
**Nanotechnologies — Détermination
de la distribution de taille et de
forme des particules par microscopie
électronique à balayage**

*Nanotechnologies — Measurements of particle size and shape
distributions by scanning electron microscopy*

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 19749:2021

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/f553fbbb-c22b-47a7-8c9a-951c783c2c17/iso-19749-2021>



iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 19749:2021

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/f553fbbb-c22b-47a7-8c9a-951c783c2c17/iso-19749-2021>



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2021

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
E-mail: copyright@iso.org
Web: www.iso.org

Publié en Suisse

Sommaire

Page

Avant-propos	v
Introduction	vi
1 Domaine d'application	1
2 Références normatives	1
3 Termes et définitions	2
4 Principes généraux	12
4.1 Imagerie MEB.....	12
4.2 Mesurages de taille d'une particule fondés sur une image MEB.....	12
4.3 Mesurages de forme d'une particule fondés sur une image MEB.....	14
5 Préparation des échantillons	14
5.1 Renseignements fondamentaux concernant la préparation des échantillons.....	14
5.2 Recommandations générales.....	14
5.3 Garantie d'une bonne préparation d'échantillon de poudre ou de matériaux bruts dispersés dans un liquide.....	15
5.3.1 Poudres.....	15
5.3.2 Dispersions de nanoparticules dans des liquides.....	15
5.4 Garantie d'une dispersion représentative.....	15
5.5 Dépôt de nanoparticules sur un substrat.....	16
5.5.1 Généralités.....	16
5.5.2 Dépôt de nanoparticules sur des plaquettes de silicium ou d'autres matériaux.....	16
5.5.3 Dépôts de nanoparticules sur des grilles MET.....	18
5.6 Nombre d'échantillons à préparer.....	19
5.7 Nombre de particules à mesurer pour en déterminer la taille.....	19
5.8 Nombre de particules à mesurer pour en déterminer la forme.....	20
6 Qualification du MEB pour les mesurages des nanoparticules	20
7 Acquisition d'images	21
7.1 Généralités.....	21
7.2 Réglage d'une résolution et d'un grandissement corrects de l'image.....	25
8 Analyse de particules	26
8.1 Renseignements fondamentaux concernant l'analyse de particules.....	26
8.2 Analyse de particules individuelles.....	27
8.3 Analyse de particules automatisée.....	27
8.4 Exemple de mode opératoire d'analyse automatisée des particules.....	28
9 Analyse des données	29
9.1 Généralités.....	29
9.2 Tri des données brutes: détections des particules en contact, des artefacts et des contaminants.....	29
9.3 Ajustement des modèles aux données.....	30
9.4 Évaluation de l'incertitude de mesure.....	30
9.4.1 Généralités.....	30
9.4.2 Exemple: Incertitude de mesure pour les mesurages de taille de particules.....	30
9.4.3 Analyse à deux variables.....	31
10 Rapport de résultats	31
Annexe A (normative) Qualification du MEB pour les mesurages des nanoparticules	33
Annexe B (informative) Préparation d'échantillons transversaux de dioxyde de titane	38
Annexe C (informative) Étude de cas portant sur des nanoparticules bien dispersées de dioxyde de silicium de 60 nm	40

Annexe D (informative) Étude de cas portant sur des nanoparticules de dioxyde de titane de 40 nm	50
Annexe E (informative) Exemple d'extraction de résultats de taille des particules issus de mesurages de nanoparticules par MEB à l'aide d'ImageJ	59
Annexe F (informative) Effets de certains paramètres d'acquisition d'images et des méthodes de seuillage sur les mesurages de taille de particules par MEB	61
Annexe G (informative) Exemple de rapport de résultats de mesurages de nanoparticules par MEB	66
Bibliographie	76

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 19749:2021

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/f553fbbb-c22b-47a7-8c9a-951c783c2c17/iso-19749-2021>

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 préparé par le Comité technique ISO/TC 229, *Nanotechnologies*.

