
**Analyse par microfaisceaux —
Microscopie électronique à balayage —
Méthodes d'évaluation de la netteté
d'image**

*Microbeam analysis — Scanning electron microscopy — Methods of
evaluating image sharpness*

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO/TS 24597:2011](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/bf24f492-8955-479b-9e8b-70bc82872a38/iso-ts-24597-2011)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/bf24f492-8955-479b-9e8b-70bc82872a38/iso-ts-24597-2011>



iTeh STANDARD PREVIEW (standards.iteh.ai)

ISO/TS 24597:2011

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/bf24f492-8955-479b-9e8b-70bc82872a38/iso-ts-24597-2011>



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2011

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

ISO copyright office
Case postale 56 • CH-1211 Geneva 20
Tel. + 41 22 749 01 11
Fax + 41 22 749 09 47
E-mail copyright@iso.org
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
4 Étapes pour l'acquisition d'une image MEB.....	2
4.1 Généralités	2
4.2 Échantillon	2
4.3 Inclinaison de l'échantillon.....	3
4.4 Sélection du champ balayé	3
4.5 Sélection de la dimension d'un pixel.....	3
4.6 Brillance et contraste de l'image	4
4.7 Rapport contraste sur bruit de l'image	5
4.8 Focalisation et astigmatisme de l'image.....	7
4.9 Interférence provenant de facteurs externes	7
4.10 Contraste erroné.....	7
4.11 Fichier de données d'une image MEB.....	7
5 Acquisition d'une image MEB et sélection d'une zone de l'image.....	7
6 Méthodes d'évaluation.....	8
6.1 Généralités	8
6.2 Rapport contraste sur bruit.....	9
6.3 Méthode de la transformée de Fourier (TF).....	9
6.4 Méthode contraste sur gradient (CG).....	12
6.5 Méthode de la dérivée (DR)	16
7 Rapport d'essai.....	18
7.1 Généralités	18
7.2 Contenu du rapport d'essai.....	18
Annexe A (normative) Détails sur le rapport contraste sur bruit (CNR)	19
Annexe B (normative) Détails sur la méthode de la transformée de Fourier (TF)	24
Annexe C (normative) Détails de la méthode contraste sur gradient (CG)	40
Annexe D (normative) Détails de la méthode de la dérivée (DR).....	51
Annexe E (informative) Contexte de l'évaluation de la netteté d'image	72
Annexe F (informative) Caractéristiques et adéquation des différentes méthodes d'évaluation.....	77
Annexe G (informative) Méthode de préparation des échantillons d'essai pour évaluer la netteté d'image	81
Annexe H (informative) Exemple de rapport d'essai	83
Bibliographie.....	86

Avant-propos

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

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

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

Dans d'autres circonstances, en particulier lorsqu'il existe une demande urgente du marché, un comité technique peut décider de publier d'autres types de documents normatifs:

- une Spécification publiquement disponible ISO (ISO/PAS) représente un accord entre les experts dans un groupe de travail ISO et est acceptée pour publication si elle est approuvée par plus de 50 % des membres votants du comité dont relève le groupe de travail;
- une Spécification technique ISO (ISO/TS) représente un accord entre les membres d'un comité technique et est acceptée pour publication si elle est approuvée par 2/3 des membres votants du comité.

Une ISO/PAS ou ISO/TS fait l'objet d'un examen après trois ans afin de décider si elle est confirmée pour trois nouvelles années, révisée pour devenir une Norme internationale, ou annulée. Lorsqu'une ISO/PAS ou ISO/TS a été confirmée, elle fait l'objet d'un nouvel examen après trois ans qui décidera soit de sa transformation en Norme internationale soit de son annulation.

L'ISO/TS 24597 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 202, *Analyse par microfaisceaux*, sous-comité SC 4, *Microscopie électronique à balayage*.

Introduction

L'Organisation Internationale de Normalisation (ISO) attire l'attention sur le fait qu'il est déclaré que la conformité avec les dispositions du présent document peut impliquer l'utilisation d'un brevet intéressant la méthode contraste sur gradient (CG) traitée en 6.4.

