

---

---

**Matériaux métalliques — Essais de  
fatigue — Programmation et analyse  
statistique de données**

*Metallic materials — Fatigue testing — Statistical planning and analysis  
of data*

**iTeh STANDARD PREVIEW**  
**(standards.iteh.ai)**

[ISO 12107:2003](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/eabb7e01-272b-4089-8d3a-aec3ad221c9c/iso-12107-2003)

[https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/eabb7e01-272b-4089-8d3a-  
aec3ad221c9c/iso-12107-2003](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/eabb7e01-272b-4089-8d3a-aec3ad221c9c/iso-12107-2003)



**PDF – Exonération de responsabilité**

Le présent fichier PDF peut contenir des polices de caractères intégrées. Conformément aux conditions de licence d'Adobe, ce fichier peut être imprimé ou visualisé, mais ne doit pas être modifié à moins que l'ordinateur employé à cet effet ne bénéficie d'une licence autorisant l'utilisation de ces polices et que celles-ci y soient installées. Lors du téléchargement de ce fichier, les parties concernées acceptent de fait la responsabilité de ne pas enfreindre les conditions de licence d'Adobe. Le Secrétariat central de l'ISO décline toute responsabilité en la matière.

Adobe est une marque déposée d'Adobe Systems Incorporated.

Les détails relatifs aux produits logiciels utilisés pour la création du présent fichier PDF sont disponibles dans la rubrique General Info du fichier; les paramètres de création PDF ont été optimisés pour l'impression. Toutes les mesures ont été prises pour garantir l'exploitation de ce fichier par les comités membres de l'ISO. Dans le cas peu probable où surviendrait un problème d'utilisation, veuillez en informer le Secrétariat central à l'adresse donnée ci-dessous.

**iTeh STANDARD PREVIEW**  
**(standards.iteh.ai)**

[ISO 12107:2003](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/eabb7e01-272b-4089-8d3a-aec3ad221c9c/iso-12107-2003)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/eabb7e01-272b-4089-8d3a-aec3ad221c9c/iso-12107-2003>

© ISO 2003

Droits de reproduction réservés. Sauf prescription différente, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'ISO à l'adresse ci-après ou du comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office  
Case postale 56 • CH-1211 Geneva 20  
Tel. + 41 22 749 01 11  
Fax. + 41 22 749 09 47  
E-mail [copyright@iso.org](mailto:copyright@iso.org)  
Web [www.iso.org](http://www.iso.org)