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

Le présent document fournit des recommandations pour mesurer et établir des rapports sur les distributions de taille et de forme des particules à l'échelle nanométrique, en utilisant les images obtenues par un microscope électronique à balayage (MEB). Le présent document s'applique également au mesurage par MEB des particules de plus grande taille. Les nanoparticules sont des objets tridimensionnels (3D), mais l'image MEB n'est qu'une représentation bidimensionnelle (2D) de la forme 3D observée avec un angle de vue particulier. L'image MEB fournit de précieuses informations sur la taille et la forme des particules. Bien que l'image MEB contienne une certaine quantité d'informations 3D, pour des raisons de simplicité, le présent document ne traite pas de la reconstruction des informations 3D. Une caractérisation tridimensionnelle rigoureuse des nanoparticules inclurait la taille, la forme, la structure de surface (par exemple, la texture), la composition de la surface et des matériaux internes ainsi que leurs emplacements dans le volume 3D étudié. Le présent document porte sur deux attributs de morphologie, à savoir la taille et la forme, pour des nano-objets discrets et agrégés (matériaux ayant au moins une dimension à l'échelle nanométrique, c'est-à-dire entre 1 nm et 100 nm). Une préparation appropriée de l'échantillon est essentielle pour obtenir des images de qualité avec un microscope électronique et les techniques préférées varient souvent selon le matériau de l'échantillon. Il est tout aussi important de s'assurer que le MEB lui-même est capable d'effectuer les mesurages avec l'incertitude exigée. Les recommandations habituelles suggèrent de mesurer un grand nombre de particules, c'est-à-dire plusieurs centaines ou plusieurs milliers, afin d'obtenir des résultats statistiquement fiables pour les distributions de taille et de forme. Le nombre réel de nano-objets à mesurer dépend de l'échantillon, de l'incertitude exigée et des performances du MEB. L'évaluation statistique des données et l'évaluation de l'incertitude des mesurages font partie intégrante des modes opératoires de mesure et de rédaction de rapports.

Le présent document contient des articles sur les modes opératoires de mesure, l'analyse des particules et des données et la rédaction de rapports. Les annexes fournissent des exemples spécifiques de mesurages ainsi que des recommandations concernant la qualification du MEB pour des mesurages quantitatifs fiables. L'automatisation de l'acquisition d'images et de l'analyse des données peut réduire le coût et améliorer la qualité des résultats. Les mesurages d'échantillons de nanoparticules isolées sont généralement plus faciles à effectuer avec des systèmes automatisés d'acquisition d'images et d'analyse de particules. Les mesurages de nanoparticules isolées complexes et d'agrégats ou d'agglomérats de nanoparticules peuvent nécessiter une acquisition d'images et une analyse assistées d'un opérateur. L'évaluation de la forme des particules est facilitée par un grand nombre de solutions logicielles d'analyse pertinentes qui permettent également la sélection automatique de divers attributs de forme.

Nanotechnologies — Détermination de la distribution de taille et de forme des particules par microscopie électronique à balayage

1 Domaine d'application

Le présent document spécifie des méthodes permettant de déterminer les distributions de taille et de forme des nanoparticules, par l'acquisition et l'évaluation d'images obtenues avec un microscope électronique à balayage, puis l'obtention de résultats exacts et la rédaction de rapports.

NOTE 1 Le présent document s'applique aux particules dont la limite de taille inférieure dépend de l'incertitude exigée et des performances appropriées du MEB, après démonstration de sa conformité aux exigences décrites dans le présent document.

NOTE 2 Le présent document s'applique également aux mesurages par MEB de taille et de forme des particules de taille supérieure à l'échelle nanométrique.

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).

Guide ISO/IEC 99, *Vocabulaire international de métrologie — Concepts fondamentaux et généraux et termes associés (VIM)*

ISO 9276-1, *Représentation de données obtenues par analyse granulométrique — Partie 1: Représentation graphique*

ISO 9276-2, *Représentation de données obtenues par analyse granulométrique — Partie 2: Calcul des tailles/diamètres moyens des particules et des moments à partir de distributions granulométriques*

ISO 9276-3, *Représentation de données obtenues par analyse granulométrique — Partie 3: Ajustement d'une courbe expérimentale à un modèle de référence*

ISO 9276-5, *Représentation de données obtenues par analyse granulométrique — Partie 5: Méthodes de calcul relatif à l'analyse granulométrique à l'aide de la distribution de probabilité logarithmique normale*

