



**Norme  
internationale**

**ISO 643**

**Aciers — Détermination  
micrographique de la grosseur de  
grain apparente**

*Steels — Micrographic determination of the apparent grain size*

**Cinquième édition  
2024-08**

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

[ISO 643:2024](#)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/d857b6f4-eda1-4af5-9b9e-c0602b9a3a13/iso-643-2024>

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

[ISO 643:2024](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/d857b6f4-eda1-4af5-9b9e-c0602b9a3a13/iso-643-2024)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/d857b6f4-eda1-4af5-9b9e-c0602b9a3a13/iso-643-2024>



**DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT**

© ISO 2024

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](mailto:copyright@iso.org)  
Web: [www.iso.org](http://www.iso.org)

Publié en Suisse

## Sommaire

Page

<b>Avant-propos</b> .....	<b>iv</b>
<b>1 Domaine d'application</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Références normatives</b> .....	<b>1</b>
<b>3 Termes et définitions</b> .....	<b>1</b>
3.1 Grains.....	1
3.2 Généralités.....	2
<b>4 Symboles</b> .....	<b>2</b>
<b>5 Principe</b> .....	<b>3</b>
<b>6 Sélection et préparation de l'échantillon</b> .....	<b>5</b>
6.1 Prélèvement.....	5
6.2 Mise en évidence des joints de grains ferritiques.....	5
6.3 Mise en évidence des joints de grains austénitiques et d'anciens joints de grains austénitiques.....	5
6.3.1 Généralités.....	5
<b>7 Caractérisation de la grosseur de grain</b> .....	<b>6</b>
7.1 Généralités.....	6
7.1.1 Méthodes de caractérisation.....	6
7.1.2 Formules.....	6
7.1.3 Exactitude des méthodes.....	6
7.2 Méthode par comparaison.....	6
7.3 Méthode planimétrique.....	9
7.4 Méthode du segment intercepté.....	15
7.4.1 Généralités.....	15
7.4.2 Méthode d'interception linéaire.....	16
7.4.3 Méthode d'interception circulaire.....	17
7.4.4 Évaluation des résultats.....	17
7.5 D'autres méthodes.....	18
<b>8 Rapport d'essai</b> .....	<b>19</b>
<b>Annexe A (informative) Méthodes de mise en évidence des joints de grains austénitiques et d'anciens joints de grains austénitiques dans les aciers</b> .....	<b>20</b>
<b>Annexe B (normative) Détermination de la grosseur de grain par comparaison avec des images types</b> .....	<b>25</b>
<b>Annexe C (informative) Méthode d'évaluation</b> .....	<b>37</b>
<b>Annexe D (informative) Calcul de la grosseur de grain et de l'intervalle de confiance</b> .....	<b>39</b>
<b>Annexe E (informative) Grains de différents indices de grosseur</b> .....	<b>42</b>
<b>Bibliographie</b> .....	<b>48</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 (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](http://www.iso.org/directives)).

L'ISO attire l'attention sur le fait que la mise en application du présent document peut entraîner l'utilisation d'un ou de plusieurs brevets. L'ISO ne prend pas position quant à la preuve, à la validité et à l'applicabilité de tout droit de propriété revendiqué à cet égard. À la date de publication du présent document, l'ISO n'avait pas reçu notification qu'un ou plusieurs brevets pouvaient être nécessaires à sa mise en application. Toutefois, il y a lieu d'avertir les responsables de la mise en application du présent document que des informations plus récentes sont susceptibles de figurer dans la base de données de brevets, disponible à l'adresse [www.iso.org/brevets](http://www.iso.org/brevets). L'ISO ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié tout ou partie de tels droits de propriété.

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](http://www.iso.org/avant-propos).

Le présent document a été élaboré par le comité technique ISO/TC 17, *Acier*, sous-comité SC 7, *Méthodes d'essais (autres que les essais mécaniques et les analyses chimiques)*, en collaboration avec le comité technique CEN/TC 459, *ECISS - Comité Européen pour la normalisation du fer et de l'acier*, du Comité européen de normalisation (CEN), conformément à l'Accord de coopération technique entre l'ISO et le CEN (Accord de Vienne).

