ISO et des Normes ISO est la propriété des Comités Membres de l'ISO. En conséquence, dans chaque pays, la reproduction de ces documents ne peut être autorisée que par l'organisation nationale de normalisation de ce pays, membre de l'ISO.

Seules les normes nationales sont valables dans leurs pays respectifs.

Imprimé en Suisse

Ce document est également édité en anglais et en russe. Il peut être obtenu auprès des organisations nationales de normalisation.

HISTORIQUE

La Recommandation ISO/R 373, *Principes généraux de l'essai de fatigue des métaux*, a été élaborée par le Comité Technique ISO/TC 17, *Acier*, dont le Secrétariat est assuré par la British Standards Institution (BSI).

Les travaux relatifs à cette question furent entrepris par le Comité Technique en 1958 et aboutirent en 1961 à l'adoption d'un Projet de Recommandation ISO.

En octobre 1962, ce Projet de Recommandation ISO (N° 516) fut soumis à l'enquête de tous les Comités Membres de l'ISO. Il fut approuvé, sous réserve de quelques modifications d'ordre rédactionnel, par les Comités Membres suivants :

Allemagne	Finlande	Pays-Bas
Australie	France	Pologne
Autriche	Grèce	Portugal
Belgique	Hongrie	Roumanie
Bulgarie	Inde	Royaume-Uni
Birmanie	Irlande	Suède
Canada	Italie	Suisse
Chili	Japon	Tchécoslovaquie
Danemark	Maroc	Turquie
Egypte	Norvège	U.R.S.S.
Espagne	Nouvelle-Zélande	Yougoslavie

Un Comité Membre se déclara opposé à l'approbation du Projet: U.S.A.

Le Projet de Recommandation ISO fut alors soumis par correspondance au Conseil de l'ISO qui décida, en août 1964, de l'accepter comme RECOMMANDATION ISO.

PRINCIPES GÉNÉRAUX DE L'ESSAI DE FATIGUE DES MÉTAUX

1. DOMAINE D'APPLICATION

La présente Recommandation ISO contient principalement des recommandations générales concernant les définitions des termes utilisés, la préparation des éprouvettes d'essai de fatigue, le mode opératoire de cet essai et la présentation des résultats. Ces recommandations sont prévues pour s'appliquer principalement aux essais de fatigue dans lesquels des éprouvettes de formes simples, lisses ou entaillées, sont soumises à des sollicitations de traction-compression (sollicitations axiales), de flexion ou de torsion. Il ne couvre pas, par exemple, le cas de la fatigue sous choc répété, ni celui de la fatigue thermique.

Dans la présente Recommandation ISO, le terme « fatigue » s'applique aux altérations des propriétés des matériaux métalliques soumis à ces sollicitations ou à des déformations qui se répètent; habituellement, toutefois, ce terme s'applique plus particulièrement à celles de ces altérations qui entraînent la fissuration ou la rupture.

2. OBJET

L'objet de l'essai de fatigue est de fournir des données relatives au comportement de matériaux ou d'éléments de construction soumis à des sollicitations ou à des déformations qui se reproduisent dans le temps.

3. DÉFINITIONS ET SYMBOLES

3.1 Généralités. En service, les sollicitations peuvent être des sollicitations de type simple, par exemple, de traction-compression, de flexion ou de torsion, ou résulter d'une combinaison de sollicitations simples. Selon le renseignement cherché, les sollicitations appliquées dans les essais de fatigue peuvent, de même, être d'un des types ci-dessus ou représenter une combinaison de deux ou de plusieurs d'entre eux. Quel que soit le mode de sollicitation, simple ou combiné, les contraintes normales et/ou les contraintes tangentielles (contraintes de cisaillement) développées dans l'éprouvette, varieront en général suivant une fonction approximativement sinusoïdale du temps, comme le montre la Figure 1.

Les dispositions des paragraphes qui suivent sont ainsi applicables quel que soit le mode de sollicitation, bien que, par raison de simplicité, elles se réfèrent en général à des sollicitations de type simple.

