
Céramiques techniques — Analyse statistique de Weibull des données de résistance à la rupture

*Fine ceramics (advanced ceramics, advanced technical ceramics) —
Weibull statistics for strength data*

iTeh Standards
(<https://standards.iteh.ai>)
Document Preview

[ISO 20501:2019](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/0327eef8-38d8-4e32-9eb1-80ff0d215b19/iso-20501-2019)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/0327eef8-38d8-4e32-9eb1-80ff0d215b19/iso-20501-2019>



iTeh Standards
(<https://standards.iteh.ai>)
Document Preview

[ISO 20501:2019](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/0327eef8-38d8-4e32-9eb1-80ff0d215b19/iso-20501-2019)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/0327eef8-38d8-4e32-9eb1-80ff0d215b19/iso-20501-2019>



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2019

Tous droits réservés. Sauf prescription différente ou nécessité dans le contexte de sa mise en œuvre, 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, ou la diffusion sur l'internet ou sur un intranet, sans autorisation écrite préalable. Une autorisation peut être demandée à l'ISO à l'adresse ci-après ou au comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office
Case postale 401 • Ch. de Blandonnet 8
CH-1214 Vernier, Genève
Tél.: +41 22 749 01 11
Fax: +41 22 749 09 47
E-mail: copyright@iso.org
Web: www.iso.org

Publié en Suisse

Sommaire

Page

Avant-propos.....	iv
Introduction.....	v
1 Domaine d'application	1
2 Références normatives	1
3 Termes et définitions	1
3.1 Populations de défauts.....	1
3.2 Essais mécaniques.....	3
3.3 Termes statistiques.....	3
3.4 Distributions de Weibull.....	4
4 Symboles	6
5 Signification et utilisation	7
6 Méthode A: estimateurs des paramètres statistiques pour les populations uniques de défauts: maximum de vraisemblance	8
6.1 Généralités.....	8
6.2 Données censurées.....	8
6.3 Fonctions de vraisemblance.....	8
6.4 Correction du biais.....	9
6.5 Intervalle de confiance.....	10
7 Méthode B: estimateurs des paramètres statistiques pour les populations de défauts concurrentes: maximum de vraisemblance	14
7.1 Généralités.....	14
7.2 Données censurées.....	15
7.3 Fonctions de vraisemblance.....	15
8 Mode opératoire	16
8.1 Observations aberrantes.....	16
8.2 Fractographie.....	16
8.3 Représentation graphique.....	17
9 Rapport d'essai	19
Annexe A (informative) Conversion à des paramètres spécifiques du matériau, de la distribution de résistances à la rupture	21
Annexe B (informative) Exemples	24
Annexe C (informative) Éprouvettes avec origine de rupture non identifiée	31
Annexe D (informative) Programme en Fortran	34
Bibliographie	40

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 (IEC) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les procédures utilisées pour élaborer le présent document et celles destinées à sa mise à jour sont décrites dans les Directives ISO/IEC, Partie 1. Il convient, en particulier de prendre note des différents critères d'approbation requis pour les différents types de documents ISO. Le présent document a été rédigé conformément aux règles de rédaction données dans les Directives ISO/IEC, Partie 2 (voir www.iso.org/directives).

L'attention est attirée 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. Les détails concernant les références aux droits de propriété intellectuelle ou autres droits analogues identifiés lors de l'élaboration du document sont indiqués dans l'Introduction et/ou dans la liste des déclarations de brevets reçues par l'ISO (voir www.iso.org/brevets).

Les appellations commerciales éventuellement mentionnées dans le présent document sont données pour information, par souci de commodité, à l'intention des utilisateurs et ne sauraient constituer un engagement.

Pour une explication de la nature volontaire des normes, la signification des termes et expressions spécifiques de l'ISO liés à l'évaluation de la conformité, ou pour toute information au sujet de l'adhésion de l'ISO aux principes de l'Organisation mondiale du commerce (OMC) concernant les obstacles techniques au commerce (OTC), voir le lien suivant: www.iso.org/iso/fr/avant-propos.