L'ISO ne prend pas position quant à la preuve, à la validité et à la portée de ces droits de propriété.

Le détenteur de ces droits de propriété a donné l'assurance à l'ISO qu'il consent à négocier des licences avec des demandeurs du monde entier, à des termes et conditions raisonnables et non discriminatoires. À ce propos, la déclaration du détenteur des droits de propriété est enregistrée à l'ISO. Des informations peuvent être demandées à:

Détenteur du brevet: Hitachi, Ltd.

Adresse: Marunouchi Center Bldg., 6-1, Marunouchi 1-chome, Chiyoda-ku, Tokyo, 100-8220, Japon

L'attention est d'autre part attirée sur le fait que certains des éléments du présent document peuvent faire l'objet de droits de propriété autres que ceux qui ont été mentionnés ci-dessus. L'ISO ne saurait être tenue pour responsable de l'identification de ces droits de propriété en tout ou partie.

THIS STANDARD PREVIEW

(standards.iteh.ai)

[ISO/TS 24597:2011](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/bf24f492-8955-479b-9e8b-70bc82872a38/iso-ts-24597-2011)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/bf24f492-8955-479b-9e8b-70bc82872a38/iso-ts-24597-2011>

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO/TS 24597:2011

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/bf24f492-8955-479b-9e8b-70bc82872a38/iso-ts-24597-2011>

Analyse par microfaisceaux — Microscopie électronique à balayage — Méthodes d'évaluation de la netteté d'image

1 Domaine d'application

La présente Spécification technique spécifie des méthodes d'évaluation de la netteté d'images numérisées produites par un microscope électronique à balayage (MEB) au moyen de la méthode de la transformée de Fourier (TF), la méthode contraste sur gradient (CG) et la méthode de la dérivée (DR).

2 Références normatives

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

ISO 16700:2004, *Analyse par microfaisceaux — Microscopie électronique à balayage — Lignes directrices pour l'étalonnage du grandissement d'image*

ISO/CEI 17025:2005, *Exigences générales concernant la compétence des laboratoires d'étalonnages et d'essais*

ISO 22493, *Analyse par microfaisceaux — Microscopie électronique à balayage — Vocabulaire*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans l'ISO 16700 et l'ISO 22493, ainsi que les suivants s'appliquent.

3.1

pixel

plus petite unité d'image non divisible sur une image MEB numérisée

3.2

dimension d'un pixel

longueur d'un pixel de l'échantillon, en nanomètres, dans une image MEB

NOTE Il convient que la dimension horizontale et la dimension verticale du pixel soient identiques.

3.3

image MEB binaire

image MEB traitée dans laquelle il n'y a que deux niveaux de brillance

3.4

image convoluée

image obtenue par convolution d'une image MEB binaire par un profil gaussien bidimensionnel

3.5

facteur de netteté

double écart-type (2σ) du profil gaussien utilisé pour générer une image convoluée

3.6 netteté d'image
facteur de netteté divisé par la racine carrée de 2 (soit $2\sigma/\sqrt{2}$), le facteur de netteté d'une image MEB étant considéré identique à celui d'une image convoluée produite par un profil gaussien avec un écart-type σ

3.7 rapport contraste sur bruit CNR
rapport de $I_A - I_B$ sur σ_n , où I_A et I_B sont les intensités de l'objet et du fond de l'image, et σ_n est l'écart-type du bruit de l'image

3.8 méthode de la transformée de Fourier méthode TF
méthode d'évaluation de la netteté d'image par comparaison des profils de la transformée de Fourier d'une image MEB avec les profils des images convoluées

3.9 méthode contraste sur gradient méthode CG
méthode d'évaluation de la netteté d'image utilisant les gradients de la moyenne harmonique pondérée de la carte bidimensionnelle de distribution de la brillance d'une image MEB

3.10 méthode de la dérivée méthode DR
méthode d'évaluation de la netteté d'image en ajustant les profils de la fonction d'erreur aux profils des gradients des bords des particules dans une image MEB