Cette cinquième édition annule et remplace la quatrième édition (ISO 643:2019), qui a fait l'objet d'une révision technique.

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

- la température d'essai de la méthode de McQuaid-Ehn a été modifiée pour les aciers pour cémentation à 950 °C (voir [A.4](#));
- le [7.2](#) a été modifié avec la création de la nouvelle [Annexe B](#) et le déplacement du [Tableau 2](#) modifié;
- l'[Annexe B](#) de la troisième édition (ISO 643:2012) a été rétablie, et de nouvelles images types ISO remplacent les images types ASTM;
- les parties de l'ancienne [Annexe B](#) (méthode d'évaluation) ont été révisées et déplacées dans le corps principal de la norme ([7.3](#)) et le reste de l'annexe a été renuméroté en [Annexe C](#);
- de nouvelles [Annexes D](#) et [E](#) ont été ajoutées.

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/members.html](http://www.iso.org/members.html).

# Aciers — Détermination micrographique de la grosseur de grain apparente

**AVERTISSEMENT** — Le présent document fait appel à l'utilisation de substances et/ou de modes opératoires qui peuvent s'avérer préjudiciables pour la santé si des mesures de sécurité adéquates ne sont pas prises. Le présent document ne traite pas des dangers pour la santé, des questions de sécurité ou d'environnement associés à son utilisation. Il incombe à l'utilisateur du présent document d'établir des pratiques appropriées acceptables en termes de santé, de sécurité et d'environnement.

## 1 Domaine d'application

Le présent document spécifie des méthodes de détermination micrographique de la grosseur apparente du grain ferritique ou austénitique des aciers. Il décrit les méthodes de mise en évidence des joints de grains et d'estimation de la grosseur moyenne de grain d'un échantillon ayant une distribution granulométrique unimodale. Bien que les grains soient de forme tridimensionnelle, le plan de la préparation métallographique peut couper un grain en tout point, passant par un coin du grain ou au travers du diamètre maximal du grain ou entre les deux, produisant de ce fait une gamme de grosseurs de grain apparentes sur le plan bidimensionnel, même dans le cas d'un échantillon présentant une grosseur de grain parfaitement homogène.

## 2 Références normatives

Le présent document ne contient aucune référence normative.

## 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 <https://www.electropedia.org/>

### 3.1 Grains

#### 3.1.1

##### **grain**

forme polygonale fermée aux côtés plus ou moins courbes, qui peuvent être révélés sur une coupe plane de l'échantillon, polie et préparée pour l'examen micrographique

Note 1 à l'article: Dans l'ISO 4885,<sup>[1]</sup> le grain est défini comme un «cristal élémentaire formé d'atomes avec des espaces interstitiels réguliers».

Note 2 à l'article: Si tout autre constituant (par exemple perlite) de dimensions similaires aux grains d'intérêt est présent, ce constituant peut être considéré comme des grains d'intérêt.

#### 3.1.2

##### **grain austénitique**

cristal avec une structure cubique à faces centrées qui peut, ou peut ne pas, contenir des macles de recuit

3.1.3

**grain ferritique**

crystal avec une structure cubique centrée qui ne contient jamais de macles de recuit

3.2 Généralités

3.2.1

**indice**

nombre  $G$  positif, nul ou éventuellement négatif, qui est déterminé à partir du nombre moyen  $m$  des *grains* (3.1.1) dénombrés sur une aire de 1 mm<sup>2</sup> de la coupe de l'échantillon

Note 1 à l'article: Par définition,  $G = 1$  pour  $m = 16$ ; les autres indices sont obtenus par la [Formule \(1\)](#).

3.2.2

**interception**

$N$

nombre de *grains* (3.1.1) traversés par une ligne de mesure droite ou courbe

Note 1 à l'article: Voir [Figure 1](#).

Note 2 à l'article: Les lignes droites de mesure se termineront normalement dans un grain. Ces segments terminaux sont comptés comme une 1/2 interception.  $\bar{N}$  est la moyenne du nombre de grains traversés par la ligne de mesure appliquée de façon aléatoire à divers emplacements.  $\bar{N}$  est divisé par la longueur réelle de la ligne de mesure,  $L_T$  habituellement en millimètres, pour obtenir le nombre de grains interceptés par unité de longueur,  $\bar{N}_L$ .