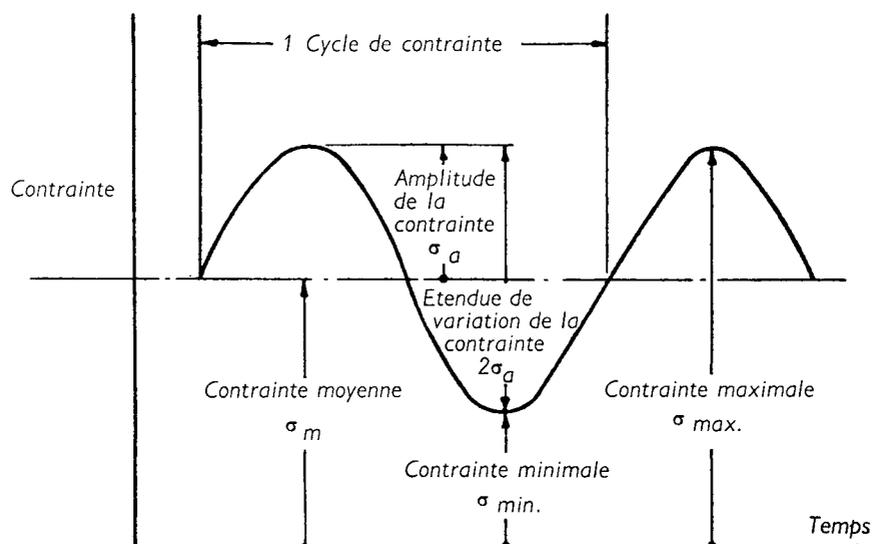


Fig. 1. — Cycle de contrainte de fatigue

NOTE. — Etendue de variation de la contrainte = 2 (amplitude de la contrainte).

3.2 Contrainte. En général, la contrainte sera une contrainte nominale calculée par rapport à la section nette considérée. Elle sera habituellement calculée à l'aide des formules usuelles correspondant au domaine élastique.

Il faut noter qu'en certaines circonstances, les essais peuvent être conduits et les résultats exprimés entièrement en termes de déformation; en particulier, dans les cas où les déformations sortent du domaine élastique, il n'est pas souhaitable de calculer des contraintes à partir de ces déformations.

3.2.1 Cycle de contrainte appliqué. La plus petite partie de la fonction contrainte-temps qui se répète périodiquement (voir Fig. 1) est le *cycle de contrainte*. Toute contrainte variant périodiquement sur une étendue donnée peut être considérée comme résultant de la superposition d'une contrainte alternée, variant entre deux valeurs de signes contraires, mais égales en grandeur, cette grandeur étant l'amplitude de la contrainte, et d'une contrainte statique, qui est la contrainte moyenne. On recommande la notation algébrique de la Figure 2.