Publié en Suisse

## Sommaire

Page

Avant-propos .....	iv
Introduction .....	v
<b>1</b> <b>Domaine d'application</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1</b> <b>Objectifs</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2</b> <b>Caractéristiques de fatigue à analyser</b> .....	<b>1</b>
<b>1.3</b> <b>Limite d'application</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b> <b>Références normatives</b> .....	<b>2</b>
<b>3</b> <b>Termes et définitions</b> .....	<b>2</b>
<b>3.1</b> <b>Termes se rapportant aux statistiques</b> .....	<b>2</b>
<b>3.2</b> <b>Termes se rapportant à la fatigue</b> .....	<b>3</b>
<b>4</b> <b>Distributions statistiques des caractéristiques de fatigue</b> .....	<b>3</b>
<b>4.1</b> <b>Principe des distributions de fatigue</b> .....	<b>3</b>
<b>4.2</b> <b>Distribution de la durée de vie en fatigue</b> .....	<b>4</b>
<b>4.3</b> <b>Distribution de la résistance à la fatigue</b> .....	<b>4</b>
<b>5</b> <b>Programmation statistique des essais de fatigue</b> .....	<b>6</b>
<b>5.1</b> <b>Échantillonnage des éprouvettes</b> .....	<b>6</b>
<b>5.2</b> <b>Nombre d'éprouvettes à soumettre à l'essai</b> .....	<b>6</b>
<b>5.3</b> <b>Attribution des éprouvettes pour les essais</b> .....	<b>7</b>
<b>6</b> <b>Estimation statistique de la durée de vie en fatigue pour une contrainte donnée</b> .....	<b>7</b>
<b>6.1</b> <b>Essai de fatigue pour obtenir des données de durée de vie</b> .....	<b>7</b>
<b>6.2</b> <b>Tracé des données sur un papier de probabilité</b> .....	<b>8</b>
<b>6.3</b> <b>Estimation des paramètres de distribution</b> .....	<b>8</b>
<b>6.4</b> <b>Estimation de la limite inférieure de la durée de vie en fatigue</b> .....	<b>10</b>
<b>7</b> <b>Estimation statistique de la résistance à la fatigue pour une durée de vie donnée</b> .....	<b>10</b>
<b>7.1</b> <b>Essai de fatigue pour obtenir des données de résistance à la fatigue</b> .....	<b>10</b>
<b>7.2</b> <b>Analyse statistique des données d'essai</b> .....	<b>11</b>
<b>7.3</b> <b>Estimation de la limite inférieure de résistance à la fatigue</b> .....	<b>11</b>
<b>7.4</b> <b>Méthode modifiée quand l'écart-type est connu</b> .....	<b>11</b>
<b>8</b> <b>Estimation statistique de la courbe <math>S-N</math></b> .....	<b>12</b>
<b>8.1</b> <b>Essai de fatigue pour obtenir des données <math>S-N</math></b> .....	<b>12</b>
<b>8.2</b> <b>Analyse statistique de données <math>S-N</math></b> .....	<b>13</b>
<b>8.3</b> <b>Estimation de la limite inférieure de la courbe <math>S-N</math></b> .....	<b>14</b>
<b>8.4</b> <b>Vérification de l'adéquation du modèle linéaire</b> .....	<b>14</b>
<b>9</b> <b>Rapport d'essai</b> .....	<b>15</b>
<b>9.1</b> <b>Présentation des résultats d'essai</b> .....	<b>15</b>
<b>9.2</b> <b>Informations connexes</b> .....	<b>15</b>
<b>Annexe A</b> (informative) <b>Exemples d'applications</b> .....	<b>17</b>
<b>Annexe B</b> (informative) <b>Tableaux de statistiques</b> .....	<b>23</b>
<b>Annexe C</b> (informative) <b>Méthode combinée pour l'estimation statistique d'une courbe <math>S-N</math> complète</b> .....	<b>25</b>
<b>Bibliographie</b> .....	<b>27</b>

## Avant-propos

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (comités membres de l'ISO). L'élaboration des Normes internationales est en général confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique créé à cet effet. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO participent également aux travaux. L'ISO collabore étroitement avec la Commission électrotechnique internationale (CEI) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les Normes internationales sont rédigées conformément aux règles données dans les Directives ISO/CEI, Partie 2.

La tâche principale des comités techniques est d'élaborer les Normes internationales. Les projets de Normes internationales adoptés par les comités techniques sont soumis aux comités membres pour vote. Leur publication comme Normes internationales requiert l'approbation de 75 % au moins des comités membres votants.

L'attention est appelée sur le fait que certains des éléments du présent document peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. L'ISO ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et averti de leur existence.

L'ISO 12107 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 164, *Essais mécaniques des métaux*, sous-comité SC 5, *Essais de fatigue*.

**iTeh STANDARD PREVIEW**  
**(standards.iteh.ai)**  
ISO 12107:2003  
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/eabb7e01-272b-4089-8d3a-aec3ad221c9c/iso-12107-2003>

## Introduction

Il est reconnu que les résultats des essais de fatigue varient de manière significative, même lorsque les essais sont contrôlés avec une très grande précision. Ces variations peuvent être attribuées pour en partie à la non-uniformité des éprouvettes. Parmi les exemples de non-uniformité, on peut citer les légères différences dans la composition chimique, le traitement thermique, le fini de surface, etc. Pour le reste, ces variations sont liées au processus stochastique de la rupture par fatigue proprement dite, qui est intrinsèque aux matériaux métalliques.

Une quantification adéquate de cette variation inhérente est nécessaire pour évaluer la caractéristique de fatigue d'un matériau en vue de la conception de machines et de structures. Il est également nécessaire, pour les laboratoires d'essai de comparer les comportements en fatigue des matériaux, y compris cette variation. L'exécution de ces tâches nécessite l'utilisation de méthodes statistiques. Ces tâches comprennent la planification et le mode opératoire des expérimentations pour élaborer les données relatives à la fatigue ainsi que l'analyse des résultats.