3.2.3

**intersection**

$P$

nombre de points d'intersection entre les joints de *grains* (3.1.1) et une ligne de mesure droite ou courbe

Note 1 à l'article: Voir [Figure 2](#).

Note 2 à l'article:  $\bar{P}$  est le nombre moyen de joints de grains traversés par la ligne de mesure appliquée de façon aléatoire à divers emplacements.  $\bar{P}$  est divisé par la longueur réelle de la ligne de mesure,  $L_T$  habituellement en millimètres, pour obtenir le nombre de joints de grains traversés par unité de longueur,  $\bar{P}_L$ .

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/d857b6f4-eda1-4af5-9b9e-c0602b9a3a13/iso-643-2024>

4 Symboles

Les symboles utilisés sont donnés dans le [Tableau 1](#).

Tableau 1 — Symboles

Symboles	Définition	Valeur
$\bar{a}$	Aire moyenne du grain, en millimètres carrés	$\bar{a} = \frac{1}{m}$
$A_B$	Aire réelle du cadre d'essai	mm <sup>2</sup>
$A_C$	Aire réelle du cercle d'essai	mm <sup>2</sup>
$A_F$	Aire apparente de la figure d'essai, en millimètres carrés	—
$\bar{d}$	Diamètre moyen du grain, en millimètres	$\bar{d} = \frac{1}{\sqrt{m}}$
$D$	Diamètre du cercle limitant sur le verre dépoli du microscope ou sur une micrographie de l'image de la surface de référence de l'échantillon	79,8 mm (surface = 5 000 mm <sup>2</sup> )
$g$	Grossissement linéaire (à noter en référence) de l'image microscopique	En principe 100
$G$	Indice équivalent de grosseur du grain	$G = \log_2 m - 3$
<sup>a</sup> La méthode pour désigner la direction doit être conforme à l'ISO 3785 <sup>[2]</sup> .		

Tableau 1 (suite)

Symboles	Définition	Valeur
$l$	Longueur linéaire moyenne d'interception, généralement exprimée en millimètres	$l = 1 / \bar{N}_L = 1 / \bar{P}_L$
$l_0$	Longueur linéaire moyenne d'interception pour $G = 0$ , en millimètres	0,32
$L_T$	Longueur réelle de la ligne de mesure divisée par le grossissement, en millimètres	—
$m$	Nombre de grains par millimètre carré de surface de l'échantillon dans la région examinée	$m = n_t / A_C$ $m = n_t / A_B$
$M$	Numéro de la planche d'images types la plus proche quand $g$ n'est pas égal à 100	—
$n_e$	Nombre de grains complètement à l'intérieur du cercle de diamètre $D$	—
$n_i$	Nombre de grains coupés par le cercle de diamètre $D$	—
$n_t$	Nombre équivalent total des grains examinés sur l'image de diamètre $D$	—
$\bar{N}$	Nombre moyen de grains interceptés par unité de longueur $L$	—
$\bar{N}_L$	Nombre moyen de grains interceptés par unité de longueur de la ligne	$\bar{N}_L = \bar{N} / L_T$
$N_x$	Nombre d'interceptions par millimètre dans la direction longitudinale <sup>a</sup>	—
$N_y$	Nombre d'interceptions par millimètre dans la direction transversale <sup>a</sup>	—
$N_z$	Nombre d'interceptions par millimètre dans la direction perpendiculaire <sup>a</sup>	—
$\bar{P}$	Nombre moyen de joints de grains traversés par la ligne de mesure appliquée de façon aléatoire à divers emplacements	—
$\bar{P}_L$	Nombre moyen d'intersections de joints de grains par unité de longueur de ligne de mesure	$\bar{P}_L = \bar{P} / L_T$
$Q$	Facteur de correction pour le grossissement non standard	$Q = 2 \log_2 \left( \frac{g}{100} \right)$

<sup>a</sup> La méthode pour désigner la direction doit être conforme à l'ISO 3785[2].

## 5 Principe

ISO 643:2024

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/d857b6f4-eda1-4af5-9b9e-c0602b9a3a13/iso-643-2024>

Le présent document s'applique aux structures de grains ayant une distribution granulométrique unimodale. La grosseur de grain apparente est déterminée par un examen micrographique de sections de l'échantillon convenablement préparées.