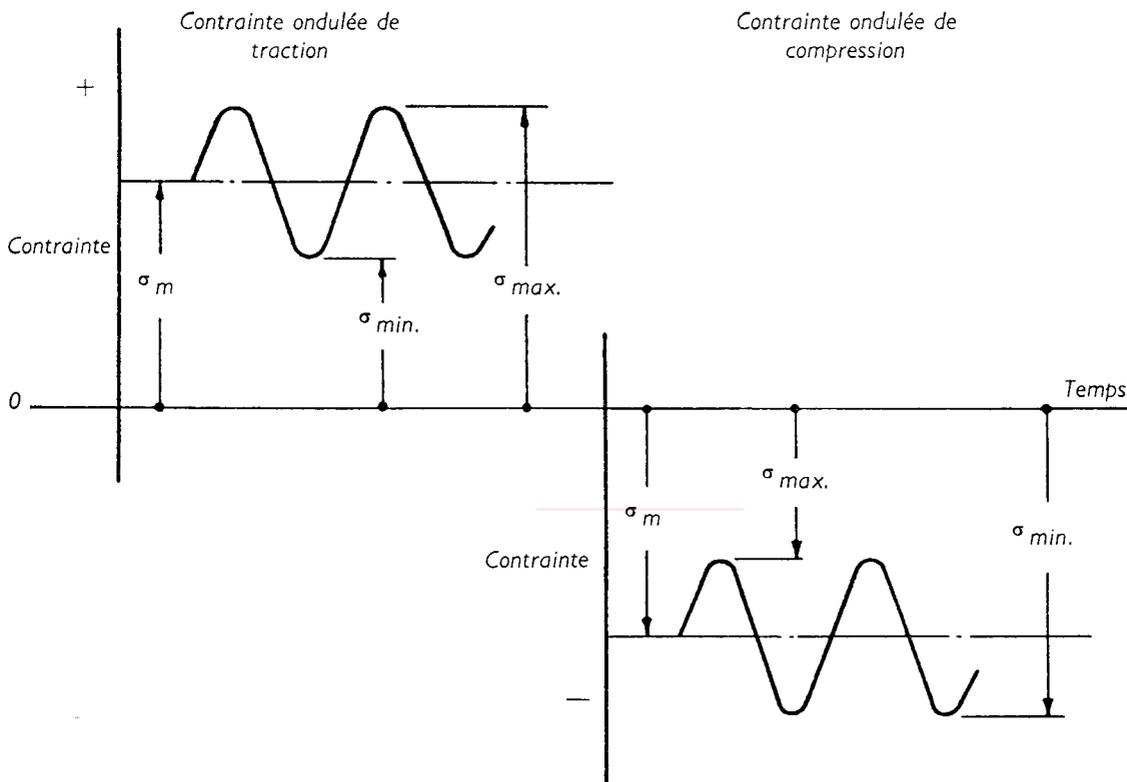


Fig. 2. — Cycle de contrainte avec notation algébrique

3.2.2 Symboles, désignations et définitions

Symboles	Désignations	Définitions
$\sigma_{max.}$	Contrainte maximale	La plus grande valeur algébrique de la contrainte au cours d'un cycle de contrainte; une contrainte de traction (tension) est considérée comme positive et une contrainte de compression (pression), comme négative.
$\sigma_{min.}$	Contrainte minimale	La plus petite valeur algébrique de la contrainte au cours d'un cycle de contrainte; une contrainte de traction (tension) est considérée comme positive et une contrainte de compression (pression), comme négative.
σ_m	Contrainte moyenne	Composante statique de la contrainte: moyenne algébrique des contraintes maximale et minimale.
σ_a	Amplitude de la contrainte	Composante alternée de la contrainte: moitié de la différence algébrique entre la contrainte maximale et la contrainte minimale.
$2\sigma_a$	Etendue de variation de la contrainte	Différence algébrique entre la contrainte maximale et la contrainte minimale dans un cycle de contrainte.

NOTE. — Pour la contrainte de cisaillement, on utilise le symbole τ au lieu du symbole σ .

Symboles	Désignations	Définitions
n	<i>Nombre de cycles</i>	Nombre de cycles appliqués à un moment donné de l'essai.
f	<i>Fréquence des cycles</i>	Nombre de cycles appliqués par unité de temps (cycles par minute ou par seconde).
K_t	<i>Facteur théorique de concentration de contrainte</i>	Facteur de concentration de contrainte géométrique rapporté à la section nette et calculé conformément à la théorie de l'élasticité.
R_s	<i>Rapport de contrainte</i>	Rapport algébrique de la contrainte minimale à la contrainte maximale dans un cycle $\frac{\sigma_{\min.}}{\sigma_{\max.}}$

3.2.3 *Types de cycles de contrainte.* Le cycle de contrainte peut prendre l'une des formes représentées à la Figure 3.