Le présent document a été élaboré par le comité technique ISO/TC 206, *Céramiques techniques*.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition (ISO 20501:2003), qui a fait l'objet d'une révision technique. Elle comprend également le Rectificatif technique ISO 20501:2003/Cor.1:2009.

Les principales modifications par rapport à l'édition précédente sont les suivantes:

- mise à jour et modification des termes et définitions de l'[Article 3](#);
- introduction d'une méthode pour traiter un plus grand nombre d'échantillons ($N > 120$) pour la méthode A: estimateurs des paramètres statistiques pour les populations uniques de défauts: maximum de vraisemblance;
- dans l'[Annexe D](#), ajout de codes d'exemple pour le calcul des paramètres du maximum de vraisemblance de la distribution de Weibull avec un logiciel d'analyse moderne.

Il convient que l'utilisateur adresse tout retour d'information ou toute question concernant le présent document à l'organisme national de normalisation de son pays. Une liste exhaustive desdits organismes se trouve à l'adresse www.iso.org/fr/members.html.

Introduction

La résistance à la rupture est déterminée pour l'une de ces deux raisons: soit pour la comparaison de la qualité relative de deux matériaux en termes de résistance à la rupture, soit pour le calcul de la probabilité de rupture d'une structure. Le présent document permet l'estimation des paramètres statistiques de la distribution des résistances à la rupture qui sont nécessaires aux deux. De plus, le présent document encourage l'intégration de données de propriétés mécaniques et d'une analyse fractographique.

iTeh Standards
(<https://standards.iteh.ai>)
Document Preview

[ISO 20501:2019](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/0327eef8-38d8-4e32-9eb1-80ff0d215b19/iso-20501-2019)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/0327eef8-38d8-4e32-9eb1-80ff0d215b19/iso-20501-2019>

Céramiques techniques — Analyse statistique de Weibull des données de résistance à la rupture

1 Domaine d'application

Le présent document traite de l'analyse statistique des données de résistance uniaxiale à la rupture et de l'estimation des paramètres de leur distribution statistique pour les céramiques techniques qui rompent de manière fragile. La résistance à la rupture des céramiques techniques est traitée comme une variable aléatoire continue. En général, plusieurs éprouvettes de géométrie bien définie sont rompues dans des conditions de chargement isothermes bien définies. La charge à laquelle se rompt chaque éprouvette est enregistrée. Les paramètres associés à la distribution statistique des contraintes de rupture correspondantes sont déterminés.

Le présent document est limité à l'hypothèse que la distribution des résistances à la rupture est la distribution de Weibull à deux paramètres avec correction d'échelle. En outre, le présent document est limité aux éprouvettes (résistance à la traction, à la flexion, anneau sous pression, etc.) qui sont principalement soumises à des états de contrainte uniaxiaux. Les paragraphes 6.4 et 6.5 présentent des méthodes pour corriger les biais dans les paramètres de Weibull estimés, et pour calculer les limites de confiance de ces estimations à partir de séries de données où toutes les ruptures proviennent d'une population de défauts unique (c'est-à-dire un seul mode de rupture). Dans les échantillons où les ruptures proviennent de plusieurs populations de défauts indépendantes (par exemple, modes de rupture concurrents), les méthodes présentées en 6.4 et en 6.5 pour la correction du biais et les limites de confiance ne sont pas applicables.

2 Références normatives

Le présent document ne contient aucune référence normative.

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/0327cef8-38d8-4e32-9eb1-80ff0d215b19/iso-20501-2019>

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <https://www.iso.org/obp>
- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>

NOTE Voir également la Référence [1].

3.1 Populations de défauts

3.1.1 défaut

hétérogénéité, discontinuité ou élément dans un matériau, qui agit comme un concentrateur de contraintes sous une charge mécanique et qui cause donc un certain risque de rupture mécanique

Note 1 à l'article: Le défaut devient critique s'il agit comme origine de la rupture dans une éprouvette.