Les méthodes principales suivantes permettent d'obtenir un indice représentant la valeur moyenne de la grosseur de grain:

- méthode par comparaison à des images types (voir 7.2);
- méthode planimétrique avec comptage des grains pour déterminer le nombre moyen de grains par unité de surface (voir 7.3);
- méthode du segment intercepté avec comptage du nombre de grains ou de joints de grains le long d'une ligne de longueur connue (voir 7.4).

Toutes les méthodes donnent des résultats comparables.

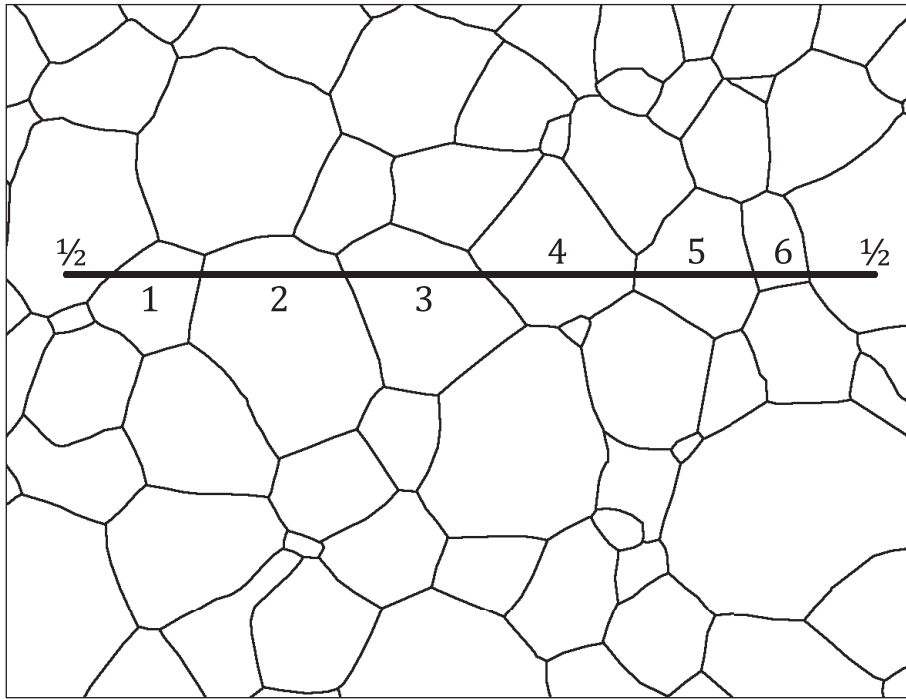


Figure 1 — Exemple d'interception,  $N$

Interception,  $N$ , comptage des grains pour une ligne de mesure droite placée sur une structure de grain monophasée. Six interceptions et deux segments de ligne finissant dans un grain égal à  $2 \times 1/2 + 6 = 7$ .