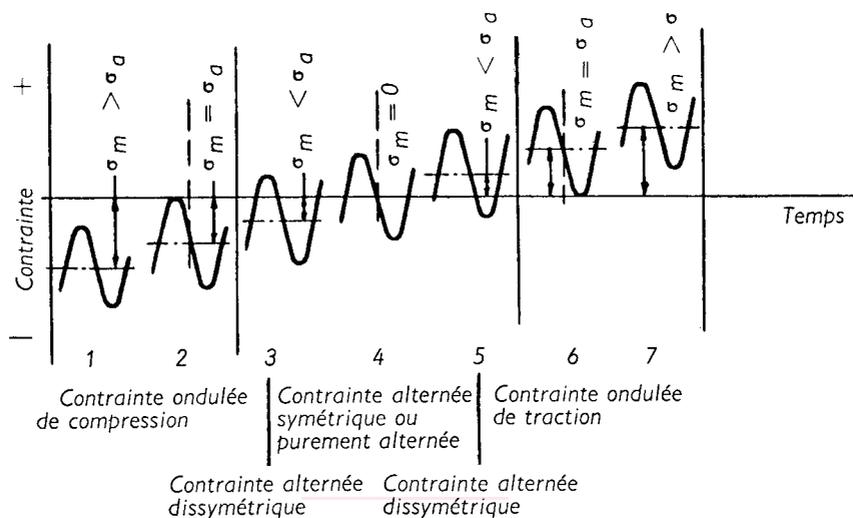


Fig. 3. — Types de cycles de contrainte

3.3 Résistance à la fatigue

3.3.1 Symboles, désignations et définitions

Symboles	Désignations	Définitions
N	<i>Endurance ou longévité à la fatigue</i>	Nombre de cycles nécessaire pour que l'éprouvette périsse, généralement exprimé en fraction décimale ou en multiple de 10^6 .
σ_N	<i>Résistance à la fatigue pour N cycles ou résistance à la fatigue sous endurance limitée</i>	Valeur de la sollicitation pour laquelle l'éprouvette présenterait une longévité (qui peut être déterminée statistiquement) de N cycles.
σ_D	<i>Limite de fatigue</i>	Valeur, qui peut être déterminée statistiquement de la sollicitation au-dessous de laquelle un métal peut supporter un nombre illimité de cycles. Si σ_A est l'amplitude de la contrainte correspondant à la limite de fatigue, on a pour une valeur particulière de la contrainte moyenne σ_m $\sigma_D = \sigma_m \pm \sigma_A$
		NOTE. — Pour certains matériaux et certains milieux, on ne trouve pas de limite de fatigue.

Symboles	Désignations	Définitions
n/N	<i>Rapport de cycles</i>	Rapport du nombre de cycles appliqués (voir par. 3.2.2) à l'endurance; utilisé dans les essais avec paliers de charge, en relation avec la courbe de Woehler.
K_f	<i>Facteur de réduction de la résistance à la fatigue (rapporté à la section nette)</i>	Rapport de la limite de fatigue sur éprouvettes lisses et polies à la limite de fatigue sur éprouvettes présentant un effet d'entaille. Le terme « effet d'entaille » est employé ici au sens large pour désigner non seulement l'effet d'une entaille proprement dite, mais encore, par exemple, celui de la corrosion préalable ou celui qui correspond à l'absence d'usinage. Si ce rapport est calculé à partir de résistances à la fatigue pour N cycles (σ_N), il dépend de N .

