

---

---

**Revêtements métalliques — Mesurage  
de l'épaisseur de revêtement —  
Méthode profilométrique**

*Metallic coatings — Measurement of coating thickness —  
Profilometric method*

**iTeh STANDARD PREVIEW**  
**(standards.iteh.ai)**

[ISO 4518:2021](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/ff4dbaad-b20c-4d86-b895-45f28dc1133d/iso-4518-2021)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/ff4dbaad-b20c-4d86-b895-45f28dc1133d/iso-4518-2021>



## iTeh STANDARD PREVIEW (standards.iteh.ai)

[ISO 4518:2021](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/ff4dbaad-b20c-4d86-b895-45f28dc1133d/iso-4518-2021)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/ff4dbaad-b20c-4d86-b895-45f28dc1133d/iso-4518-2021>



### 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](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</b> <b>Domaine d'application</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b> <b>Références normatives</b> .....	<b>1</b>
<b>3</b> <b>Termes et définitions</b> .....	<b>1</b>
<b>4</b> <b>Principe</b> .....	<b>1</b>
<b>5</b> <b>Appareillage — Paramètres opératoires et caractéristiques de mesure</b> .....	<b>2</b>
5.1   Types d'enregistreurs de profil.....	2
5.2   Instruments à palpeur.....	2
5.3   Sondes de mesure inductives ou capteurs de déplacement.....	3
5.4   Profilomètres optiques.....	3
<b>6</b> <b>Facteurs relatifs à l'exactitude</b> .....	<b>4</b>
6.1   Enregistrement du profil.....	4
6.2   Amplification verticale (uniquement pour les instruments à enregistreur graphique).....	4
6.3   Mesurages graphiques.....	4
6.4   Force appliquée (uniquement pour les profilomètres à palpeur).....	4
6.5   Diamètre du palpeur et rugosité de la surface.....	5
6.6   Rugosité de surface.....	5
6.7   Vibrations.....	5
6.8   Courbure de la surface.....	5
6.9   Propreté.....	5
6.10  Température.....	5
6.11  Configuration du gradin.....	5
6.12  Niveau de référence (uniquement pour les profilomètres à palpeur).....	6
6.13  Étalonnage.....	6
<b>7</b> <b>Étalonnage</b> .....	<b>6</b>
<b>8</b> <b>Mode opératoire</b> .....	<b>6</b>
8.1   Réalisation du gradin.....	6
8.2   Enregistrement des profils.....	7
8.3   Mesure de l'épaisseur.....	7
8.4   Exactitude de mesure.....	7
<b>9</b> <b>Rapport d'essai</b> .....	<b>8</b>
<b>Bibliographie</b> .....	<b>9</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'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](http://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.

(standards.iteh.ai)

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 107, *Revêtements métalliques et autres revêtements inorganiques*, en collaboration avec le Comité technique CEN/TC 262, *Revêtements métalliques et autres revêtements inorganiques, incluant ceux pour la protection contre la corrosion et les essais de corrosion des métaux et alliages*, du Comité européen de normalisation (CEN), conformément à l'Accord de coopération technique entre l'ISO et le CEN (Accord de Vienne).

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition (ISO 4518:1980), qui a fait l'objet d'une révision technique. Les principales modifications par rapport à l'édition précédente sont les suivantes:

- ajout de profilomètres optiques tels que des microscopes confocaux ou des microscopes interférentiels comme autre possibilité pour la mesure de la hauteur de gradin, en plus des instruments à palpeur;
- ajout d'une description de profilomètres à palpeur de la nouvelle génération.

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

# Revêtements métalliques — Mesurage de l'épaisseur de revêtement — Méthode profilométrique

## 1 Domaine d'application

Le présent document spécifie une méthode de mesure de l'épaisseur de revêtements métalliques consistant à former tout d'abord un gradin entre la surface du revêtement et la surface de son substrat, puis à mesurer la hauteur de ce gradin à l'aide d'un instrument à enregistreur de profil. Il indique les caractéristiques d'appareillage et le mode opératoire convenant à cette application particulière des méthodes profilométriques.