## iTeh STANDARD PREVIEW (standards.iteh.ai)

[ISO 12107:2003](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/eabb7e01-272b-4089-8d3a-aec3ad221c9c/iso-12107-2003)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/eabb7e01-272b-4089-8d3a-aec3ad221c9c/iso-12107-2003>

**iTeh STANDARD PREVIEW**  
**(standards.iteh.ai)**

ISO 12107:2003

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/eabb7e01-272b-4089-8d3a-aec3ad221c9c/iso-12107-2003>

# Matériaux métalliques — Essais de fatigue — Programmation et analyse statistique de données

## 1 Domaine d'application

### 1.1 Objectifs

La présente Norme internationale présente des méthodes pour établir le plan d'expérience et pour effectuer l'analyse statistique des données résultantes. Le but est de déterminer les caractéristiques de fatigue de matériaux métalliques avec un niveau de confiance élevé et en utilisant un nombre pratique d'éprouvettes.

### 1.2 Caractéristiques de fatigue à analyser

La présente Norme internationale fournit la méthode pour analyser les caractéristiques de durée de vie en fatigue à divers niveaux de contrainte, en utilisant une relation permettant de faire une approximation linéaire de la réponse des matériaux dans un système de coordonnées approprié.

Cette méthode porte spécifiquement sur

a) la durée de vie en fatigue pour une contrainte donnée, et

b) la résistance à la fatigue pour une durée de vie donnée.

Le terme «contrainte» dans la présente Norme internationale peut être remplacé par «déformation», car les méthodes décrites sont également valables pour l'analyse des propriétés de durée de vie en fonction de la déformation. La résistance à la fatigue, en cas d'essais de déformation contrôlée, est considérée en termes de déformation, comme elle est habituellement considérée en termes de contrainte, dans les essais avec contrainte contrôlée.

### 1.3 Limite d'application

La présente Norme internationale est limitée à l'analyse des données relatives à la fatigue pour des matériaux présentant un comportement homogène en raison du simple mécanisme de rupture par fatigue. Cela se rapporte aux caractéristiques statistiques des résultats d'essai qui sont étroitement liées au comportement des matériaux dans les conditions d'essai.

En fait, les éprouvettes d'un matériau donné, testées dans des conditions différentes, peuvent révéler des variations dans les mécanismes de rupture. Pour les cas ordinaires, la caractéristique statistique des données résultantes représente un mécanisme de rupture et peut ainsi permettre une analyse directe. Inversement, il existe des situations où le comportement statistique n'est pas homogène. Il est nécessaire, de modéliser tous les cas de ce type par au moins deux répartitions individuelles.

Un exemple d'un tel comportement est souvent observé lorsque la rupture est amorcée à partir d'un site interne ou d'un site en surface, pour un même niveau de contrainte. Dans ces conditions, les données doivent avoir des caractéristiques statistiques combinées, correspondant aux différents mécanismes de rupture. Ces types de résultats ne sont pas considérés dans la présente Norme internationale, car leur étude exige un niveau d'analyse bien plus complexe.

## 2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

ISO 3534 (toutes les parties), *Statistiques — Vocabulaire et symboles*

## 3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans l'ISO 3534 ainsi que les suivants s'appliquent.

### 3.1 Termes se rapportant aux statistiques

#### 3.1.1

##### niveau de confiance

valeur  $1 - \alpha$  de la probabilité associée à un intervalle de tolérance statistique

#### 3.1.2

##### degré de liberté

nombre calculé en soustrayant du nombre total de données d'essai, le nombre de paramètres estimés à partir des données

#### 3.1.3

##### fonction de distribution

fonction donnant, pour chaque valeur  $x$ , la probabilité que la variable aléatoire  $X$  soit inférieure ou égale à  $x$

#### 3.1.4

##### estimation

opération effectuée dans le but d'attribuer, à partir des valeurs observées dans un échantillon, des valeurs numériques aux paramètres d'une distribution d'où l'échantillon est prélevé

#### 3.1.5

##### population

totalité des matériaux ou articles individuels soumis à l'étude

#### 3.1.6

##### variable aléatoire

variable qui peut prendre n'importe quelle valeur d'un ensemble spécifié de valeurs

#### 3.1.7

##### échantillon

un ou plusieurs éléments pris dans une population et destiné(s) à fournir des informations sur la population

#### 3.1.8

##### taille

$n$

nombre d'éléments, dans une population, un lot, un échantillon, etc.