4. MODE OPÉRATOIRE ET CRITÈRES DE FIN D'ESSAI

- 4.1 Forme de l'éprouvette.** La forme de l'éprouvette doit tenir compte de toutes les variables envisagées et doit satisfaire aux conditions du programme d'essai.
Pour les essais de matière, l'éprouvette peut avoir une forme simple, mais pour les essais de fatigue sur éléments de construction et sur assemblages, la forme de l'éprouvette doit permettre la représentation aussi parfaite que possible des conditions réelles d'application et de répartition des charges.
- 4.2 Préparation de l'éprouvette.** La plupart des ruptures par fatigue s'amorcent à la surface libre du métal et, en conséquence, la résistance à la fatigue d'une éprouvette, d'une pièce mécanique ou d'un élément de construction peut être profondément influencée par les conditions à la surface. La méthode de préparation d'une série d'éprouvettes pour essais de fatigue doit en tenir compte, suivant le but de ces essais.
Ainsi, lors de la préparation d'éprouvettes sans concentration volontaire de contrainte, la technique d'usinage et de polissage utilisée pour l'exécution de la partie soumise à l'essai doit réduire le plus possible les imperfections de surface, les contraintes résiduelles superficielles et les autres effets, tels que la surchauffe.
Lorsque les éprouvettes en préparation présentent une concentration intentionnelle de contrainte (par exemple, une discontinuité telle qu'une entaille, un changement de section ou un trou), les précautions signalées ci-dessus s'appliquent au procédé d'usinage utilisé pour créer la concentration de contrainte.
- 4.3 Montage de l'éprouvette sur la machine d'essai.** Chaque éprouvette doit être montée sur la machine d'essai de telle manière que le fonctionnement de la machine ne soumette pas l'éprouvette à des contraintes parasites appréciables.
Par exemple, une éprouvette de flexion rotative doit être fixée coaxialement à l'arbre tournant de la machine pour éviter des vibrations; de même, le mauvais alignement d'une éprouvette soumise à une contrainte axiale de traction ou de compression créera une contrainte de flexion parasite.
- 4.4 Application de la charge.** Le processus adopté pour arriver aux conditions de fonctionnement à pleine charge doit être le même pour toutes les éprouvettes d'une même série d'essais; il dépend du type et des conditions de l'essai entrepris. Dans un essai de fatigue par flexion rotative, la vitesse de rotation de l'éprouvette doit, avant qu'aucune charge soit appliquée, être portée jusqu'à une valeur approchant celle choisie pour l'essai. La charge est alors amenée à la valeur choisie, par paliers ou de façon continue, mais sans choc, aussi rapidement qu'il convient. En général, les essais seront alors poursuivis sans interruption jusqu'à ce que l'éprouvette périsse.
Compte tenu du volume de matière sollicitée, la fréquence des cycles doit être choisie de façon à éviter de chauffer exagérément l'éprouvette pendant l'essai. Si, pour quelque raison que ce soit, cela ne peut se faire, il est admis de refroidir l'éprouvette de manière continue par tout procédé approprié qui soit sans influence sur le résultat (par exemple, du fait d'une action corrosive).

4.5 Mode opératoire de l'essai. Le nombre des éprouvettes utilisées pour déterminer les caractéristiques de résistance à la fatigue peut varier dans une large mesure selon la nature de l'information recherchée. Si l'expérience est de nature statistique, le nombre peut être très grand; si, en revanche, chaque « éprouvette » est une pièce mécanique coûteuse, le nombre en sera nécessairement faible. Si le nombre d'éprouvettes est inférieur à 6, il peut être souhaitable d'adopter un mode opératoire spécial.

Dans de nombreux essais de fatigue, on utilise au moins 10 éprouvettes semblables, chacune d'elles étant soumise à une amplitude de contrainte particulière, jusqu'à ce qu'elle périsse (pour les critères de fin d'essai, voir plus loin par. 4.6) ou qu'un nombre de cycles prédéterminé ait été atteint auparavant. Les valeurs des amplitudes de contrainte appliquée aux éprouvettes individuelles doivent être choisies de telle sorte qu'une éprouvette * présente pour l'une de ces valeurs l'endurance prévue et qu'une autre éprouvette périsse pour une valeur très légèrement différente. Les éprouvettes restantes doivent être soumises à des amplitudes de contrainte telles que ces éprouvettes périssent dans un domaine de l'étendue de variation de l'endurance assez large pour que l'on puisse, à partir des données expérimentales, tracer une courbe de variation de l'endurance en fonction de l'amplitude de contrainte. Cette courbe est généralement appelée courbe de Woehler. Le domaine de l'étendue de variation de l'endurance couvert par les essais dépendra de l'information recherchée dans l'essai.

Dans certains cas, l'objet des essais de fatigue peut ne pas être de tracer une courbe de Woehler; par exemple, on peut déterminer une limite de fatigue par une méthode statistique, telle que la méthode « en escalier » (voir chapitre. 7).

4.6 Critère de fin d'essai. Dans la plupart des essais de fatigue, le critère de fin d'essai correspond soit à l'apparition d'une fissure de fatigue visible, soit à une rupture franche.

On doit toutefois noter que, pour des applications particulières, d'autres critères, comme par exemple la déformation plastique de l'éprouvette ou la vitesse de développement de la fissure, peuvent être adoptés pour définir la fin de l'essai.