ISO 9276-6, *Représentation de données obtenues par analyse granulométrique — Partie 6: Description et représentation quantitative de la forme et de la morphologie des particules*

ISO 13322-1, *Analyse granulométrique — Méthodes par analyse d'images — Partie 1: Méthodes par analyse d'images statiques*

ISO 16700, *Analyse par microfaisceaux — Microscopie électronique à balayage — Lignes directrices pour l'étalonnage du grandissement d'image*

ISO/IEC 17025, *Exigences générales concernant la compétence des laboratoires d'étalonnages et d'essais*

ISO/TS 24597:2011, *Analyse par microfaisceaux — Microscopie électronique à balayage — Méthodes d'évaluation de la netteté d'image*

ISO 26824, *Caractérisation des particules dans les systèmes particulaires — Vocabulaire*

ISO/TS 80004-1, *Nanotechnologies — Vocabulaire — Partie 1: Termes "coeur"*

ISO/TS 80004-2, *Nanotechnologies — Vocabulaire — Partie 2: Nano-objets*

ISO/TS 80004-3, *Nanotechnologies — Vocabulaire — Partie 3: Nano-objets carbonés*

ISO/TS 80004-4, *Nanotechnologies — Vocabulaire — Partie 4: Matériaux nanostructurés*

ISO/TS 80004-6, *Nanotechnologies — Vocabulaire — Partie 6: Caractérisation des nano-objets*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions de le Guide ISO/IEC 99, l'ISO 9276-6, l'ISO 26824, l'ISO/TS 80004-1, l'ISO/TS 80004-2, l'ISO/TS 80004-3, l'ISO/TS 80004-4, l'ISO/TS 80004-6, ainsi que les 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 <https://www.electropedia.org/>.

3.1 Termes généraux

3.1.1

échelle nanométrique

échelle de longueur s'étendant approximativement de 1 nm à 100 nm

Note 1 à l'article: Les propriétés qui ne constituent pas des extrapolations par rapport à des dimensions plus grandes sont principalement manifestes dans cette échelle de longueur.

[SOURCE: ISO/TS 80004-1:2015, 2.1]

ISO 19749:2021

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/f553fbbb-c22b-47a7-8c9a-951c783c2c17/iso-19749-2021>

3.1.2

nano-objet

portion discrète de matériau dont une, deux ou les trois dimensions externes sont à l'échelle nanométrique (3.1.1)

[SOURCE: ISO/TS 80004-1:2015, 2.5, modifiée — La Note 1 à l'article et la source ont été supprimées.]

3.1.3

particule

élément de matière isolé possédant des limites physiques définies

[SOURCE: ISO/TR 16197:2014, 3.10, modifiée — Les Notes 1, 2 et 3 à l'article et la source ont été supprimées.]

3.1.4

particule primaire

particule source initiale (3.1.3) des *agglomérats* (3.1.5) ou des *agrégats* (3.1.6) ou de mélanges de ceux-ci

[SOURCE: ISO 26824:2013, 1.4, modifiée — Les Notes 1, 2 et 3 à l'article ont été supprimées.]

3.1.5

agglomérat

ensemble de *particules* (3.1.3) faiblement ou moyennement liées, dont l'aire de la surface externe résultante est similaire à la somme des aires de surface de chacun des composants

Note 1 à l'article: Le terme «agglomérat» découle du terme latin «agglomerare» qui signifie «former une boule».

Note 2 à l'article: Les forces assurant la cohésion d'un agglomérat sont faibles, par exemple des forces de Van der Waals ou des forces résultant d'un simple enchevêtrement physique.

Note 3 à l'article: Les agglomérats sont également appelés particules secondaires et les particules sources initiales sont appelées *particules primaires* (3.1.4).

[SOURCE: ISO 26824:2013, 1.2, modifiée — La Note 1 à l'article a été ajoutée.]