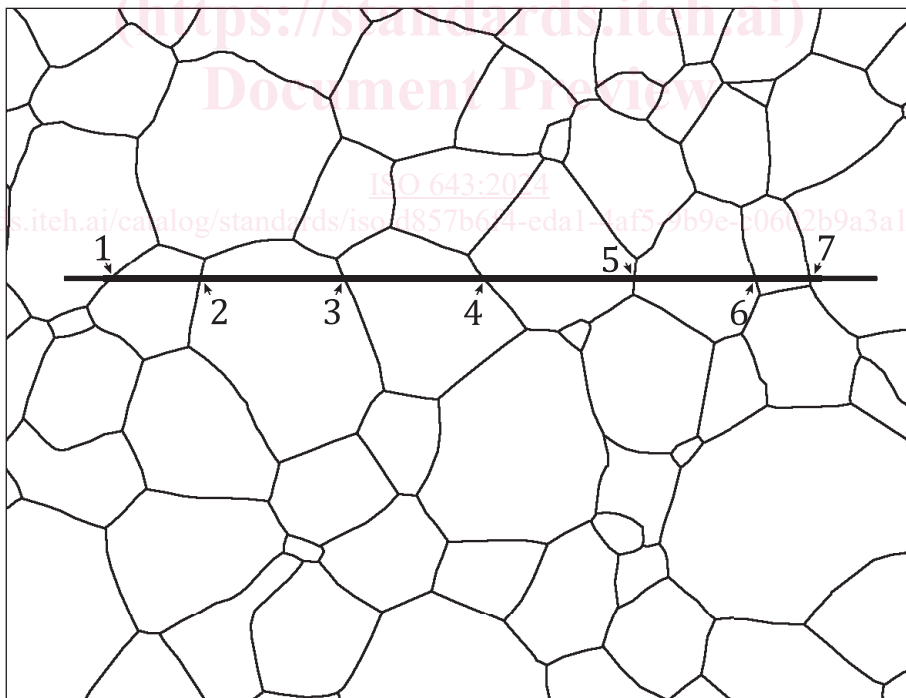


Figure 2 — Exemple d'intersection,  $P$

Intersection,  $P$ , comptage des grains pour une ligne de mesure droite placée sur une structure de grain monophasée où les flèches indiquent sept points d'intersection et  $P = 7$ .



## 6 Sélection et préparation de l'échantillon

### 6.1 Prélèvement

Si la commande ou la norme définissant le produit ne spécifie pas le nombre d'échantillons et l'emplacement auquel ils doivent être prélevés sur le produit, ceux-ci sont laissés à l'initiative du producteur, bien qu'il ait été montré que la précision de la détermination de la grosseur de grain est améliorée si davantage d'échantillons sont évalués. Des précautions doivent être prises pour s'assurer que les échantillons sont représentatifs de la totalité du produit (c'est-à-dire, éviter le matériel fortement déformé, comme celui qui se trouve à l'extrémité de certains produits ou là où le cisailage a été utilisé pour prélever l'échantillon, etc.). Les échantillons doivent être polis conformément aux techniques habituelles.

Sauf indication contraire dans la norme de produit ou en accord avec le client, la surface polie peut être sélectionnée de manière aléatoire pour les échantillons à grains équiaxes. La surface polie doit être parallèle à l'axe de déformation principal des produits corroyés, pour les échantillons à grains déformés.

NOTE Les mesurages de la grosseur de grain sur un plan transversal seront biaisés si le grain n'est pas équiaxe.

### 6.2 Mise en évidence des joints de grains ferritiques

Les grains ferritiques doivent être mis en évidence par attaque au nital (solution de 2 % à 3 % (en volume) d'acide nitrique dans de l'éthanol), ou à l'aide d'un autre réactif approprié.

### 6.3 Mise en évidence des joints de grains austénitiques et d'anciens joints de grains austénitiques

#### 6.3.1 Généralités

Dans le cas des aciers présentant une structure principalement austénitique monophasée ou biphasée (grains de ferrite delta dans une matrice austénitique) à la température ambiante, le grain doit être mis en évidence par une solution d'attaque. Pour les aciers inoxydables austénitiques monophasés, les réactifs chimiques les plus couramment utilisés sont le réactif glyceresia, le réactif de Kalling (n° 2) et le réactif de Marble. La meilleure attaque électrolytique pour les aciers inoxydables monophasés ou biphasés est l'acide nitrique aqueux à 60 % à 1,4 V c.c. pendant 60 s à 120 s, car il met en évidence les joints de grains mais pas les macles. L'acide oxalique à 10 %, 6 V c.c., jusqu'à 60 s, est couramment utilisé mais est moins efficace qu'une solution d'acide nitrique à 60 %.

Dans le cas d'autres aciers, l'une ou l'autre des méthodes décrites ci-après doit être utilisée, en fonction de l'information recherchée, à savoir:

- méthode de «Bechet-Beaujard» par attaque avec une solution aqueuse saturée en acide picrique (voir [A.2](#));
- méthode de «Kohn» par oxydation ménagée (voir [A.3](#));
- méthode de «McQuaid-Ehn» par cémentation (voir [A.4](#));
- méthode de sensibilisation des joints de grains (voir [A.7](#));
- d'autres méthodes prévues par accord particulier à la commande.

NOTE Les trois premières méthodes s'appliquent aux anciens joints de grains austénitiques, les autres aux aciers au manganèse austénitiques ou aux aciers inoxydables austénitiques; voir l'[Annexe A](#).