3.11 champ balayé
zone d'un échantillon qui correspond à la totalité de l'image MEB

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO/TS 24597:2011

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/bf24492-8955-479b-9e8b-70bc62872a59/iso-ts-24597-2011>

4 Étapes pour l'acquisition d'une image MEB

4.1 Généralités

Pour l'acquisition d'une image MEB, il est important d'ajuster dans un premier temps les conditions du microscope (par exemple, voir l'Annexe B de l'ISO 16700:2004). La netteté d'image dépend (i) de l'échantillon lui-même, (ii) de la régularité structurale de l'avant-plan et du fond de l'image, (iii) de la brillance et du contraste et (iv) du rapport contraste sur bruit (CNR). En conséquence, suivre les procédures décrites en 4.2 à 4.10, correspondant aux paramètres ci-dessus afin d'évaluer la netteté d'image par les trois méthodes ici décrites. Une attention particulière doit être apportée à l'ajustement du courant de la sonde électronique et aux conditions de focalisation afin d'obtenir des exigences optimales pour la brillance et le contraste (voir 4.6) et le rapport contraste sur bruit (voir 4.7).

4.2 Échantillon

À la date de publication de la présente Spécification technique, aucun matériau de référence certifié (CRM) n'a été désigné. Des résultats acceptables peuvent cependant être obtenus en utilisant un échantillon préparé par la méthode décrite à l'Annexe G. Sélectionner un échantillon ayant une surface lisse et plane. Pour évaluer la netteté d'image, choisir une partie de l'échantillon qui contient des particules circulaires déposées sur le substrat. Obtenir les images souhaitées avec le grandissement choisi conformément à 4.4.

NOTE Un matériau sensible au faisceau d'électrons n'est pas approprié comme échantillon pour l'évaluation de la netteté d'image.

4.3 Inclinaison de l'échantillon

Fixer l'angle d'inclinaison de l'échantillon à 0° (condition de non-inclinaison).

NOTE Une erreur de $\pm 3^\circ$ de l'angle d'inclinaison de l'échantillon n'affectera pas l'évaluation de la netteté d'image.

4.4 Sélection du champ balayé

Sélectionner le champ balayé de sorte qu'il contienne une surface plane et lisse, car la netteté d'image varie en fonction de l'uniformité (ou plutôt de l'irrégularité) de la structure de la surface. Les Figures 1 a) et 1 b) montrent des champs balayés acceptables et inacceptables, respectivement. Choisir des particules de plusieurs dizaines de pixels [voir Figure 1 a)].