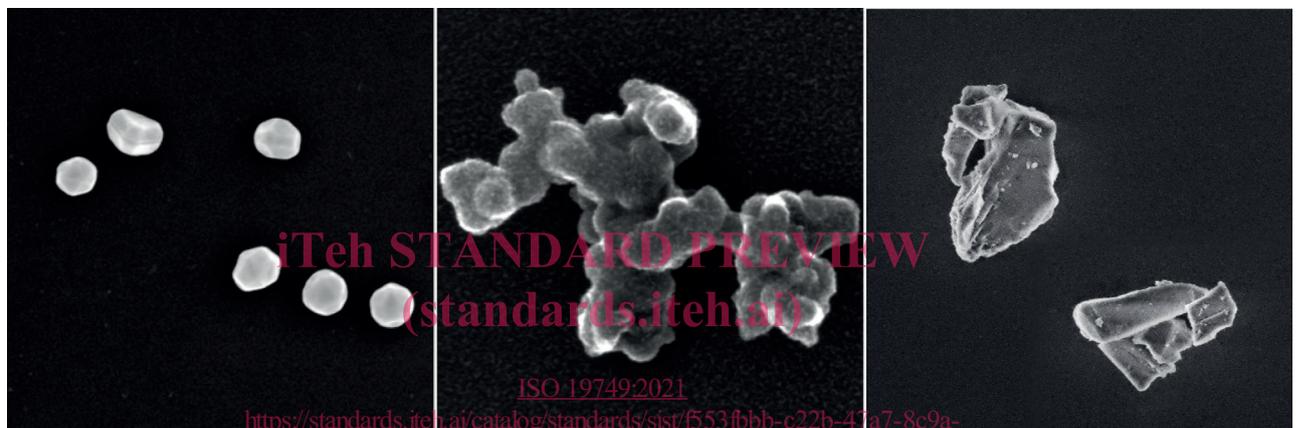
3.1.6 agrégat

particule (3.1.3) composée de particules fortement liées ou fusionnées, dont l'aire de la surface externe résultante est significativement plus petite que la somme des aires de surface de chacun des composants

Note 1 à l'article: Les forces assurant la cohésion d'un agrégat sont puissantes, par exemple des liaisons covalentes, ou des forces résultant d'un frittage ou d'un enchevêtrement physique complexe, ou sinon d'anciennes *particules primaires* combinées (3.1.4).

Note 2 à l'article: Le terme «agrégat» découle du terme latin «aggregat» qui signifie «rassemblé».

Note 3 à l'article: La [Figure 1](#) montre des exemples de particules individuelles, d'*agglomérats* (3.1.5) de particules et d'agrégats de particules.



NOTE Les images sont des vues en projection obtenues à partir de certains angles d'objets 3D. La taille observable des particules peut varier sensiblement selon l'angle de vue.

Figure 1 — Images MEB de particules d'or (gauche), d'agrégats de noir de carbone (milieu) et d'agglomérats de corindon (droite)

[SOURCE: ISO 26824:2013, 1.3, modifiée — Les Notes 2 et 3 à l'article ont été ajoutées.]

3.1.7 nanoparticule

nano-objet (3.1.2) dont toutes les dimensions externes sont à l'échelle nanométrique (3.1.1) et dont les longueurs du plus grand et du plus petit axes ne diffèrent pas de façon significative

[SOURCE: ISO/TS 80004-2:2015, 4.4, modifiée — La Note 1 à l'article a été supprimée.]

3.1.8 taille d'une particule

x

dimension d'une *particule* (3.1.3) déterminée par une méthode de mesure spécifiée dans des conditions de mesure spécifiées

Note 1 à l'article: Différentes méthodes d'analyse sont fondées sur le mesurage de différentes propriétés physiques. Indépendamment de la propriété de particule réellement mesurée, la taille de la particule peut être considérée comme une dimension linéaire, une surface ou un volume.

Note 2 à l'article: Le symbole x est utilisé pour indiquer la taille linéaire d'une *particule* (3.1.3). Cependant, il est reconnu que le symbole d est également couramment utilisé. Le symbole x peut donc être remplacé par d .

3.1.9

distribution granulométrique

distribution de la quantité de *particules* (3.1.3) en fonction de leur *taille* (3.1.8)

[SOURCE: ISO/TS 80004-6:2021, 4.1.2, modifiée — Les Notes 1 et 2 à l'article ont été supprimées.]

3.1.10

forme d'une particule

forme géométrique externe d'une *particule* (3.1.3)

Note 1 à l'article: La description de la forme nécessite deux descripteurs scalaires: la longueur et la largeur.