Si des essais comparatifs sont effectués pour les différentes méthodes, il est indispensable d'utiliser les mêmes conditions de traitement thermique. Les résultats peuvent sensiblement diverger d'une méthode à l'autre.

## 7 Caractérisation de la grosseur de grain

### 7.1 Généralités

#### 7.1.1 Méthodes de caractérisation

La grosseur de grain apparente peut être déterminée selon trois méthodes micrographiques: la méthode par comparaison, la méthode planimétrique et la méthode du segment intercepté.

#### 7.1.2 Formules

L'indice est défini par la [Formule \(1\)](#):

$$m = 8 \times 2^G \quad (1)$$

Cette formule peut être équivalente à la [Formule \(2\)](#):

$$G = \log_2 m - 3 \quad (2)$$

NOTE Un autre système de définition de la grosseur de grain est connu sous le nom de grosseur de grain ASTM (voir [C.2](#)).

#### 7.1.3 Exactitude des méthodes

En général, la méthode par comparaison permet d'obtenir une exactitude de 0,5, tandis que les méthodes planimétrique et du segment intercepté donnent une exactitude de 0,1, voir la Référence [3]. Pour comparer les méthodes, les indices obtenus sont généralement arrondis à des multiples de 0,5.

En raison du caractère aléatoire de la position spatiale de chaque grain découpé par le plan de coupe et de l'erreur de mesure, la détermination de la grosseur de grain apparente ne peut pas être un mesurage exact. Par conséquent, pour les méthodes planimétrique et du segment intercepté, il peut être utile de calculer l'intervalle de confiance de 95 % du résultat de la mesure de la grosseur du grain et d'ajuster le nombre de champs inspectés en fonction du pourcentage d'exactitude relative, % RA, du comptage correspondant à l'incertitude de  $\pm 0,25$  unité de grosseur de grain, en tenant compte du fait que pour une erreur symétrique de  $G$  le pourcentage de RA de la quantité mesurée n'est pas symétrique, voir l'[Annexe D](#).

Les méthodes décrites dans le présent document donnent des résultats représentatifs pour les échantillons ayant une distribution granulométrique unimodale. Leur application à des échantillons ayant des distributions granulométriques bimodales (ou plus complexes) donnera une valeur moyenne qui n'a probablement aucune relation significative avec les différentes populations de grains, mais qui peut tout de même représenter l'échantillon en moyenne. L'ISO 14250<sup>[4]</sup> peut être la norme la plus appropriée pour la caractérisation de ces échantillons, voir l'[Annexe E](#).

### 7.2 Méthode par comparaison

**7.2.1** L'image vue sur l'écran (ou sur une micrographie) doit être comparée à une série d'images types présentées à l'[Annexe B](#) ou à des transparents superposés (un oculaire avec réticule conçu pour la mesure de la grosseur du grain peut être utilisé dans la mesure où sa traçabilité par rapport à des normes nationales ou internationales est assurée). Les images types au grossissement 100:1 sont numérotées de -1 à 10 de sorte que leur numéro soit égal à l'indice  $G$ . Les images pour des grosseurs de grain de -1 à 3 sont incluses dans l'image type, mais lors de la détermination des grosseurs de grain dans cette gamme, il est recommandé, pour des raisons d'exactitude, de réduire le grossissement de fonctionnement du microscope, en combinaison avec la conversion d'indice conformément au [Tableau 2](#).

L'utilisation des images types de l'ASTM E112 donne sensiblement les mêmes résultats qu'avec les images types de l'[Annexe B](#), voir [C.2.4](#).

**7.2.2** L'image type ayant la grosseur de grain la plus proche de celle des champs examinés de l'échantillon peut alors être déterminée. Trois champs, au minimum, choisis de façon aléatoire, doivent être évalués sur chaque échantillon.

