
**Essais non destructifs — Méthode
normalisée de détermination des
contraintes résiduelles par diffraction
de neutrons**

*Non-destructive testing — Standard test method for determining
residual stresses by neutron diffraction*

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

[ISO 21432:2019](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/b3b92ba3-7d0e-47df-8191-d061edd66ed1/iso-21432-2019)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/b3b92ba3-7d0e-47df-8191-d061edd66ed1/iso-21432-2019>



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

[ISO 21432:2019](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/b3b92ba3-7d0e-47df-8191-d061edd66ed1/iso-21432-2019)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/b3b92ba3-7d0e-47df-8191-d061edd66ed1/iso-21432-2019>



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	v
Introduction	vii
1 Domaine d'application	1
2 Références normatives	1
3 Termes et définitions	1
4 Symboles et abréviations	6
4.1 Symboles et unités.....	6
4.2 Indices.....	7
4.3 Abréviations.....	7
5 Résumé de la méthode	7
5.1 Généralités.....	7
5.2 Présentation du principe — loi de Bragg.....	8
5.3 Sources de neutrons.....	8
5.4 Détermination de la déformation.....	8
5.4.1 Généralités.....	8
5.4.2 Appareil monochromatique.....	8
5.4.3 Appareil à temps de vol (TDV).....	9
5.5 Diffractomètres de neutrons.....	9
5.6 Détermination de la contrainte.....	10
6 Objectif, géométrie et matériau	14
6.1 Généralités.....	14
6.2 Objectif de la mesure.....	14
6.3 Géométrie.....	14
6.4 Composition.....	14
6.5 Historique thermique/mécanique.....	15
6.6 Phases et structures cristallines.....	15
6.7 Homogénéité.....	15
6.8 Microstructure.....	15
6.9 Texture.....	15
7 Préparations pour les mesures	15
7.1 Généralités.....	15
7.2 Alignement et étalonnage de l'appareil.....	15
7.3 Sélection des conditions de diffraction.....	16
7.3.1 Appareils monochromatiques.....	16
7.3.2 Appareils à temps de vol (TDV).....	18
7.4 Modes opératoires de positionnement.....	19
7.5 Volumes d'évaluation.....	19
7.6 Méthodes pour l'obtention de la distance interréticulaire de référence ou libre de contraintes macroscopiques.....	20
8 Exigences de mesure et d'enregistrement	23
8.1 Généralités.....	23
8.2 Exigences d'enregistrement.....	23
8.2.1 Généralités.....	23
8.2.2 Informations générales — appareil.....	23
8.2.3 Informations générales — échantillon.....	24
8.2.4 Informations spécifiques requises pour chaque mesure de diffraction.....	24
8.3 Coordonnées de l'échantillon.....	25
8.4 Positionnement de l'échantillon.....	25
8.5 Directions de mesure.....	25
8.6 Nombre et position des points de mesure.....	25
8.7 Volume d'évaluation.....	25

8.8	Facteurs à considérer pour le centroïde du volume d'évaluation.....	25
8.9	Température.....	26
9	Calcul de la contrainte	26
9.1	Généralités.....	26
9.2	Détermination des contraintes normales.....	26
9.3	Détermination de l'état de contrainte.....	27
9.3.1	Généralités.....	27
9.3.2	Méthode des $\sin^2\psi$	27
9.4	Sélection des constantes d'élasticité.....	28
9.5	Analyse des données de diffraction.....	28
9.5.1	Généralités.....	28
9.5.2	Fonction d'ajustement du pic.....	28
9.5.3	Fonction d'ajustement du bruit de fond.....	29
9.5.4	Rapport entre le pic et le bruit de fond.....	29
9.5.5	Profils de pic déformés.....	29
10	Fiabilité	30
11	Rapport	31
11.1	Généralités.....	31
11.2	Valeurs des déformations ou des contraintes.....	31
11.2.1	Généralités.....	31
11.2.2	Distance interréticulaire de référence ou libre de contraintes.....	31
11.2.3	Conversion de la déformation en contrainte.....	31
11.2.4	Constantes d'élasticité.....	31
11.2.5	Positionnement.....	31
11.3	Source de neutrons et appareil de diffraction des neutrons.....	31
11.4	Modes opératoires de mesure généraux.....	32
11.5	Propriétés des échantillons/du matériau.....	32
11.6	Données d'origine.....	32
11.7	Incertitudes et erreurs.....	32
Annexe A	(informative) Méthodologies de mesure et d'analyse	33
Annexe B	(informative) Détermination des incertitudes dans un mesurande	43
Bibliographie	46

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 www.iso.org/avant-propos.