3.1.2

données censurées

mesures de la résistance à la rupture (c'est-à-dire un échantillon) correspondant à des observations de rupture suspendues telles que celles produites en présence de plusieurs populations de défauts concurrentes

Note 1 à l'article: Un échantillon pour lequel la fractographie a clairement établi l'existence de trois distributions de défauts concurrentes est considéré (mais cette discussion est applicable à tout échantillon, quel qu'en soit le nombre de distributions de défauts concurrentes). Les trois distributions de défauts concurrentes sont ici nommées A, B et C. Sur la base des analyses fractographiques, la résistance de chaque éprouvette est affectée à une distribution de défauts qui ont amorcé la rupture. Lors de l'estimation des paramètres qui caractérisent la distribution des résistances associée à la distribution de défauts A, toutes les éprouvettes (et pas seulement celles dont la rupture est due à des défauts de type A) doivent être prises en compte dans l'analyse pour assurer l'efficacité et l'exactitude des estimations des paramètres statistiques. La résistance à la rupture d'une éprouvette dont la rupture est due à un défaut de type B (ou de type C) est traitée comme une observation *censurée à droite* par rapport à la distribution de défauts A. Une rupture due à un défaut de type B (ou de type C) limite, ou censure, les informations concernant les défauts de type A dans une éprouvette en suspendant l'essai avant qu'une rupture se produise en raison d'un défaut de type A.^[2] La résistance du défaut de type A le plus sévère dans les éprouvettes dont la rupture est due à des défauts de type B (ou de type C) est supérieure à (et donc à *droite* de) la résistance observée. Cependant, aucune information n'est fournie en ce qui concerne l'amplitude de cette différence. Les techniques d'analyse des données censurées introduites dans le présent document utilisent ces informations incomplètes pour fournir des estimations efficaces et relativement peu biaisées des paramètres statistiques de la distribution.

3.1.3

modes de rupture concurrents

types distinctement différents d'origines de rupture qui résultent de distributions de défauts concurrentes

3.1.4

distribution de défauts composée

toute forme de distribution multiple de défauts qui n'est ni purement concurrente, ni purement exclusive

Note 1 à l'article: Par exemple, chaque éprouvette contient la distribution de défauts A, alors qu'une partie des éprouvettes contient une seconde distribution de défauts B indépendante.

3.1.5

distribution de défauts concurrente

type de distribution multiple de défauts dans un matériau homogène où chaque éprouvette de ce matériau contient des défauts appartenant à chaque population de défauts indépendante

Note 1 à l'article: Au sein d'une éprouvette donnée, toutes les populations de défauts sont alors présentes simultanément et se concurrencent pour provoquer la rupture.

3.1.6

distribution de défauts exclusive

distribution de défauts mélangés

type de distribution multiple de défauts créé en mélangeant et en répartissant au hasard des éprouvettes de deux versions ou plus d'un matériau dont chaque version contient une population de défauts unique différente

Note 1 à l'article: Ainsi, chaque éprouvette contient des défauts exclusivement d'une distribution unique, mais l'ensemble des données reflète plusieurs types de défauts contrôlant la résistance à la rupture.

3.1.7

défaut extrinsèque

défaut contrôlant la résistance à la rupture observé dans une partie des éprouvettes qui ne peut pas être présent dans le composant en cours de conception

Note 1 à l'article: Par exemple, les défauts d'usinage dans les éprouvettes d'essai en flexion polies qui ne seront pas présents dans les composants frittés du même matériau.

3.2 Essais mécaniques

3.2.1

longueur de jauge effective

la portion de la géométrie de l'éprouvette comprise dans les limites d'intégration (volume, surface ou longueur d'arête) de la fonction de distribution de Weibull

Note 1 à l'article: Dans les éprouvettes de traction, l'intégration de la fonction peut être limitée à la longueur de jauge soumise à une contrainte uniforme, ou elle peut s'étendre pour inclure les régions de transition et d'épaulement.

3.2.2

fractographie

analyse et caractérisation des faciès à la surface de rupture d'une éprouvette

Note 1 à l'article: La fractographie peut être utilisée pour déterminer la nature et l'emplacement de l'origine critique de la rupture provoquant la rupture catastrophique d'une éprouvette ou d'un composant en céramique technique.