[SOURCE: ISO/TS 80004-6:2013, 3.1.3, modifiée — La Note 1 à l'article a été ajoutée.]

3.1.11

échantillon pour analyse

prise de matériau, issue de l'échantillon d'origine ou d'un échantillon composite, au moyen d'une méthode appropriée de traitement préalable des échantillons, et ayant la taille (volume/masse) nécessaire pour les essais ou l'analyse souhaités

Note 1 à l'article: En chimie analytique l'échantillon est une prise de matériau réalisée dans un volume de matériau plus important. Le terme doit être défini, par exemple échantillon global, échantillon représentatif, échantillon primaire, échantillon massif, échantillon pour essai. Le terme «échantillon» implique l'existence d'une erreur d'échantillonnage, c'est-à-dire que les résultats obtenus à partir des prises réalisées ne sont que des estimations de la concentration d'un constituant ou de la quantité d'une propriété présente dans le matériau de base. Si l'erreur d'échantillonnage est nulle ou négligeable, la prise effectuée est une prise d'essai, une aliquote ou un spécimen. Le terme «spécimen» est utilisé pour indiquer une prise effectuée dans des conditions où la variabilité d'échantillonnage ne peut pas être évaluée (généralement en raison de la variation de la population), et où elle est considérée nulle par commodité. Il convient d'établir la façon dont l'échantillon est sélectionné dans un plan d'échantillonnage.

[SOURCE: ISO 11074:2015, 4.1.3, modifiée — La Note 1 à l'article a été ajoutée.]

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/f553fbbb-c22b-47a7-8c9a-951c783c2c17/iso-19749-2021>

3.2 Termes «cœur»: analyse d'image

3.2.1

image binaire

image numérisée constituée d'une matrice de *pixels* (3.2.2), possédant chacun une valeur 0 ou 1, dont les valeurs sont normalement représentées par des régions sombres et claires sur l'écran d'affichage ou par l'utilisation de deux couleurs distinctes

[SOURCE: ISO 13322-1:2014, 3.1.2]

3.2.2

pixel

plus petit élément d'une image pouvant être traité de façon unique, qui est défini par ses coordonnées spatiales et codé avec des valeurs de couleurs

[SOURCE: ISO 12640-2:2004, 3.6, modifiée — La Note 1 à l'article a été supprimée.]

3.2.3

résolution de pixels

nombre de *pixels* (3.2.2) d'imagerie par unité de distance d'un détecteur

Note 1 à l'article: L'unité type est souvent exprimée en points par pouce (ppp).

[SOURCE: ISO 29301:2017, 3.24, modifiée]

3.3 Termes «cœur»: symboles statistiques et définitions

3.3.1

moyenne arithmétique

somme des valeurs divisée par le nombre de valeurs

Note 1 à l'article: Voir l'ISO 9276-1:1998 pour les autres mesures de quantité et types de distributions.

3.3.2

écart-type

mesure de la dispersion d'une série de résultats autour de leur moyenne, égale à la racine carrée positive de la variance et estimée par la racine carrée positive du carré moyen

[SOURCE: ISO 4259-1:2017, 3.21]

3.3.3

coefficient de variation

rapport de l'écart-type (3.3.2) à la moyenne arithmétique (3.3.1)

[SOURCE: ISO 27448:2009, 3.11]

3.3.4

erreur-type relative (RSE)

erreur-type (SE_x) divisée par la moyenne (\bar{x}) et exprimée en pourcentage

3.3.5

analyse de variance ANOVA

méthode consistant à séparer la variation totale d'une variable de réponse en composantes associées à des sources spécifiques de variation

3.3.6

valeur p

probabilité d'obtenir la valeur de la statistique de test observée ou toute autre valeur défavorable à l'hypothèse nulle

Note 1 à l'article: Si l'hypothèse nulle était vraie et si l'expérience a été répétée un grand nombre de fois, une valeur p est la probabilité qu'une valeur au moins aussi extrême que la statistique d'essai calculée soit observée.