Le présent document a été élaboré par le comité technique ISO/TC 135, *Essais non destructifs*, sous-comité SC 5, *Contrôle par radiographie*. <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/b3b92ba3-7d0e-47df-8191-d061ed66ed1/iso-21432-2019>

Cette première édition annule et remplace l'ISO/TS 21432:2005, qui a fait l'objet d'une révision technique. Elle incorpore également le Corrigendum technique ISO/TS 21432:2005/Cor 1:2008. Par ailleurs, le présent document remplace l'ISO/TTA3:2001.

Les principales modifications apportées par rapport à l'ISO/TS 21432 sont les suivantes:

- les [Figures 1](#) et [5](#) ont été remplacées par des versions mises à jour et plus adaptées. Les légendes de plusieurs figures ont été mis à jour afin de mieux refléter et d'expliquer le contenu des figures;
- le paragraphe [5.4](#) a été réorganisé afin de souligner la distinction entre les appareils monochromatiques et les appareils à temps de vol;
- les [Articles 6](#) et [7](#) ont été inversés. Le nouvel ordre reflète mieux l'ordre réel des étapes requises pour la préparation d'une mesure;
- le paragraphe [7.6](#) a été mis à jour pour fournir des détails supplémentaires sur la détermination de la valeur de référence libre de contraintes;
- l'[Article 10](#) a été légèrement modifié et les références aux Guides ISO/IEC pertinents pour la détermination de l'incertitude ont été mises à jour;
- le paragraphe [11.7](#) a été ajouté afin d'inclure les incertitudes et les erreurs dans les rapports;
- le paragraphe [A.5.4](#) a été révisé et amendé pour fournir plus d'informations sur les effets de la taille des grains et les possibilités de les atténuer;

ISO 21432:2019(F)

- le paragraphe [A.9](#) a été ajouté pour expliquer le calcul des contraintes dans le cas d'un matériau macroscopiquement anisotrope;
- la Bibliographie a été mise à jour en intégrant plusieurs nouvelles références;
- tout au long du document, des révisions mineures du texte ont été effectuées afin de corriger les petites erreurs et d'améliorer la clarté du propos.

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.

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

[ISO 21432:2019](#)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/b3b92ba3-7d0e-47df-8191-d061edd66ed1/iso-21432-2019>

Introduction

La diffraction de neutrons est une méthode non destructive pouvant être utilisée pour déterminer les contraintes résiduelles dans les matériaux cristallins. Elle peut également être utilisée pour évaluer les contraintes internes dans les échantillons soumis à des contraintes appliquées. Le mode opératoire peut être mis en œuvre pour déterminer les contraintes à l'intérieur des matériaux et à proximité des surfaces. Il nécessite d'amener les échantillons ou les composants techniques à une source de neutrons. Les déformations élastiques sont obtenues à partir de mesures qui sont à leur tour converties en contraintes. L'objet du présent document est de fournir une Norme internationale pour déterminer de manière fiable les contraintes en rapport avec les applications industrielles.

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

[ISO 21432:2019](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/b3b92ba3-7d0e-47df-8191-d061edd66ed1/iso-21432-2019)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/b3b92ba3-7d0e-47df-8191-d061edd66ed1/iso-21432-2019>

Essais non destructifs — Méthode normalisée de détermination des contraintes résiduelles par diffraction de neutrons

AVERTISSEMENT — Le présent document n'a pas pour but de traiter des problèmes de sécurité qui sont, le cas échéant, liés à son utilisation. Il incombe à l'utilisateur du présent document de mettre en place des pratiques appropriées en matière d'hygiène et de sécurité, et de s'assurer de la conformité à la réglementation nationale en vigueur.

1 Domaine d'application

Le présent document décrit la méthode d'essai permettant de déterminer les contraintes résiduelles dans les matériaux polycristallins par diffraction de neutrons. Il s'applique aux matériaux homogènes et non homogènes, y compris ceux contenant des phases distinctes.