#### 3.1.9

##### écart-type

$\sigma$

racine carrée positive du carré moyen de l'écart à la moyenne arithmétique

iTeh STANDARD PREVIEW  
(standards.iteh.ai)

ISO 12107:2003

[https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/eabb7e01-272b-4089-8d3a-](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/eabb7e01-272b-4089-8d3a-acc3ad221c9c/iso-12107-2003)

[acc3ad221c9c/iso-12107-2003](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/eabb7e01-272b-4089-8d3a-acc3ad221c9c/iso-12107-2003)



## 3.2 Termes se rapportant à la fatigue

### 3.2.1

#### durée de vie en fatigue

$N$

nombre de cycles de contrainte appliqués à une éprouvette, sous un niveau de contrainte indiqué, avant qu'elle atteigne un critère de rupture défini pour l'essai

### 3.2.2

#### limite de fatigue

résistance à la fatigue pour une durée de vie illimitée

### 3.2.3

#### résistance à la fatigue

valeur du niveau de contrainte,  $S$ , exprimée en mégapascals, auquel une éprouvette devrait rompre au bout d'une durée de vie indiquée

### 3.2.4

#### éprouvette

portion ou partie de matériau à utiliser pour une détermination d'essai unique et normalement préparée dans une forme et des dimensions prédéterminées

### 3.2.5

#### niveau de contrainte

$S$

intensité des contraintes, exprimée en mégapascals, dans les conditions de contrôle lors de l'essai

EXEMPLE

Amplitude, maximum, étendue

### 3.2.6

#### échelon de contrainte

$d$

différence entre des niveaux de contrainte voisins, exprimés en mégapascals, pour effectuer l'essai conformément à la méthode de l'escalier

## 4 Distributions statistiques des caractéristiques de fatigue

### 4.1 Principe des distributions de fatigue

Les caractéristiques de fatigue des matériaux métalliques utilisés en mécanique sont déterminées en testant un ensemble d'éprouvettes sous divers niveaux de contrainte pour établir une relation de la durée de vie en fonction de la contrainte. Les résultats sont habituellement exprimés par la courbe  $S-N$  qui s'ajuste aux données expérimentales tracées dans un système de coordonnées approprié. Il s'agit généralement de tracés log-log ou semi-logarithmiques, sachant que les valeurs de durée de vie sont toujours portées en abscisses sur l'échelle logarithmique.

On observe habituellement une dispersion significative des résultats des essais de fatigue, même lorsque les essais sont réalisés avec soin pour minimiser l'erreur expérimentale. Cette dispersion des résultats s'explique non seulement par le manque d'homogénéité des éprouvettes pour ce qui est de fatigue tel que l'amorçage et la propagation de petites fissures, dans les environnements d'essai.

La disparité des données relatives à la fatigue est exprimée de deux manières: la distribution de durée de vie sous une contrainte donnée et la distribution de la résistance à la fatigue pour une durée de vie donnée (voir [1] à [5]).

## 4.2 Distribution de la durée de vie en fatigue

La durée de vie en fatigue,  $N$ , sous une contrainte d'essai donnée,  $S$ , est considérée comme une variable aléatoire. Elle est exprimée par la distribution normale du logarithme de la durée de vie en fatigue. Cette relation est:

$$P(x) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{x - \mu_x}{\sigma_x} \right)^2 \right] dx \quad (1)$$

où  $x = \log N$  et  $\mu_x$  et  $\sigma_x$  sont respectivement la moyenne et l'écart-type de  $x$ .

L'Équation (1) donne la probabilité cumulée de rupture pour  $x$ . Il s'agit de la proportion de la population dont la rupture intervient à des durées de vie inférieures ou égales à  $x$ .