4.7 Endurance (longévité à la fatigue). Le nombre de cycles, déterminé à l'avance, au bout duquel un essai doit être interrompu, dépendra généralement du métal soumis à l'essai.

Les durances communément utilisées sont, par exemple:

10^7 pour les aciers de construction usuels,

10^8 pour les autres aciers et les métaux non ferreux, ainsi que dans les essais de fatigue sous corrosion ou à haute température.

5. ESSAIS DE FATIGUE SPÉCIAUX

5.1 Milieu ambiant. Des essais de fatigue peuvent être effectués dans d'autres conditions qu'à l'air et à température ordinaire, par exemple, à hautes ou à basses températures, dans le vide ou dans une atmosphère contrôlée. En pareil cas, il est essentiel de s'assurer que l'appareillage auxiliaire ne réagit pas malencontreusement sur le système de chargement.

Un cas spécial de milieu ambiant pour les essais de fatigue est celui où des actions corrosives, chimiques ou électrochimiques, sont susceptibles de s'exercer en même temps que les contraintes cycliques. On dit généralement alors qu'il s'agit d'un essai de fatigue sous corrosion. Dans les essais à température élevée dans l'air, il peut se produire une oxydation continue de la surface de l'éprouvette donnant des conditions analogues à celles de l'essai de fatigue sous corrosion. Dans les essais à température élevée utilisant une contrainte moyenne différente de zéro, un allongement dépendant du temps (fluage) peut apparaître dans l'éprouvette sous l'influence de la contrainte moyenne.

* Des renseignements supplémentaires peuvent être parfois obtenus par emploi d'une éprouvette non rompue pour un nouvel essai à une amplitude de contrainte plus forte. L'amplitude de contrainte de ce second essai doit être nettement plus élevée que celle du premier. Dans l'interprétation du résultat du second essai, les effets possibles du premier ne doivent pas être ignorés.

Un caractère commun à tous ces essais est que la courbe de Woehler continue à décroître (voir Fig. 5, p. 11) même pour un très grand nombre de cycles. Il est donc nécessaire d'indiquer les conditions de contrainte qui correspondent à un nombre de cycles déterminé. Un autre caractère de ces essais est que les résultats obtenus dépendent de la fréquence des cycles de contrainte, puisque le développement de la corrosion ou de l'oxydation et l'allongement de fluage dépendent du temps.

- 5.2 Essais de fatigue sous contraintes combinées.** Des machines spéciales permettent également d'effectuer des essais de fatigue sous contraintes combinées, par exemple, de flexion et de torsion, ou sous pression interne pulsatoire.
- 5.3 Essais sous contraintes de flexion ou de torsion.** Quand elles sont de diamètre différent, les éprouvettes de flexion (rotatives ou planes) ou de torsion peuvent ne pas toujours donner de résultats comparables.
- 5.4 Concentrations de contraintes.** L'étude de l'influence des entailles, congés, trous ou autres formes de discontinuités constitue une autre branche des essais de fatigue spéciaux. Pour obtenir des renseignements sur la sensibilité à l'entaille en fatigue d'un métal ou d'une pièce, on a l'habitude de déterminer les courbes de Woehler pour des éprouvettes avec et sans entailles. Dans le cas où les essais sont faits avec contrainte moyenne nulle, le facteur de réduction de la résistance à la fatigue s'obtient en divisant la résistance à la fatigue des éprouvettes non entaillées par la résistance à la fatigue des éprouvettes entaillées. Dans les recherches avec contrainte moyenne non nulle, les essais sur éprouvettes entaillées et non entaillées se font souvent avec, pour la contrainte moyenne, la même valeur nominale; le facteur de réduction de la résistance à la fatigue est alors calculé à partir des amplitudes de contrainte obtenues dans chaque cas. Le calcul ne tient donc pas compte de la distribution locale de la contrainte moyenne au voisinage de l'entaille. Il n'est pas possible de spécifier la forme exacte des entailles ou des autres discontinuités; celle-ci dépendra avant tout de l'application particulière que l'on a en vue et où il y a fatigue. Les joints soudés constituent des types particuliers de discontinuité, et souvent leurs caractéristiques de résistance à la fatigue sont comparées à celles des matériaux non soudés pour déterminer l'effet des concentrations de contrainte associées avec la forme et la qualité du joint. Les joints rivés et les joints vissés sont comparés de la même manière au métal de base.
- 5.5 Autres essais spéciaux.** On effectue fréquemment bien d'autres types d'essais de fatigue, nécessitant des techniques ou des modes opératoires spéciaux: par exemple, ces essais font intervenir la corrosion de contact, la distribution de fréquence des sollicitations-essais à programme, les phénomènes d'entraînement etc. La plupart des essais effectués sur des éléments de construction appartiennent à cette catégorie.