**7.2.3** Dans le cas où le grossissement  $g$  de l'image examinée sur l'écran ou sur une micrographie est différent de 100:1, l'indice  $G$  doit être égal au numéro  $M$  de l'image type la plus proche, modifié en fonction du rapport des grossissements, comme fourni par la [Formule \(3\)](#):

$$G = M + 2 \log_2 \frac{g}{100} = M + 6,64 \lg \frac{g}{100} \quad (3)$$

**7.2.4** Le [Tableau 2](#) donne la correspondance entre les indices pour les grossissements usuels.

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

[ISO 643:2024](#)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/d857b6f4-eda1-4af5-9b9e-c0602b9a3a13/iso-643-2024>

Tableau 2 — Correspondance entre les indices pour les grossissements usuels

Image type n°. <i>M</i>	Grosseur de grain <sup>b</sup>																																				
	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10																		
Grossissement de l'image <i>g</i>																																					
<i>Q</i> <sup>a</sup>																																					
25	-4	-3	-2,5	-2	-1,5	-1	-0,5	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10									
50	-2	-1	-0,5	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13	13,5	14	14,5	15	15,5	16	16,5
100	0	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13	13,5	14	14,5	15	15,5	16	16,5				
200	+2	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13	13,5	14	14,5	15	15,5	16	16,5								
400	+4	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13	13,5	14	14,5	15	15,5	16	16,5												
500	+4,5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13	13,5	14	14,5	15	15,5	16	16,5													
800	+6	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13	13,5	14	14,5	15	15,5	16	16,5																
1 000	+6,5	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13	13,5	14	14,5	15	15,5	16	16,5																	

<sup>a</sup> Les valeurs pour *g* = 500 et pour *g* = 1 000 sont arrondies au multiple de 0,5 le plus proche.

<sup>b</sup> EXEMPLE: À un grossissement *g* = 50, le numéro *M* = 3 de l'image type correspond à une grosseur de grain de *G* = 1.

7.2.5 Pour la méthode par comparaison, si la différence entre l'indice maximal  $G_{max}$  et l'indice minimal  $G_{min}$  déterminés est inférieure à trois (par exemple gamme de  $G = 6$  à  $8,5$ ), calculer le résultat d'essai comme la moyenne arithmétique des indices trouvés. Si les indices sont calculés au moyen de la [Formule \(3\)](#), la moyenne arithmétique est calculée après la modification pour un grossissement non standard. Si cette condition n'est pas remplie, l'opérateur doit effectuer une série supplémentaire d'au moins six déterminations de la grosseur de grain. Si la différence entre l'indice maximal et l'indice minimal déterminés dans cette nouvelle série est inférieure à trois, alors calculer le résultat d'essai comme la moyenne arithmétique de toutes les déterminations de la première et de la deuxième séries. Si cette dernière condition n'est pas remplie, noter l'étendue et un commentaire sur les résultats dans le rapport final. En variante, il convient de considérer l'ISO 14250. Pour une discussion plus détaillée sur les échantillons de distribution non unimodale, voir l'[Annexe E](#).

La moyenne arithmétique calculée des indices doit être arrondie au multiple de 0,5 le plus proche.

### 7.3 Méthode planimétrique

7.3.1 Historiquement, un cercle mesurant 79,8 mm de diamètre ( $A_F = 5\,000\text{ mm}^2$ ), voir [Figure 3](#), était tracé ou superposé sur le verre dépoli du microscope ou sur une micrographie. Le grossissement était ensuite ajusté de sorte que l'aire circulaire contienne au moins 50 grains afin de réduire au minimum l'erreur de comptage liée à une grille de mesure circulaire. La procédure et les formules suivantes sont indépendantes du grossissement.

NOTE Pour révéler une grosseur apparente, le cercle était spécifiquement associé à un grossissement 100:1, tel que perçu par un opérateur au microscope en utilisant des oculaires  $\times 10$  et un objectif  $\times 10$ . Cette référence était également utilisée dans d'autres applications telles que l'évaluation des inclusions, et elle l'est toujours. Il s'agit en outre d'une composante de la grille de cercle concentrique recommandée dans la méthode du segment intercepté, ainsi que de l'un des cercles de référence utilisés dans la méthode par comparaison.

Cependant, des outils plus récents comme les logiciels d'imagerie permettent d'optimiser la combinaison du diamètre du cercle et du grossissement pour faciliter le comptage et s'assurer que le nombre de grains dans le cercle atteigne au moins 50. Par conséquent, il n'est plus toujours pertinent d'associer une taille de cercle spécifique à un grossissement spécifique.