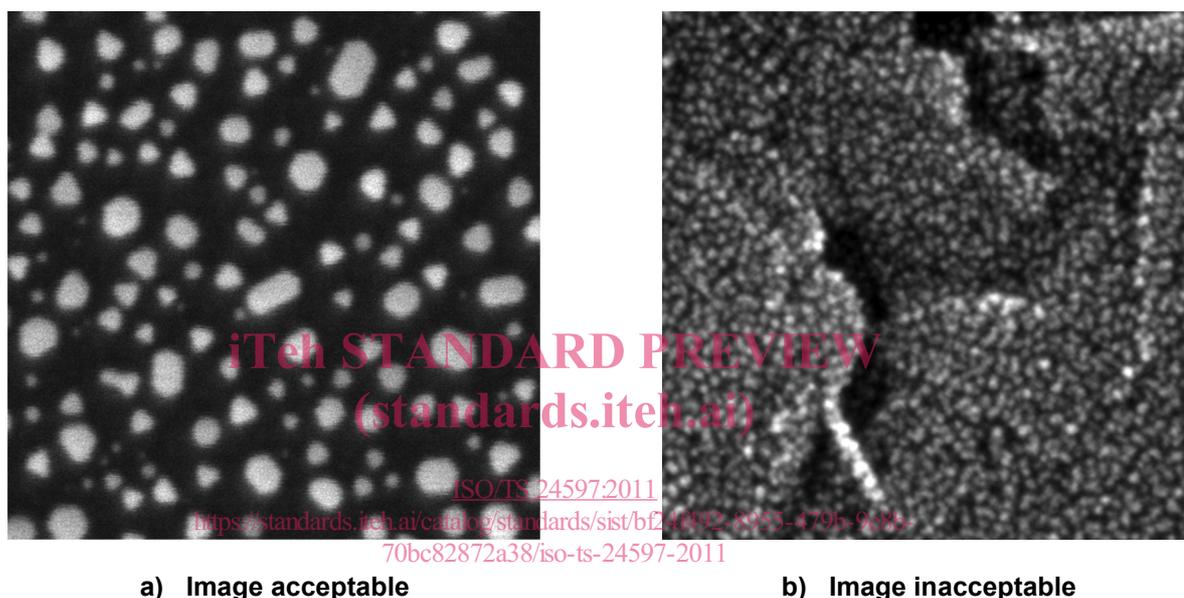


Figure 1 — Images MEB ayant des images d'avant-plan structurées a) acceptables et b) inacceptables

4.5 Sélection de la dimension d'un pixel

4.5.1 Généralités

Avant d'évaluer la netteté d'image, il est nécessaire d'étalonner le grandissement de l'image et/ou le marqueur d'échelle conformément à l'ISO 16700.

4.5.2 Détermination de la dimension d'un pixel à partir d'un champ balayé

La dimension d'un pixel L_p (en nm) est déterminée à partir de l'équation:

$$L_p = \frac{L_{FOV}}{N_p}$$

où

L_{FOV} est la largeur du champ balayé horizontal sur une image MEB, en nm;

N_p est le nombre de pixels contenu dans la largeur du champ balayé horizontal.

4.5.3 Détermination de la dimension d'un pixel à partir d'un marqueur d'échelle

La dimension d'un pixel L_p (en nm) est calculée en utilisant un marqueur d'échelle comme suit:

$$L_p = \frac{L_{scale}}{N_{scale}}$$

où

L_{scale} est la valeur «indicatrice» (par exemple la valeur nominale, en nm) du marqueur d'échelle;

N_{scale} est le nombre de pixels contenu dans la longueur du marqueur d'échelle.

4.5.4 Conversion de la dimension d'un pixel

La netteté d'image dérivée des méthodes décrites ici (R_{PX}) est en pixels. La netteté d'image R_L , convertie en nanomètres, est ensuite donnée par l'expression:

$$R_L = L_p \times R_{PX}$$

où L_p est la dimension d'un pixel.

Fixer la dimension d'un pixel à environ 40 % de la valeur attendue de la netteté d'image. Par exemple, fixer la dimension d'un pixel à 0,8 nm lorsque la netteté attendue des images est de 2 nm.

4.6 Brillance et contraste de l'image

Il convient que l'intensité du signal de l'image soit largement distribuée. Les Figures 2 a), b), c) et d) montrent des exemples d'images présentant une brillance et un contraste acceptables et inacceptables. Les profils de raie correspondant aux lignes pointillées à la même position verticale de chaque image sont montrés comme aide visuelle.