Les principes de la technique de diffraction de neutrons sont exposés. Des suggestions sont fournies sur :

- la sélection de plans réticulaires de diffraction appropriés sur lesquels il convient d'effectuer des mesures pour différentes catégories de matériaux;
- les directions de l'échantillon dans lesquelles il convient d'effectuer les mesures; et
- le volume de matériau examiné en fonction de la taille du grain et de l'état de contrainte visé.

Des modes opératoires sont décrits concernant le positionnement et l'alignement corrects des pièces d'essai dans un faisceau de neutrons, ainsi que la définition précise du volume de matériau échantillonné pour les mesures ponctuelles.

Les précautions à prendre lors de l'étalonnage des appareils de diffraction de neutrons sont décrites. Des techniques d'obtention de références libres de contraintes sont présentées.

Les méthodes de réalisation de mesures ponctuelles par diffraction de neutrons sont décrites en détail. Des modes opératoires d'analyse des résultats et de détermination de leur pertinence statistique sont présentés. Des conseils sont fournis pour déterminer des estimations fiables des contraintes résiduelles à partir des données de déformation, et estimer l'incertitude des résultats.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences 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).

EN 13925-3:2015, *Essais non destructifs — Diffraction des rayons X appliquée aux matériaux polycristallins et amorphes — Partie 3: Appareillage*

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/>

3.1 absorption de neutrons

capture de neutrons par un noyau atomique

Note 1 à l'article: Un tableau des sections efficaces de capture nucléaire figure dans la référence [1].

3.2 alignement

ajustement de la position et de l'orientation de l'échantillon ainsi que de tous les composants de l'instrument de sorte que des mesures peuvent être effectuées de manière précise à l'endroit souhaité sur l'échantillon

3.3 anisotropie

dépendance des propriétés du matériau selon la direction de l'échantillon

3.4 atténuation

réduction de l'intensité du faisceau de neutrons

Note 1 à l'article: L'atténuation peut se calculer en utilisant la «section efficace totale des neutrons», qui comprend l'absorption de neutrons (3.1) et différents processus de diffusion nucléaire. La longueur d'atténuation est la distance, dans le matériau, pour laquelle l'intensité primaire du faisceau de neutrons initial est divisée par $1/e$.

3.5 bruit de fond

intensité considérée comme n'appartenant pas au signal de diffraction (3.13)

Note 1 à l'article: Il n'est pas rare que le bruit de fond dépende de l'angle de diffusion ou du *temps de vol* (3.34). Il peut également avoir une influence sur la *position du pic* (3.11) découlant de l'analyse des données.

3.6 optique de définition du faisceau

montage d'accessoires utilisés pour définir les propriétés d'un faisceau de neutrons, telles que la distribution des longueurs d'onde et des intensités, la divergence et la forme

Note 1 à l'article: Des accessoires tels que des diaphragmes, des fentes, des collimateurs, des monochromateurs et des miroirs, peuvent être utilisés.

3.7 réflexion de Bragg

changement abrupt de l'intensité du faisceau de neutrons en fonction de la longueur d'onde ou de l'angle entre le faisceau incident et le faisceau réfléchi correspondant à la condition $\lambda = 2d_{hkl}$, où hkl indique un plan réticulaire de diffraction (hkl) du matériau étudié

3.8 pic de Bragg

distribution de l'intensité du faisceau de neutrons diffracté par un plan réticulaire (hkl) spécifique

3.9 hauteur du pic

nombre maximal de décomptes de neutrons du *pic de Bragg* (3.8) au-dessus du *bruit de fond* (3.5)

3.10 fonction de forme du pic

expression analytique servant à décrire la forme du *pic de Bragg* (3.8)

3.11**position du pic**

valeur unique décrivant la position d'un *pic de Bragg* (3.8)

Note 1 à l'article: La position du pic est la grandeur déterminante pour le calcul de la déformation.