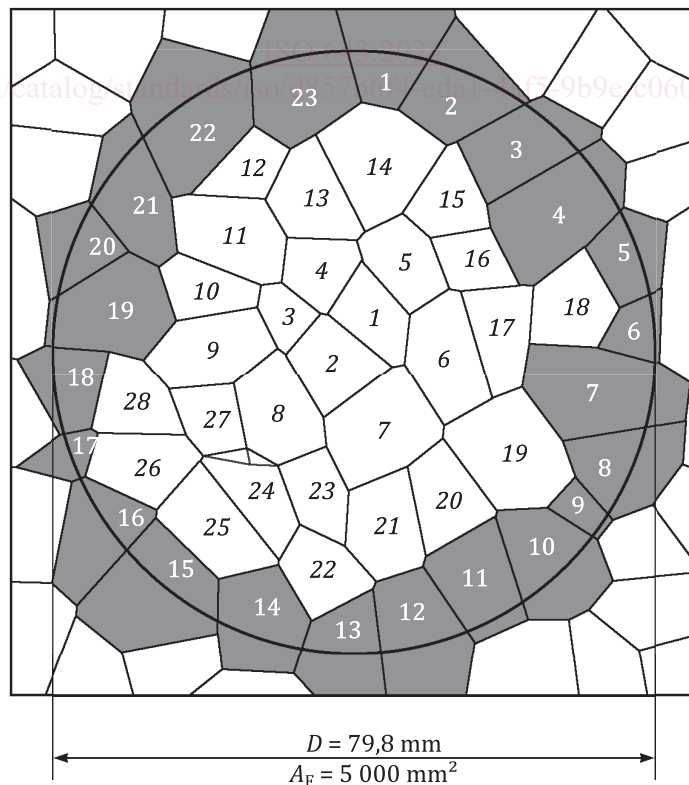


Figure 3 — Évaluation du nombre de grains sur une surface délimitée par un cercle

**7.3.2** Deux comptages sont effectués: le nombre de grains se trouvant entièrement à l'intérieur du cercle d'essai,  $n_e$ , quel que soit sa taille, et le nombre de grains interceptés par le cercle d'essai,  $n_i$ .

Le nombre total de grains équivalents,  $n_t$ , est calculé au moyen de la [Formule \(4\)](#):

$$n_t = n_e + \frac{n_i}{2} \quad (4)$$

Le nombre de grains par  $\text{mm}^2$ ,  $m$ , est calculé au moyen de la [Formule \(5\)](#):

$$m = \frac{n_t}{A_C} \quad (5)$$

où  $A_C$  est l'aire réelle du cercle.

**7.3.3** L'approche planimétrique se fonde sur l'hypothèse que, en moyenne, la moitié des grains coupés par le cercle d'essai est à l'intérieur et l'autre moitié est en dehors du cercle. Cette hypothèse est entièrement valable seulement pour une ligne droite passant à travers une structure de grain, mais non pour une ligne courbe, y compris pour un cercle. L'erreur de justesse créée par cette hypothèse augmente quand le nombre de grains à l'intérieur du cercle d'essai diminue. Si le nombre de grains dans le cercle d'essai est d'au moins 50, l'erreur de justesse est d'environ 2 %.

**7.3.4** Une manière simple d'éviter cette erreur de justesse, indépendamment du nombre de grains à l'intérieur de la figure d'essai, est d'utiliser un carré ou un rectangle (voir [Figure 4](#)). Toutefois, le mode opératoire de comptage doit alors être modifié.

D'abord, il est supposé que les grains sur chacun des quatre coins sont, en moyenne, pour un quart dans la figure et pour trois quarts en dehors. Ces quatre grains coupant les coins équivalent ensemble à un grain de l'intérieur du cadre d'essai. Le comptage est effectué en ignorant les quatre grains situés aux coins,  $n_e$ , pour les grains situés complètement dans le cadre et,  $n_i$ , (voir [Figure 4](#)). Le nombre total de grains est calculé selon la [Formule \(6\)](#):

$$n_t = n_e + \frac{n_i}{2} + 1 \quad (6)$$

ISO 643:2024

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/d857b6f4-eda1-4af5-9b9e-c0602b9a3a13/iso-643-2024>