6. PRÉSENTATION DES RÉSULTATS

- 6.1 Généralités.** Le but de la recherche et l'utilisation prévue par les résultats obtenus conditionnent le choix de la méthode de présentation des résultats la mieux appropriée parmi les nombreuses méthodes existantes, graphiques et autres. Les résultats d'essais de fatigue sont généralement présentés sous forme de graphiques. Les conditions d'essai doivent être définies clairement dans le rapport sur les données de fatigue.
- 6.2 Courbe de Woehler.** La méthode la plus usitée de présentation graphique des résultats consiste à porter en abscisse les valeurs de l'endurance (voir par. 4.6, Critère de fin d'essai) et en ordonnée les valeurs de l'amplitude de la contrainte ou, selon le type de cycle de contrainte, celles de toute autre contrainte. Une échelle logarithmique est utilisée pour le nombre de cycles, tandis que, pour les contraintes, l'expérimentateur a le choix entre l'échelle linéaire et l'échelle logarithmique. Une courbe de Woehler peut être tracée pour chaque série d'essais sous une même contrainte moyenne, ou, comme il est quelquefois commode, une courbe peut être tracée pour chaque valeur d'une fonction simple de la contrainte moyenne et de la contrainte alternée. Les Figures 4 à 7, pages 11 et 12, montrent des exemples de ces représentations graphiques.