3.12**intensité du pic****intensité intégrée**

zone en dessous du pic de *diffraction* (3.13) et au-dessus du *bruit de fond* (3.5), calculée normalement à partir des paramètres d'ajustement associés d'une *fonction de forme du pic* (3.10) sélectionnée et d'une fonction d'ajustement du bruit de fond

3.13**diffraction**

diffusion résultant de phénomènes d'interférence cohérents

3.14**constantes d'élasticité de diffraction**
 E_{hkl}
 ν_{hkl}

constantes d'élasticité associées à la *diffraction* (3.13) provenant de plans réticulaires (*hkl*) individuels pour un matériau polycristallin

3.15**diagramme de diffraction**

distribution de l'intensité des neutrons diffractés par un matériau cristallin sur les domaines disponibles de longueurs d'onde, de *temps de vol* (3.34) et/ou d'angles de *diffraction* (3.13)

3.16**largeur à mi-hauteur****LMH**

largeur du *pic de Bragg* (3.8) à mi-hauteur du *pic* (3.9) par rapport au *bruit de fond* (3.5)

3.17**analyse globale d'un diagramme**

détermination de la structure cristallographique et/ou de la déformation à partir d'un *diagramme de diffraction* (3.15) (à plusieurs pics) mesuré sur un matériau polycristallin

Note 1 à l'article: En général, l'analyse globale d'un diagramme est référencée selon la méthode utilisée (par exemple, ajustement par la méthode de Rietveld). Voir également *analyse d'un pic unique* (3.31).

3.18**volume d'évaluation**

volume à partir duquel les informations sont obtenues

3.19**paramètres de réseau**

dimensions linéaire et angulaire de la cellule cristallographique élémentaire

3.20**distance interréticulaire****distance d**

distance entre deux plans réticulaires cristallographiques adjacents

3.21**contrainte de type I****contrainte macroscopique**

contrainte qui s'auto-équilibre sur une échelle de longueur comparable à la structure ou au composant, contenant par conséquent de multiples grains et/ou phases

3.22

contrainte de type II

contrainte qui s'auto-équilibre sur une échelle de longueur comparable à la taille du grain

Note 1 à l'article: Les contraintes de types II et III sont communément connues sous le nom de contraintes microscopiques.

3.23

contrainte de type III

contrainte qui s'auto-équilibre sur une échelle de longueur inférieure à la taille du grain

Note 1 à l'article: Les contraintes de types II et III sont communément connues sous le nom de contraintes microscopiques.

3.24

appareil monochromatique

appareil utilisant une bande étroite d'énergies de neutrons (longueurs d'onde)

3.25

faisceau de neutrons monochromatique

faisceau monochromatique

faisceau de neutrons possédant une bande étroite d'énergies de neutrons (longueurs d'onde)

3.26

fonction de distribution des orientations

description quantitative de la *texture* (3.32) cristallographique

Note 1 à l'article: La fonction de distribution des orientations est nécessaire au calcul des constantes d'élasticité des matériaux texturés.

3.27

faisceau de neutrons polychromatique

faisceau de neutrons contenant une large bande d'énergies de neutrons (longueurs d'onde)

3.28

point de référence

centroïde du *volume d'évaluation* (3.18) instrumental

Note 1 à l'article: Voir 7.5.

3.29

reproductibilité

concordance entre les indications ou les valeurs mesurées obtenues dans les conditions de mesure dans un ensemble de conditions qui comprennent des lieux, des opérateurs et des systèmes de mesure différents, et des mesures répétées sur le même objet ou des objets similaires

Note 1 à l'article: Une déclaration de reproductibilité valide nécessite la spécification des conditions ayant varié. Celles-ci peuvent inclure le principe de mesure, la méthode de mesure, l'observateur, l'appareil de mesure, l'étalon de référence, le lieu, les conditions d'utilisation et la durée.

Note 2 à l'article: La reproductibilité peut être exprimée quantitativement en termes de caractéristiques de dispersion des résultats.

Note 3 à l'article: Ici, les résultats sont généralement compris comme étant des résultats corrigés.

Note 4 à l'article: Cette définition combine le Guide ISO/IEC 99:2007, 2.25, 2.15 et 2.24.