3.3 Termes statistiques

3.3.1

intervalle de confiance

intervalle au sein duquel il est attendu de trouver le paramètre vrai de la population

Note 1 à l'article: Les intervalles de confiance dépendent fonctionnellement du type d'estimateur utilisé et de la taille de l'échantillon. Le niveau de l'attente est associé à un niveau de confiance donné. Lorsque des limites de confiance sont comparées à l'estimation du paramètre, il est possible de quantifier l'incertitude associée à l'estimation d'un point de la population de paramètres.

3.3.2

niveau de confiance

probabilité que le paramètre vrai de la population se trouve dans un intervalle de confiance spécifié

3.3.3

estimateur

fonction permettant de calculer une estimation d'une quantité donnée sur la base de données observées

Note 1 à l'article: La valeur résultante pour un échantillon donné peut être une estimation d'un paramètre de la distribution (un point d'estimation) associée à la population sous-jacente, par exemple, la moyenne arithmétique d'un échantillon est un estimateur de la moyenne de la distribution.

3.3.4

population

ensemble de données ou d'éléments étudiés

3.3.5

fonction densité de probabilité

fdp

fonction $f(x)$ pour la variable aléatoire continue X si

$$f(x) \geq 0 \quad (1)$$

et

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx = 1 \quad (2)$$

Note 1 à l'article: La probabilité que la variable aléatoire X prenne une valeur comprise entre a et b est donnée par:

$$Pr(a < X < b) = \int_a^b f(x) dx \quad (3)$$

3.3.6

fonction de distribution cumulée

fonction $F(x)$ décrivant la probabilité qu'une variable aléatoire continue X prenne une valeur inférieure ou égale à un nombre x

Note 1 à l'article: La fonction de distribution cumulée (fdc) est donc liée à la fonction densité de probabilité $f(x)$ par:

$$F(x) = Pr(-\infty < X < x) = \int_{-\infty}^x f(x') dx' \quad (4)$$

Intégrer la [Formule \(4\)](#) par rapport à x indique que la fdp est simplement la dérivée de la fdc:

$$f(x) = \frac{dF(x)}{dx} \quad (5)$$

Note 2 à l'article: Conformément à [3.3.5](#), $F(x)$ est une fonction monotone croissante sur la plage comprise entre 0 et 1.

3.3.7

estimateur de classement

fonction qui estime la probabilité de rupture correspondant à une mesure particulière de résistance à la rupture dans un échantillon dont les valeurs sont ordonnées

3.3.8

échantillon

ensemble de mesures ou d'observations prises dans une population donnée

3.3.9

biais statistique

type de décalage numérique cohérent dans une estimation relative à la valeur sous-jacente vraie, inhérent à la plupart des estimations

3.3.10

estimateur non biaisé

estimateur dont le biais statistique a été corrigé

3.4 Distributions de Weibull

3.4.1

distribution de Weibull

fonction de distribution continue qui peut être utilisée pour décrire les données empiriques des mesurages lorsque la variable aléatoire continue x a une distribution de Weibull à deux paramètres si la fonction densité de probabilité est donnée par:

$$f(x) = \left(\frac{m}{\beta}\right) \left(\frac{x}{\beta}\right)^{m-1} \exp\left[-\left(\frac{x}{\beta}\right)^m\right] \text{ lorsque } x \geq 0 \quad (6)$$

ou

$$f(x) = 0 \text{ lorsque } x < 0 \quad (7)$$

et la fonction de distribution cumulée est donnée par:

$$F(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x}{\beta}\right)^m\right] \text{ lorsque } x \geq 0 \quad (8)$$

ou

$$F(x) = 0 \text{ lorsque } x < 0 \quad (9)$$

où

m est le module de Weibull (ou le paramètre de forme) (>0);

β est le facteur d'échelle de Weibull (>0).