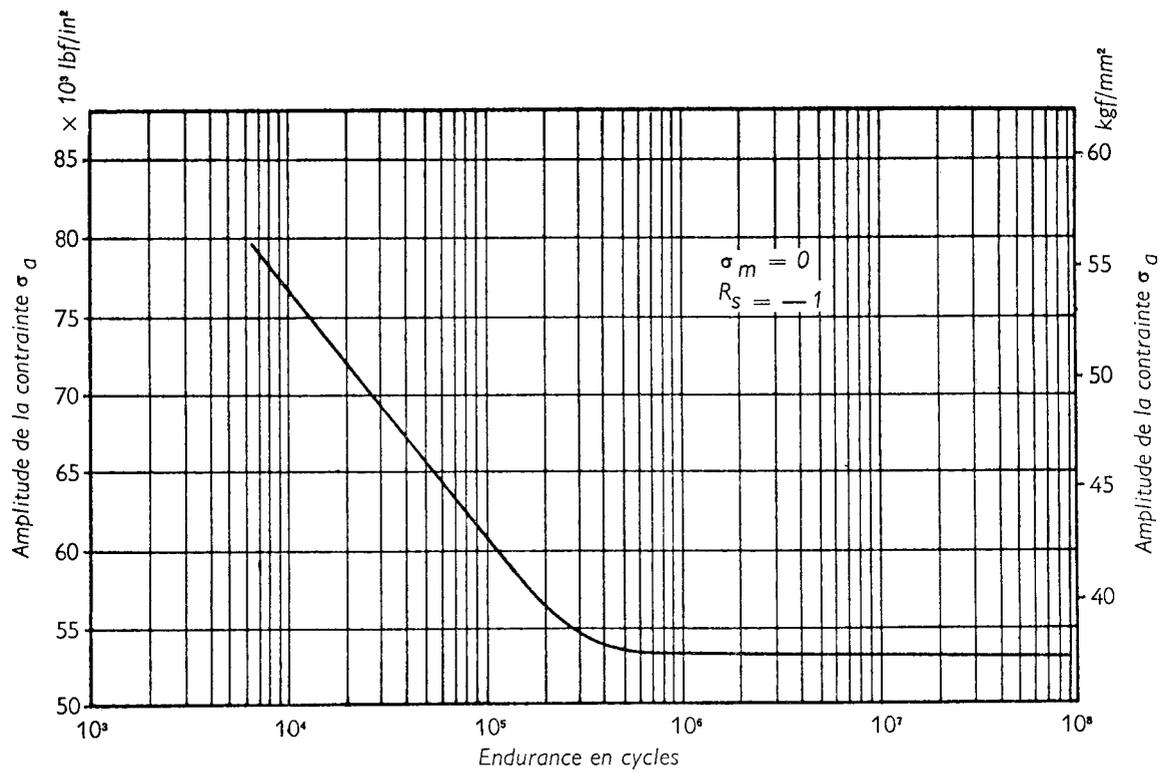


Fig. 4. — Courbe S/N (échelle linéaire de la contrainte)

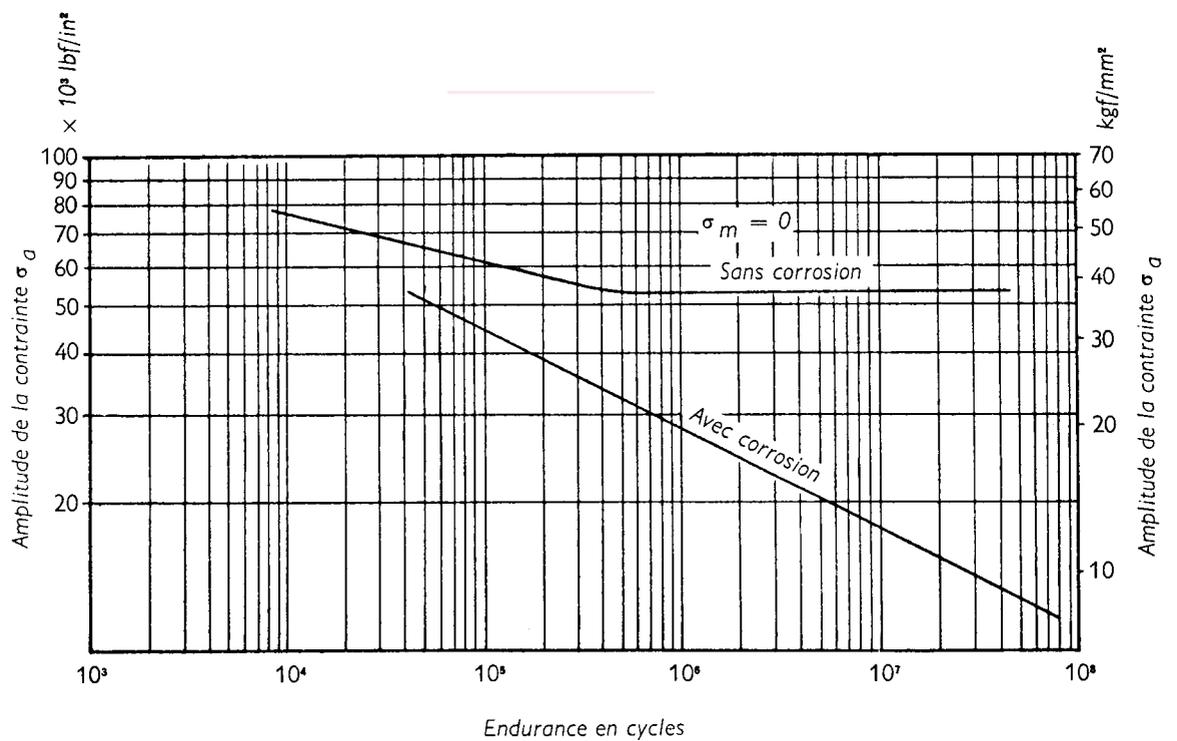


Fig. 5. — Courbe S/N (échelle logarithmique de la contrainte)