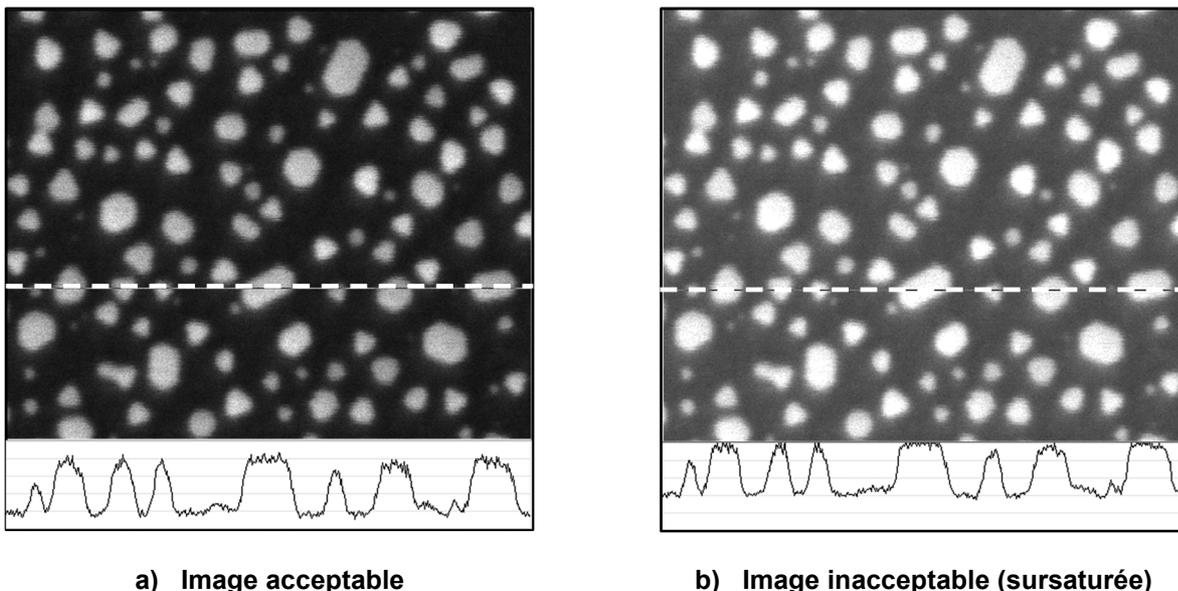


Figure 2 (suite)

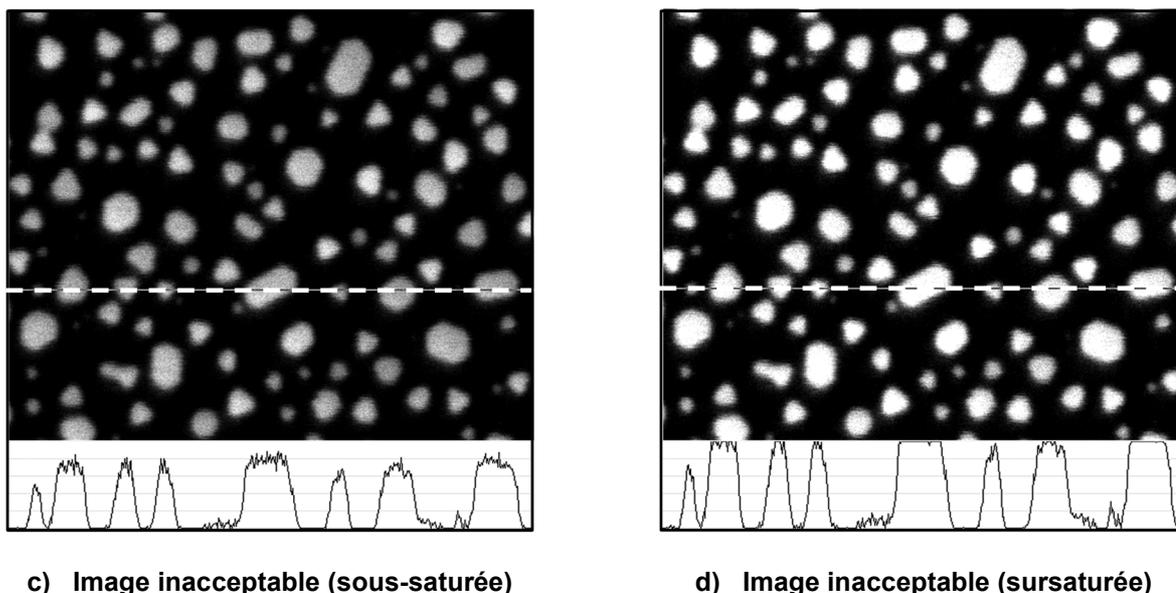


Figure 2 — Images MEB présentant une brillance et un contraste acceptables et inacceptables

4.7 Rapport contraste sur bruit de l'image

Le rapport contraste sur bruit (CNR) de l'image doit être de 10 ou plus. Ici, le rapport CNR est défini comme étant le rapport entre le contraste de l'image C_{image} et l'écart-type σ_n du bruit de l'image (voir Figure 3).