Note 2 à l'article: Lors d'un test d'hypothèse, une expression affirmant que le paramètre nul est le paramètre vrai est appelée hypothèse nulle. L'objectif d'un test d'hypothèse est de déterminer si les données fournissent des preuves contre l'hypothèse nulle. Lorsqu'une statistique obtenue est très différente du paramètre nul, l'hypothèse nulle peut être rejetée. Une hypothèse alternative ou de recherche est une hypothèse indiquant que le paramètre vrai n'est pas (ou est inférieur ou supérieur) le paramètre nul. Il s'agit de l'hypothèse correspondant à la question de recherche. Le but d'un test d'hypothèse est de rejeter l'hypothèse nulle en faveur de l'hypothèse de recherche.

[SOURCE: ISO/TR 14468:2010, 3.13, modifiée — La Note 1 à l'article a été modifiée et la Note 2 à l'article a été ajoutée.]

3.3.7

écart résiduel

différence entre la valeur observée de la variable de réponse et sa valeur estimée

3.3.8

écart-type résiduel

dispersion des valeurs d'information autour de la ligne de régression calculée

Note 1 à l'article: C'est un indice de performance qui décrit la *fidélité* (3.5.3) de l'étalonnage.

Note 2 à l'article: Dans le présent document, l'écart-type (3.3.2) de la méthode est l'écart-type de la performance de l'étalonnage.

[SOURCE: ISO 8466-1:1990, 2.5, modifiée — Le symbole a été supprimé et une révision éditoriale a été effectuée sur tout l'article.]

3.3.9

diagramme quantile

méthode de comparaison graphique de deux distributions dans laquelle les quantiles de la distribution empirique (de données) sont reportés sur l'axe des ordonnées alors que les quantiles de la distribution théorique (de référence) ayant une moyenne et une variance identiques à celles de la distribution empirique sont reportés sur l'axe des abscisses

Note 1 à l'article: Le diagramme quantile-quantile (q-q) est un diagramme de probabilité utilisant une technique graphique pour déterminer si deux ensembles de données sont issus de populations ayant une distribution commune. Un diagramme q-q est un diagramme des quantiles du premier ensemble de données par rapport aux quantiles du second ensemble de données. Voir l'ISO/TS 80004-6.

3.4 Termes «cœur»: mesurandes et descripteurs

3.4.1

mesurande

grandeur soumise à mesurage

[SOURCE: Guide ISO/IEC 98-4:2012, 3.2.4]

3.4.2

diamètre de Féret

distance entre deux lignes parallèles tangentes au *périmètre* (3.4.5) d'une *particule* (3.1.3)

[SOURCE: ISO 10788:2014, 2.1.4, modifiée — La Note 1 à l'article a été supprimée.]

3.4.3

diamètre de Féret maximal

longueur maximale d'un objet quelle que soit la direction

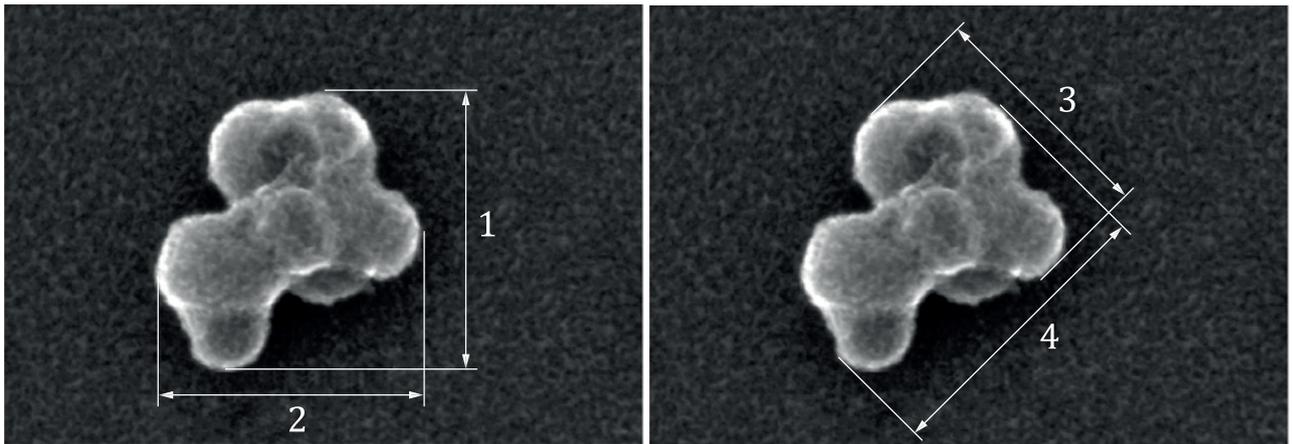
[SOURCE: ISO/TR 945-2:2011, 2.1, modifiée — Le mot «Féret» a été remplacé par «Feret» dans la version anglaise et la Note 1 à l'article a été supprimée.]