L'Équation (1) ne se rapporte pas à la probabilité de rupture pour des éprouvettes à la limite de fatigue ou au voisinage de celle-ci. Dans cette région, il est possible qu'il y ait rupture pour certaines éprouvettes, mais pas pour d'autres. La forme de la distribution est souvent asymétrique, affichant même une plus grande dispersion du côté des durées de vie les plus élevées. Il est également possible qu'elle soit tronquée pour représenter la durée de vie à la rupture la plus longue observée dans l'ensemble de données.

La présente Norme internationale ne traite pas de situations dans lesquelles il existe une possibilité de rupture de certaines éprouvettes et pas pour d'autres.

Il est également possible d'utiliser d'autres distributions statistiques pour exprimer les variations de la durée de vie en fatigue. La distribution de Weibull<sup>[4]</sup> constitue un des modèles statistiques souvent utilisés pour représenter des distributions asymétriques. (standards.iteh.ai)

La Figure 1 illustre un exemple de données d'essai de fatigue obtenues à partir d'un plan d'expérience fondé sur une méthode statistique et utilisant un grand nombre d'éprouvettes (voir [5]). La forme des distributions de durée de vie en fatigue est fournie à titre explicatif.

## 4.3 Distribution de la résistance à la fatigue

La résistance à la fatigue pour une durée de vie indiquée,  $N$ , est considérée comme une variable aléatoire. Elle est exprimée par la distribution normale:

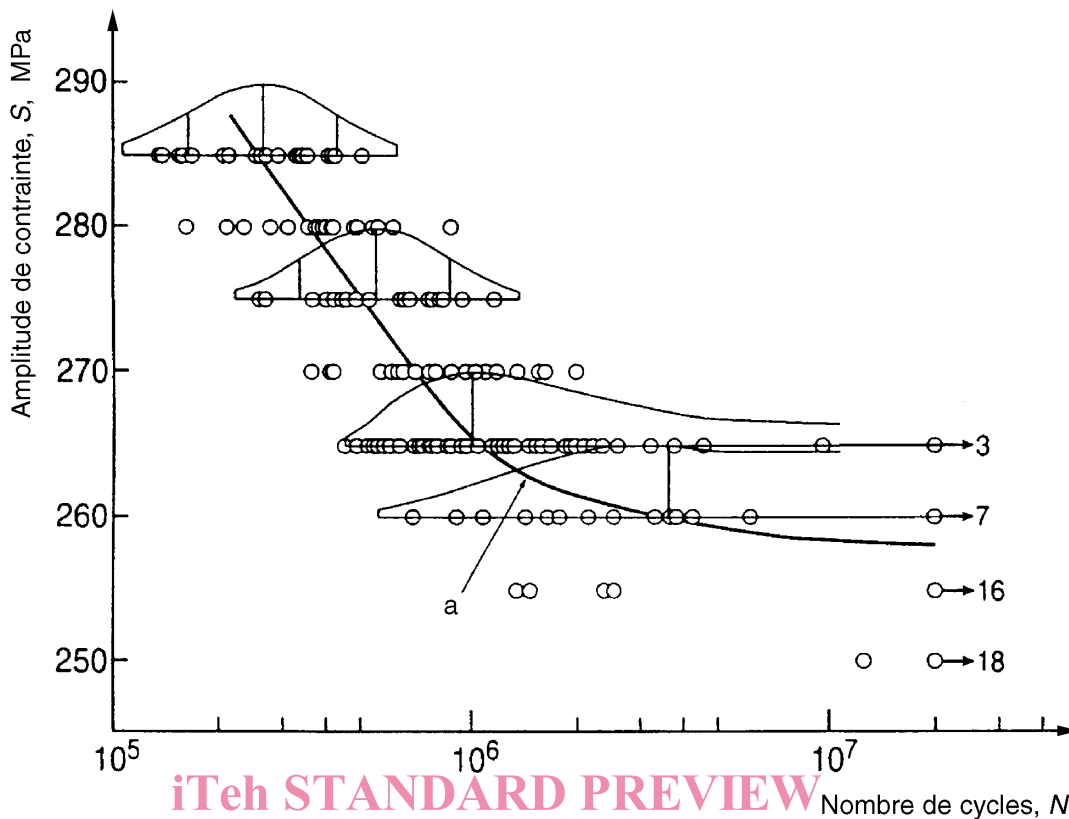
$$P(y) = \frac{1}{\sigma_y \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^y \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{y - \mu_y}{\sigma_y} \right)^2 \right] dy \quad (2)$$

où  $y = S$  indique la résistance à la fatigue à  $N$ , et  $\mu_y$  et  $\sigma_y$  sont respectivement la moyenne et l'écart-type de  $y$ .