La méthode est applicable au mesurage de l'épaisseur de revêtements métalliques de 0,01  $\mu\text{m}$  à 1 000  $\mu\text{m}$  sur des surfaces planes et, en prenant les précautions appropriées, sur des surfaces cylindriques. Elle convient particulièrement au mesurage de très faibles épaisseurs; toutefois, pour les épaisseurs inférieures à 0,01  $\mu\text{m}$ , pour lesquelles la planéité et le poli de la surface sont très critiques, il n'est pas approprié d'utiliser cette méthode au niveau minimal de mesurage habituel pour les instruments électroniques à palpeur. Cette méthode convient pour le mesurage des épaisseurs de revêtements lors de la fabrication d'étalons d'épaisseurs.

## 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).

ISO 2177, *Revêtements métalliques — Mesurage de l'épaisseur — Méthode coulométrique par dissolution anodique*

## 3 Termes et définitions

Aucun terme n'est défini dans le présent document.

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/>

## 4 Principe

Formation d'un gradin, soit en dissolvant une partie du métal d'apport (contrôle en réception), soit en masquant une partie du métal de base avant revêtement (contrôle en fabrication). Mesurage de la hauteur du gradin à l'aide d'un enregistreur de profil.

## 5 Appareillage — Paramètres opératoires et caractéristiques de mesure

### 5.1 Types d'enregistreurs de profil

Il est possible d'utiliser l'un des trois types suivants:

- a) des instruments à contact de type palpeur, appelés rugosimètres, servant généralement à déterminer la rugosité des surfaces, mais qui sont utilisés, dans le présent document, pour enregistrer le profil d'un gradin;
- b) une sonde de mesure inductive ou un capteur de déplacement (incrémental ou absolu) pouvant enregistrer le profil d'un gradin;
- c) des profilomètres optiques, c'est-à-dire des microscopes interférentiels ou des microscopes confocaux à lumière blanche (conventionnels, à balayage laser ou à capteur chromatique), qui sont généralement utilisés pour mesurer des informations topographiques de surface et la rugosité de la surface en 3D mais qui, dans le cadre du présent document, servent à enregistrer et à évaluer le profil d'un gradin.

Les instruments à palpeur peuvent être plus utiles car ils permettent de mesurer la rugosité et la forme, tandis que les sondes de mesure ou les capteurs de déplacement peuvent être de construction plus simple. Les instruments à palpeur conçus uniquement pour mesurer la rugosité couvrent généralement des plages d'épaisseurs de revêtement de 0,005 µm à 250 µm. Les autres instruments à contact peuvent aller jusqu'à 1 000 µm.

### 5.2 Instruments à palpeur

Ces instruments sont utilisés pour enregistrer le profil d'une surface et comprennent habituellement les éléments suivants:

**5.2.1 Un capteur à palpeur à pointe conique ou pyramidale** ayant un angle d'ouverture de 1,05 rad (60°) ou 1,57 rad (90°) et un rayon de pointe nominal, dans le sens de mesure, de 2 µm, 5 µm, 10 µm ou 50 µm. La force de contact sur la surface à explorer ne doit pas excéder la valeur appropriée figurant dans le [Tableau 1](#).

**Tableau 1 — Force maximale exercée sur la pointe**

Valeur nominale du rayon de la pointe du palpeur, µm	2	5	10	50 <sup>b</sup>
Force de mesure statique maximale au niveau moyen de la pointe, mN <sup>a</sup>	0,7	4	16	10 <sup>b</sup>
<sup>a</sup> 1 mN ≈ 0,1 gf.				
<sup>b</sup> Valeurs à utiliser pour les métaux de faible dureté, tels que l'étain.				

**5.2.2 Une tête de mesure**, qui déplace le capteur par rapport à un patin ou, dans le cas où ce patin peut provoquer une détérioration de la surface explorée ou une déformation du gradin à mesurer, un capteur à surface de référence ayant la forme nominale du profil.

**5.2.3 Une unité regroupant l'amplificateur et l'instrument enregistreur**, dans un dispositif de commande électronique associé à un logiciel, pouvant afficher et imprimer les données numérisées à toute amplification (zoom) verticale et horizontale souhaitable.

Les instruments de l'ancienne génération, à traitement purement analogique des valeurs de mesure sont équipés d'un amplificateur à paliers d'amplification déterminés et d'un instrument enregistreur restituant les valeurs amplifiées ( $V_v$ ) sur les valeurs amplifiées du mouvement horizontal de la tête de mesure ( $V_h$ ).