Note 1 à l'article: La variable aléatoire représentant la résistance à la traction uniaxiale d'une céramique technique ne prend que des valeurs positives. Si la variable aléatoire représentant la résistance à la traction uniaxiale d'une céramique technique est caractérisée par les [Formules \(6\) à \(9\)](#), alors la probabilité que cette céramique technique rompe sous une contrainte de traction uniaxiale appliquée σ est donnée par la fonction de distribution cumulée:

$$P_f = 1 - \exp\left[-\left(\frac{\sigma}{\sigma_\theta}\right)^m\right] \text{ lorsque } \sigma \geq 0 \quad (10)$$

$$P_f = 0 \text{ lorsque } \sigma < 0 \quad (11)$$

où

P_f est la probabilité de rupture;

σ_θ est la résistance caractéristique de Weibull.

Note 2 à l'article: La résistance caractéristique de Weibull dépend de l'éprouvette uniaxiale (résistance à la traction, à la flexion, anneau sous pression) et changera avec la géométrie de l'éprouvette. De plus, la résistance caractéristique de Weibull a les mêmes unités que les contraintes et doit être définie à l'aide des unités SI: Pa, ou selon le besoin MPa ou GPa.

Note 3 à l'article: Une autre expression pour la probabilité de rupture est donnée par:

$$P_f = 1 - \exp\left[-\frac{1}{V_0} \int_V \left(\frac{\sigma}{\sigma_0}\right)^m dV\right] \text{ lorsque } \sigma > 0 \quad (12)$$

$$P_f = 0 \text{ lorsque } \sigma \leq 0 \quad (13)$$

L'intégration dans l'exponentielle est effectuée sur toutes les régions soumises à la traction du volume de l'éprouvette (V) si les défauts définissant la résistance sont distribués aléatoirement dans tout le volume du matériau, ou sur toutes les régions soumises à la traction de la surface de l'éprouvette si les défauts sont situés seulement à la surface de l'éprouvette. L'intégration est parfois effectuée sur une longueur de jauge effective plutôt que sur le volume ou la surface totaux. Dans la [Formule \(12\)](#), σ_0 est le facteur d'échelle du matériau de Weibull et peut être décrit comme la résistance caractéristique de Weibull d'une éprouvette avec un volume ou une surface unitaire sous un chargement en traction uniaxiale uniforme. Pour une géométrie d'éprouvette donnée, les [Formules \(10\) et \(12\)](#) peuvent être combinées pour donner une expression liant σ_0 et σ_θ (cela signifie: $\sigma_\theta V_0^{1/m} = \sigma_0$). L'[Annexe A](#) traite plus en détail de ce sujet.

4 Symboles

A	aire de l'éprouvette
b	dimension de la longueur de jauge, largeur de l'éprouvette d'essai en flexion
d	dimension de la longueur de jauge, hauteur de l'éprouvette d'essai en flexion
$f(x)$	fonction densité de probabilité
$F(x)$	fonction de distribution cumulée
L	fonction de vraisemblance
L_i	distance des points de charge pour une éprouvette d'essai en flexion
L_o	distance des points d'appui pour une éprouvette d'essai en flexion
m	module de Weibull
\hat{m}	estimation du module de Weibull
\hat{m}_U	estimation sans biais du module de Weibull
N	nombre d'éprouvettes dans un échantillon
P_f	probabilité de rupture
q	quantité intermédiaire définie en 6.5.1, utilisée dans le calcul des limites de confiance
r	nombre d'éprouvettes dont la rupture est due à la population de défauts pour laquelle les estimateurs de Weibull sont calculés
t	quantité intermédiaire définie par la Formule (22) , utilisée dans le calcul des limites de confiance
FCB	facteur de correction du biais
V	volume d'éprouvette en tension
V_0	volume unité
V_{eff}	volume effectif
x	réalisation d'une variable aléatoire X
X	variable aléatoire
β	facteur d'échelle de Weibull
σ	contrainte de traction uniaxiale
$\hat{\sigma}$	estimation de la résistance moyenne
σ_j	contrainte maximale dans la j^{e} éprouvette au moment de la rupture
σ_0	facteur d'échelle du matériau de Weibull (résistance relative à la taille unité) défini dans la Formule (12)