3.4.4

diamètre de Féret minimal

longueur minimale d'un objet quelle que soit la direction

Note 1 à l'article: Le *diamètre de Féret* (3.4.2) est une mesure de la taille d'un objet dans une direction spécifiée. Il s'applique aux projections d'un objet tridimensionnel sur un plan bidimensionnel (voir [Figure 2](#)). Il est également appelé «caliper diameter» en anglais.



Légende

- | | | | |
|---|------------------------------|---|----------|
| 1 | diamètre de Féret vertical | 3 | largeur |
| 2 | diamètre de Féret horizontal | 4 | longueur |

Figure 2 — Diamètre de Féret horizontal (88 nm), diamètre de Féret vertical (93 nm), longueur (99 nm) et largeur (79 nm) d'une particule noire de carbone

Note 2 à l'article: Le diamètre de Féret maximal x_{Fmax} est la «longueur» de la *particule* (3.1.3). Le diamètre de Féret minimal (3.4.4) x_{Fmin} est la «largeur» de la *particule*.

Note 3 à l'article: Le diamètre de Féret dépendant de l'orientation de la particule par rapport aux tangentes, une seule mesure peut donc ne pas être représentative. Si toutes les orientations possibles sont considérées, pour une particule convexe de *périmètre* (3.4.5) $P: P = \pi x_{Fmean}$ (théorème de Cauchy). Il n'existe pas de telle relation entre P et x_{Fmean} pour un objet concave.

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/f553fbbb-c22b-47a7-8c9a-951c783c2c17/iso-19749-2021>

3.4.5 périmètre

longueur totale du contour de l'objet

[SOURCE: ISO/TR 945-2:2011, 2.3, modifiée — Le symbole «P» a été supprimé.]

3.4.6 enveloppe convexe

le plus petit ensemble convexe contenant un objet géométrique donné

[SOURCE: ISO 19123:2005, 4.1.2]

3.4.7 rapport d'aspect

rapport du *diamètre de Féret minimal* (3.4.4) au *diamètre de Féret maximal* (3.4.3)

3.4.8 rapport d'ellipse

rapport des longueurs des axes de l'ellipse d'inertie de Legendre

[SOURCE: ISO 26824:2013, 4.4, modifiée — La Note 1 à l'article a été supprimée.]

3.4.9 étendue (encombrement)

rapport de la surface des *particules* (3.1.3) au produit des diamètres de *Féret minimal* (3.4.4) et *maximal* (3.4.3)

**3.4.10
compacité**

degré auquel la surface de projection *A* de la *particule* (3.1.4) est similaire à un cercle, en considérant la forme globale de la particule avec le *diamètre de Féret maximal* (3.4.3)

[SOURCE: ISO 26824:2013, 4.9, modifiée — La formule et la Note 1 à l'article ont été supprimées.]

**3.4.11
convexité**

rapport du *périmètre* (3.4.5) de l'*enveloppe convexe* (3.4.7) délimitant la *particule* (3.1.3) à son périmètre

**3.4.12
circularité
facteur de forme**

degré auquel la surface projetée de la *particule* (3.1.3) est similaire à un cercle, fondé sur son *périmètre* (3.4.5)

**3.4.13
rondeur**

valeur quadratique de la *circularité* (3.4.12)

**3.4.14
solidité**

rapport de la surface projetée *A* à la surface de l'*enveloppe convexe* (3.4.7) A_C

3.5 Termes «cœur»: métrologie

STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

**3.5.1
condition de répétabilité**

condition de mesurage dans un ensemble de conditions qui comprennent la même procédure de mesure, les mêmes opérateurs, le même système de mesure, les mêmes conditions de fonctionnement et le même lieu, ainsi que des mesurages répétés sur le même objet ou des objets similaires pendant une courte période de temps

[SOURCE: Guide ISO/IEC 99:2007, 2.20, modifiée — Les Notes 1 et 2 à l'article ont été supprimées.]