L'Équation (2) donne la probabilité cumulée de rupture pour  $y$ . Elle définit la proportion de population présentant des résistances à la fatigue inférieures ou égales à  $y$ .

Il est également possible d'utiliser d'autres distributions statistiques pour exprimer des variations de la résistance à la fatigue. Lorsqu'on suppose une relation linéaire entre la contrainte et la durée de vie en fatigue dans un système de coordonnées log-log, on suppose que la distribution de  $y = \log S$  est normale pour autant qu'on suppose que  $x = \log N$  est normale.

La Figure 2 illustre les mêmes données expérimentales que celles illustrées à la Figure 1. La variation des caractéristiques à la fatigue est exprimée ici en fonction de la résistance pour des durées de vie en fatigue types (voir [5]).

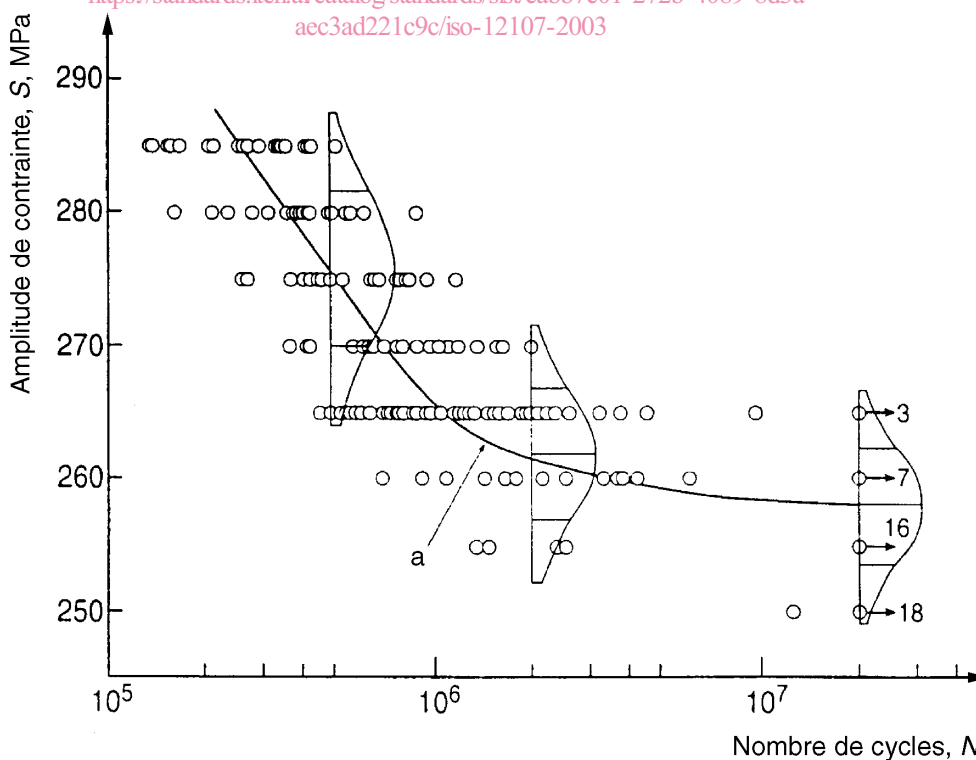


a courbe médiane

iTeh STANDARD PREVIEW  
(standards.iteh.ai)

Figure 1 — Concept de variation pour la caractéristique de fatigue — Distribution de la durée de vie sous des contraintes données pour un acier à 0,25 % de carbone testé en flexion rotative