$$\text{CNR} = C_{\text{image}} / \sigma_n$$

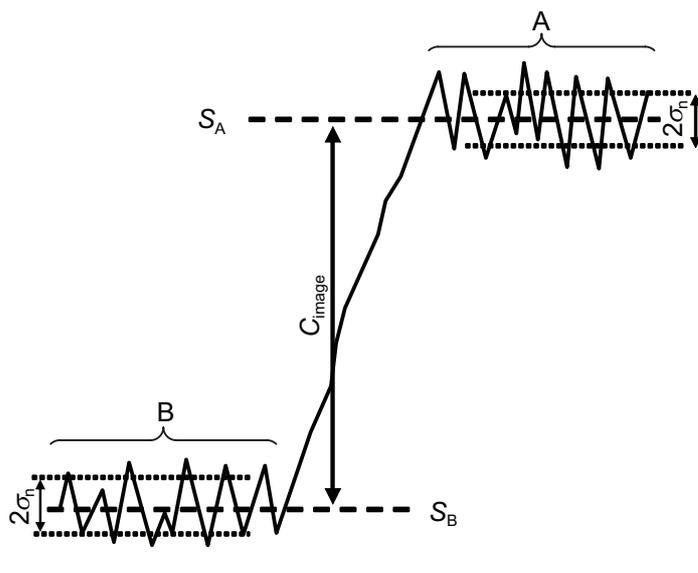
ISO/TS 24597:2011

Une procédure de détermination du rapport CNR est donnée à l'Annexe A.

La Figure 4 montre l'apparence simulée d'images ayant un CNR de 5, 10, et 50.

La Figure 5 montre des exemples d'images MEB ayant des CNR différents d'environ 4 et 30.

NOTE Afin d'obtenir des images MEB ayant un bon CNR, il est nécessaire d'ajuster le courant de sonde et/ou la durée d'acquisition de l'image. Il convient d'être conscient du fait que les variations des paramètres ci-dessus affecteront les résultats de l'évaluation de la netteté d'image.



Légende

- A région A
- B région B

Figure 3 — Profil d'intensité d'une image
iTeh STANDARD PREVIEW
 (standards.iteh.ai)

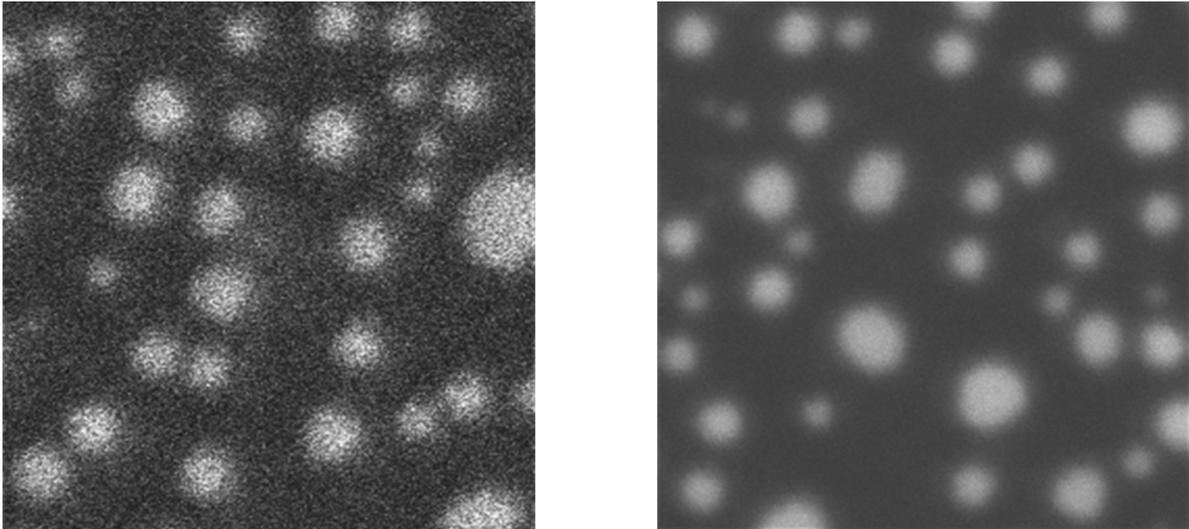


a) CNR = 5

b) CNR = 10

c) CNR = 50

Figure 4 — Images simulées ayant des rapports contraste sur bruit différents



a) Rapport contraste sur bruit faible (CNR \approx 4) b) Rapport contraste sur bruit élevé (CNR \approx 30)