#### 5.2.4 Enregistreurs de profil ayant les propriétés suivantes:

- zone d'exploration: de 1 mm à 100 mm;
- étendue de mesure de l'épaisseur: de 0,005  $\mu\text{m}$  à 250  $\mu\text{m}$ ;
- résolution en hauteur (en fonction de l'étendue de mesure): de 0,000 5  $\mu\text{m}$  à 1  $\mu\text{m}$ .

### 5.3 Sondes de mesure inductives ou capteurs de déplacement

**5.3.1** Les sondes de mesure inductives ou les capteurs de déplacement ont une conception très similaire à celle des instruments électroniques à palpeur (voir 5.2), la principale différence étant que le palpeur de grand rayon ne restitue pas le micro-profil de la surface.

**5.3.2** Des exemples types des paramètres opératoires et des caractéristiques de mesure d'une sonde de mesure inductive ou d'un capteur de déplacement sont donnés ci-après.

Paramètres opératoires:

- une linéarité supérieure ou égale à 0,5 %;
- une table assurant un mouvement rectiligne de la surface à explorer;
- des amplificateurs appropriés;
- l'utilisation des paramètres opératoires suivants:
  - rayon du palpeur: 250  $\mu\text{m}$ ;
  - amplification maximale:  $\times 50\,000$ ;
  - force statique du palpeur: 0,12 N.

Caractéristiques de mesure:

- zone d'exploration: 100 mm;
- étendue de mesure de l'épaisseur: de 1  $\mu\text{m}$  à 1 000  $\mu\text{m}$ ;
- résolution en hauteur (en fonction de l'étendue de mesure): de 0,02  $\mu\text{m}$  à 20  $\mu\text{m}$ .

### 5.4 Profilomètres optiques

Les profilomètres optiques reposent sur la technologie des microscopes optiques, utilisent des objectifs similaires et présentent donc une résolution latérale similaire mais en raison de la technique interférentielle ou confocale et de l'évaluation numérique des données, ils permettent d'obtenir une bonne résolution en hauteur.

Des exemples types des caractéristiques de mesure des profilomètres optiques sont donnés ci-après.

Pour les microscopes interférentiels à lumière blanche:

- étendue de mesure de l'épaisseur:  $10 \times Ra$  à 50 % de la différence de hauteur mesurable maximale (selon l'instrument);
- résolution en hauteur: 0,5 nm.

Pour les microscopes confocaux:

- étendue de mesure de l'épaisseur:  $10 \times Ra$  à 50 % de la différence de hauteur mesurable maximale (selon l'instrument);

- résolution en hauteur: 0,5 nm.

Pour les microscopes confocaux à balayage laser:

- étendue de mesure de l'épaisseur:  $10 \times Ra$  à 50 % de la différence de hauteur mesurable maximale (selon l'instrument);
- résolution en hauteur: 0,5 nm.

Pour les microscopes confocaux à capteur chromatique:

- étendue de mesure de l'épaisseur:  $10 \times Ra$  à 50 % de la différence de hauteur mesurable maximale (par exemple 0,15 mm ou 0,5 mm);
- la résolution en hauteur dépend du capteur sélectionné et de la différence de hauteur mesurable: plus la plage de fonctionnement est importante, plus la résolution est mauvaise.

## 6 Facteurs relatifs à l'exactitude

### 6.1 Enregistrement du profil

L'épaisseur étant mesurée à partir de l'enregistrement d'un profil, il peut se produire des erreurs si l'enregistrement ne donne pas une reproduction fidèle du gradin, avec un agrandissement adapté. Des enregistrements manquant d'exactitude peuvent être symptomatique de la qualité de l'appareil enregistreur ou d'un réglage inadapté de celui-ci.

### 6.2 Amplification verticale (uniquement pour les instruments à enregistreur graphique)

Une amplification verticale insuffisante conduit à une fidélité non satisfaisante des mesures. Il convient de régler cette amplification de façon à optimiser l'exploitation de la largeur de l'enregistrement.

### 6.3 Mesurages graphiques

Si la surface à mesurer n'est pas parallèle au niveau de référence, l'enregistrement de la surface horizontale est incliné par rapport à la grille. La partie verticale du gradin est également inclinée, mais elle peut apparaître verticale sur le graphique, selon les amplifications horizontale et verticale appliquées, selon le rayon du palpeur et enfin, selon la hauteur du gradin (c'est-à-dire l'épaisseur du revêtement). Quand le profil est incliné, une erreur courante consiste à mesurer la distance sur la perpendiculaire aux lignes moyennes du profil, sans appliquer de corrections pour tenir compte des différences entre les amplifications horizontale et verticale.