3.30

diffuseur incohérent

matériau diffusant des neutrons de manière non corrélée, en engendrant ainsi un signal fort du *bruit de fond* (3.5) et aucun *pic de Bragg* (3.8) ou uniquement quelques-uns avec une faible amplitude

3.31**analyse d'un pic unique**

méthode statistique permettant de déterminer les caractéristiques d'un pic et du *bruit de fond* (3.5) à partir des données de *diffraction* (3.13) mesurées

3.32**texture**

orientation préférentielle des cristallites, appelée texture cristallographique, ou autre particularité microstructurale, appelée texture morphologique, au sein d'un échantillon

3.33**balayage de surface****balayage de paroi**

balayage d'intensité

mode opératoire permettant de déterminer la position de la surface ou de l'interface d'un échantillon par rapport au *point de référence* (3.28)

Note 1 à l'article: Le résultat est souvent appelé courbe de pénétration.

3.34**temps de vol**

durée nécessaire à un neutron de vitesse donnée pour couvrir la distance d'un point de départ défini au détecteur

3.35**incertitude de mesure**

paramètre qui caractérise la dispersion des valeurs attribuées à un mesurande, à partir des informations utilisées

Note 1 à l'article: L'incertitude de mesure comprend des composantes provenant d'effets systématiques, telles que les composantes associées aux corrections et aux valeurs assignées des étalons, ainsi que l'incertitude définitionnelle. Parfois, on ne corrige pas des effets systématiques estimés, mais on insère plutôt des composantes associées de l'incertitude.

Note 2 à l'article: Le paramètre peut être, par exemple, un écart-type appelé incertitude-type (ou un de ses multiples) ou la demi-étendue d'un intervalle ayant une probabilité de couverture déterminée.

Note 3 à l'article: L'incertitude de mesure comprend en général de nombreuses composantes. Certaines peuvent être évaluées par une évaluation de type A de l'incertitude à partir de la distribution statistique des valeurs provenant de séries de mesures et peuvent être caractérisées par des écarts-types. Les autres composantes, qui peuvent être évaluées par une évaluation de type B de l'incertitude, peuvent aussi être caractérisées par des écarts-types, évalués à partir de fonctions de densité de probabilité fondées sur l'expérience ou d'autres informations.

Note 4 à l'article: En général, pour des informations données, on sous-entend que l'incertitude de mesure est associée à une valeur déterminée attribuée au mesurande. Une modification de cette valeur entraîne une modification de l'incertitude associée.

[SOURCE: Guide ISO/IEC 99:2007, 2.26, modifiée — Le terme anglais a été changé («uncertainty of measurement»); le terme alternatif «incertitude» a été supprimé.]

4 Symboles et abréviations

4.1 Symboles et unités

a, b, c	Longueurs des arêtes d'une cellule élémentaire, dénommées ici paramètres de réseau	nm
B	Bruit de fond à la position du pic	—
d	Distance interréticulaire	nm
E	Module d'élasticité macroscopique	GPa
E_{hkl}	Module d'élasticité associé aux plans réticulaires de diffraction (hkl)	GPa
g	Gradient de déformation	mm ⁻¹
h	Constante de Planck	Js
hkl	Indices d'un plan réticulaire cristallographique NOTE Dans le reste du document, (hkl) est utilisé en gardant à l'esprit que chaque plan de la famille $\{hkl\}$ diffracte dans les mêmes conditions.	
$hkil$	Notations modifiées des indices de Miller d'un plan réticulaire cristallographique pour les structures hexagonales	
H	Hauteur du pic au-dessus du bruit de fond	—
I	Intensité intégrée du faisceau de neutrons d'un pic de Bragg au-dessus du bruit de fond	
\vec{k}_i, \vec{k}_f	Vecteurs d'ondes des neutrons incidents et diffractés	nm ⁻¹
L	Distance de parcours entre la source de neutrons et le détecteur	m
l	Longueur d'atténuation des neutrons	mm
m_n	Masse d'un neutron ($1,67 \times 10^{-27}$ kg)	kg
N_n	Nombre total de neutrons comptés	
\vec{Q}	Vecteur de diffusion ($\vec{k}_f - \vec{k}_i$)	nm ⁻¹
t	Temps de vol des neutrons entre la source et les détecteurs	s
T	Température	°C ou K
u	Incertitude-type	—
x, y, z	Axes du système de coordonnées de l'échantillon	
α	Coefficient de dilatation thermique	K ⁻¹
Δ	Variation ou modification du paramètre qui suit	
ε	Déformation élastique	—
ε_{ij}	Composantes du tenseur des déformations élastiques	—