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/eabb7e01-272b-4089-8d3a-aec3ad221c9c/iso-12107-2003>



a courbe médiane

Figure 2 — Concept de variation pour la caractéristique de fatigue — Distribution de la résistance à la fatigue à des durées de vie typiques pour un acier à 0,25 % de carbone testé en flexion rotative

## 5 Programmation statistique des essais de fatigue

### 5.1 Échantillonnage des éprouvettes

Il est nécessaire de définir clairement la population de matériaux pour laquelle on veut estimer la distribution statistique de la caractéristique de fatigue. Il faut que l'échantillonnage des éprouvettes à partir de cette population soit aléatoire. Il est aussi important de choisir les éprouvettes de façon à représenter précisément la population qu'elles veulent décrire.

Si la population consiste en plusieurs lots de matériaux, il faut prélever les éprouvettes d'essai de façon aléatoire à partir de chaque groupe en nombre proportionnel à la taille de chaque lot. Le nombre total d'éprouvettes prélevées doit être égal à la taille requise de l'échantillon,  $n$ .

Si la population présente une quelconque nature sérielle, par exemple les caractéristiques sont liées au calendrier lors de la fabrication, il faut diviser la population en groupes reliés à l'époque. Il faut prélever de façon aléatoire des échantillons dans chaque groupe en nombre proportionnel à la taille du groupe.

Les éprouvettes prélevées dans un groupe ou lot de matériau présentent une variabilité spécifique à ce lot. Il est possible que cette variation intralot soit du même ordre d'importance que la variation interlot. Quand l'importance relative est connue par l'expérience sur les variations de nature différente, l'échantillonnage doit être effectué en considérant les facteurs influents qu'on veut décrire.

La mesure de la dureté est recommandée pour certains matériaux, si possible, pour diviser la population de matériaux en groupes distincts pour l'échantillonnage. Les groupes auront des tailles les plus égales possibles. Les éprouvettes peuvent être extraites de façon aléatoire en nombre égal de chaque groupe pour constituer un échantillon d'essai de taille  $n$ . Cette procédure génère des échantillons représentant uniformément la population sur la base de la dureté.

### 5.2 Nombre d'éprouvettes à soumettre à l'essai

La fiabilité des résultats des essais dépend essentiellement du nombre d'éprouvettes testées. Elle augmente avec le nombre d'essais,  $n$ .

Pour une variable aléatoire,  $x$ , prenant des valeurs toujours inférieures ou égales à  $x_{(P)}$  avec une probabilité,  $P$ , dans une population, on définit  $x_1$  comme la valeur minimale observée dans un ensemble d'échantillons  $n$  extraits de la population. La probabilité que  $x_1 \geq x_{(P)}$ , est inférieure ou égale à  $\alpha$ , c'est-à-dire  $(1 - P)^n$ . Donc, on peut s'attendre à ce que  $x_{(P)}$  soit plus grand que  $x_1$ , avec une probabilité d'au-moins  $1 - \alpha$ , c'est-à-dire d'au moins  $1 - (1 - P)^n$ . Cela donne:

$$n = \frac{\ln \alpha}{\ln (1 - P)} \quad (3)$$

Dans le cas d'essais de durée de vie en fatigue, l'Équation (3) indique à un niveau de confiance de  $1 - \alpha$  qu'on peut s'attendre à ce que la durée de vie réelle à la probabilité de rupture,  $P$ , de la population soit plus grande que la durée de vie minimale observée sur les  $n$  éprouvettes.

Le même principe peut s'appliquer au cas des données  $S-N$  car les écarts des données individuelles log durée de vie à la courbe  $S-N$  moyenne sont considérés comme aléatoirement distribués. De plus, la variance est supposée constante pour les différentes contraintes car la courbe  $S-N$  modèle est lissée par la méthode ordinaire des moindres carrés dans beaucoup de cas.

Le Tableau 1 donne quelques chiffres typiques du nombre d'éprouvettes. Les nombres dans la colonne de niveau de confiance de 95 % sont utilisés pour les besoins de conception basée sur la fiabilité, ceux à 50 % de niveau de confiance pour des essais exploratoires et les autres pour des applications techniques générales.