Figure 5 — Images MEB ayant des rapports contraste sur bruit différents

4.8 Focalisation et astigmatisme de l'image

Focaliser le faisceau d'électrons le mieux possible. Utiliser une image exempte autant que possible d'astigmatisme.

4.9 Interférence provenant de facteurs externes

Les facteurs externes tels que les vibrations mécaniques, la distorsion par les champs magnétiques et les facteurs énumérés à l'Annexe B de l'ISO 16700:2004 affectent la netteté d'image. S'assurer, autant que possible, que les images utilisées ne sont pas affectées par ces facteurs.

4.10 Contraste erroné

S'assurer que les images ne contiennent pas de contraste erroné (par exemple un contraste dû à une charge de l'échantillon).

4.11 Fichier de données d'une image MEB

Les données d'image, qui sont directement sauvegardées à partir d'un MEB, doivent être sous forme numérique avec des niveaux de gris d'au moins 8 bits de profondeur. Le fichier de données de l'image doit être sous forme d'un fichier numérique non compressé, par exemple un fichier bitmap non compressé ou un fichier TIF non compressé.

Ne pas utiliser les données obtenues à partir d'une image MEB imprimée.

5 Acquisition d'une image MEB et sélection d'une zone de l'image

La procédure décrite dans le présent article est commune à toutes celles utilisées dans la présente Spécification technique (voir Article 6).

- a) Utiliser un échantillon préparé selon la procédure décrite en 4.2. Acquérir une image en prêtant une attention particulière aux instructions données en 4.3 à 4.10.

- b) Sélectionner une zone carrée dans l'image MEB (désignée ci-après par le terme d'image) comprenant au moins 256×256 pixels. La zone ne doit pas avoir de données parasites superposées (par exemple affichage du grandissement, marqueur d'échelle, caractères, flèches, etc.).

Choisir une zone contenant des images de particules de préférence non superposées.

- c) Stocker l'image MEB sélectionnée dans un fichier de données sous forme d'un fichier numérique non compressé spécifié en 4.11.

6 Méthodes d'évaluation

6.1 Généralités

Les méthodes d'évaluation décrites en 6.3 à 6.5 sont basées sur la supposition que le faisceau d'électrons présente un profil gaussien. Les résultats obtenus par ces méthodes ne représentent donc pas la dimension réelle du faisceau (voir E.4). La Figure 6 montre un diagramme général de l'évaluation d'une image MEB incluant la procédure courante d'évaluation du CNR donnée à l'Article 5.

Les procédures de base pour obtenir la netteté d'image sont les suivantes.

- a) Sélectionner une image MEB en suivant l'Article 5.
- b) Déterminer le CNR pour l'image MEB sélectionnée (voir 6.2) et s'assurer qu'il est supérieur ou égal à 10 avant de poursuivre.
- c) Calculer le facteur de netteté 2σ de l'image MEB sélectionnée, dans l'espace des fréquences ou l'espace réel (selon la méthode utilisée). Ici, la netteté d'une image MEB est déterminée à partir d'une image équivalente produite par convolution d'une image MEB binaire par un profil gaussien bidimensionnel avec un facteur de netteté 2σ (c'est-à-dire un double écart-type).

NOTE La procédure de calcul dépend de la méthode utilisée.

- d) La netteté d'image est définie comme étant $k \times 2\sigma$, où $k = 1/\sqrt{2}$.