**3.5.2
exactitude de mesure**

étroitesse de l'accord entre une valeur mesurée et une valeur vraie d'*un mesurande* (3.4.1)

Note 1 à l'article: L'exactitude de mesure n'est pas une grandeur et ne s'exprime pas numériquement. Un mesurage est quelquefois dit plus exact s'il fournit une plus petite *incertitude de mesure* (3.5.4).

Note 2 à l'article: Il convient de ne pas utiliser le terme «exactitude de mesure» pour la justesse de mesure et le terme «*fidélité* de mesure» (3.5.3) pour l'exactitude de mesure. Celle-ci est toutefois liée aux concepts de justesse et de fidélité.

Note 3 à l'article: L'exactitude de mesure est quelquefois interprétée comme l'étroitesse de l'accord entre les valeurs mesurées qui sont attribuées au mesurande.

[SOURCE: Guide ISO/IEC 99:2007, 2.13, modifiée — Les deuxième et troisième termes ont été supprimés.]

**3.5.3
fidélité**

étroitesse de l'accord entre les indications ou les valeurs mesurées obtenues par des mesurages répétés du même objet ou d'objets similaires dans des conditions spécifiées

Note 1 à l'article: La fidélité est en général exprimée numériquement par des caractéristiques telles que l'*écart-type* (3.3.2) la variance ou le *coefficient de variation* (3.3.3) dans les conditions spécifiées.

Note 2 à l'article: Les conditions spécifiées peuvent être, par exemple, des conditions de répétabilité, des conditions de fidélité intermédiaire ou des conditions de reproductibilité (voir l'ISO 5725-1:1994).

Note 3 à l'article: La fidélité sert à définir la répétabilité de mesure, la fidélité intermédiaire de mesure et la reproductibilité de mesure.

Note 4 à l'article: Le terme «fidélité de mesure» est quelquefois utilisé improprement pour désigner l'exactitude de mesure.

[SOURCE: Guide ISO/IEC 99:2007, 2.15, modifiée — Le premier terme a été supprimé.]

3.5.4

incertitude de mesure

paramètre non négatif qui caractérise la dispersion des valeurs attribuées à un *mesurande* (3.4.1), 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* (3.3.2) 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* (3.5.7) à partir de la distribution statistique des valeurs provenant de séries de mesurages et peuvent être caractérisées par des écarts-types. Les autres composantes, qui peuvent être évaluées par une *évaluation de type B de l'incertitude* (3.5.8), 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.

iTeh STANDARD PREVIEW

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* (3.4.1). Une modification de cette valeur entraîne une modification de l'incertitude associée.

[SOURCE: JCGM 200:2012, 2.26]

ISO 19749:2021

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/f553fbbb-c22b-47a7-8c9a-951c783c2c17/iso-19749-2021>

3.5.5

incertitude-type composée

incertitude-type (3.5.4), paramètre non négatif qui caractérise la dispersion des valeurs attribuées à un *mesurande* (3.4.1), à partir des informations utilisées, obtenue en utilisant les incertitudes-types individuelles associées aux grandeurs d'entrée dans un modèle de mesure

Note 1 à l'article: En cas de corrélations des grandeurs d'entrée dans un modèle de mesure, il est essentiel de prendre en compte les covariances lors du calcul de l'incertitude-type composée; voir également le Guide ISO/IEC 98-3:2008, 2.3.4.

Note 2 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 3 à l'article: Le paramètre peut être, par exemple, un *écart-type* (3.3.2) appelé incertitude-type (ou un de ses multiples) ou la demi-étendue d'un intervalle ayant une probabilité de couverture déterminée.

Note 4 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* (3.5.7) à partir de la distribution statistique des valeurs provenant de séries de mesurages et peuvent être caractérisées par des écarts-types. Les autres composantes, qui peuvent être évaluées par une *évaluation de type B de l'incertitude* (3.5.8), 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 5 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: VIM:JCGM 200:2012, 2.31]