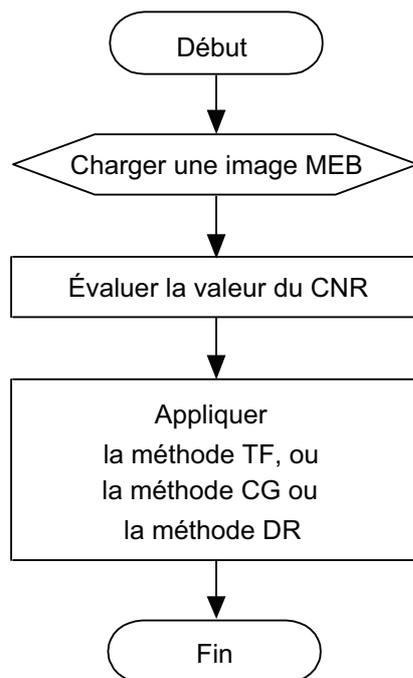
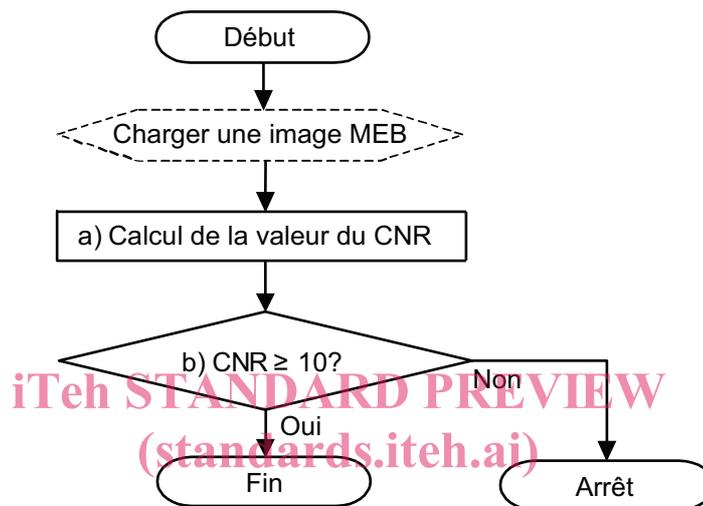


Figure 6 — Diagramme général de l'évaluation d'une image MEB

6.2 Rapport contraste sur bruit

Le concept de base du rapport contraste sur bruit (voir 4.7) a été développé dans le domaine de l'imagerie médicale. Le CNR de l'image MEB sélectionnée étudiée doit être évalué. Seules les images ayant un CNR = 10 ou supérieur peuvent être soumises à l'étape suivante de détermination de la netteté d'image. La Figure 7 montre un bref diagramme de l'évaluation du CNR suivant les routines a) et b). Des détails sur les routines sont donnés à l'Annexe A.

Si la valeur du CNR < 10, éliminer l'image MEB. Acquérir une nouvelle image MEB avec un bruit plus faible et procéder à nouveau à l'évaluation.



ISO/TS 24597:2011

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/bf24f492-8955-479b-9e8b-70c621000000/iso-ts-24597-2011>

Figure 7 — Diagramme de l'évaluation du CNR

6.3 Méthode de la transformée de Fourier (TF)

Pour évaluer la netteté d'image, la méthode de la transformée de Fourier (TF) est utilisée avec les composants de fréquence spatiale donnés par la TF d'une image MEB. Les composants de fréquence spatiale de l'image MEB sont comparés à ceux des images obtenues par la convolution de l'image MEB binarisée par des profils gaussiens avec différents facteurs de netteté 2σ (voir Figures 8 et 9). Des détails sur les procédures de la méthode TF sont donnés à l'Annexe B.

NOTE L'intensité du signal d'une image I_m est exprimée par $I_m(i, j)$, et les coordonnées i et j sont choisies comme étant 0, 1, ..., $L - 1$ pour une image avec des dimensions x et y de L ($= 256, 512, \dots$). Cependant, les coordonnées i et j sont traitées comme des nombres entiers compris entre $-L/2$ et $(L/2) - 1$ pour le modèle de TF.