Les instruments de la nouvelle génération dotés d'une évaluation logicielle peuvent corriger ces effets.

Pour éviter ces erreurs ou des calculs mathématiques additionnels, le niveau de référence et la surface à mesurer doivent être parallèles. Cela peut être réalisé en utilisant un montage ou un dispositif de fixation approprié.

### 6.4 Force appliquée (uniquement pour les profilomètres à palpeur)

Si la force appliquée sur le palpeur est trop élevée, la pointe du palpeur provoque une rayure ou une déformation qui peut fausser les résultats. Il convient de maintenir au minimum la force appliquée. En règle générale, il convient que la force appliquée ne dépasse pas les valeurs données au [Tableau 1](#).



## 6.5 Diamètre du palpeur et rugosité de la surface

L'utilisation d'un palpeur à pointe de petit diamètre sur une surface rugueuse rend difficile le mesurage exact de la hauteur du gradin du fait du manque de netteté des points extrêmes du gradin enregistré. L'emploi d'un palpeur à pointe de diamètre plus important diminue cette difficulté.

Si les surfaces du substrat et du revêtement présentent une rugosité différente, le profil du gradin peut être mal enregistré dans la mesure où le palpeur restitue les points élevés de la micro-géométrie de la surface, plus sur une surface que sur l'autre, en raison des différents intervalles crête-à-crête. L'utilisation d'un palpeur à pointe à faible rayon de courbure tend à réduire cette erreur.

Il est également possible d'utiliser un palpeur équipé d'un filtre électronique, pour atténuer les amplitudes du profil, mais ce dispositif a pour effet d'arrondir les arêtes du gradin formé par les deux surfaces.

## 6.6 Rugosité de surface

En principe, il convient que la rugosité du substrat (hauteur entre une crête et un creux de la surface du profil) ne dépasse pas 10 % de la hauteur du gradin.

En cas d'utilisation de profilomètres optiques, les dimensions latérales des éléments de la surface du profil (par exemple la largeur moyenne des éléments du profil,  $RS_m$ ) doivent dépasser plusieurs fois la longueur d'onde de la lumière, sinon il est impossible de déterminer un plan.

## 6.7 Vibrations

Les vibrations peuvent faire apparaître des irrégularités ou un bruit de fond dans le profil enregistré, d'où la difficulté d'effectuer le mesurage avec exactitude. Il convient que l'appareillage soit isolé de manière à éviter les vibrations. En principe, il convient que la hauteur entre une crête et un creux ne dépasse pas 10 % de la hauteur du gradin. [ISO 4518:2021](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/ff4dbaad-b20c-4d86-b895-45f28dc1133d/iso-4518-2021)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/ff4dbaad-b20c-4d86-b895-45f28dc1133d/iso-4518-2021>

## 6.8 Courbure de la surface

La courbure de la surface peut empêcher de réaliser avec exactitude le mesurage du profil de gradin enregistré. Il convient que les mesurages soient faits sur des surfaces aussi planes que possible. S'ils doivent être effectués sur une surface courbe, il convient que la zone d'exploration du palpeur se situe dans la direction de la courbure la plus faible, par ex. selon une direction parallèle à l'axe d'un cylindre (le gradin étant parallèle à la direction de la courbure maximale).

## 6.9 Propreté

Toute matière étrangère, telle que salissures, huile et produits de corrosion, peut donner des mesures erronées. Il convient de nettoyer les surfaces à mesurer, et aussi raisonnablement que possible, de débarrasser, l'air du laboratoire des poussières et des impuretés.

## 6.10 Température

Les variations de température peuvent influencer sur le mesurage. C'est pourquoi il convient que la température soit uniforme et stable, dans la mesure du possible.

## 6.11 Configuration du gradin

Un gradin mal défini (par ex., avec des arêtes excessivement arrondies) peut entraver l'exactitude de mesure en compliquant l'évaluation des niveaux généraux des surfaces supérieure et inférieure. Il convient que les gradins soient réalisés avec des arêtes suffisamment vives.

## 6.12 Niveau de référence (uniquement pour les profilomètres à palpeur)

Le palpeur se déplace par rapport à un niveau de référence ou à un patin, et le mouvement vertical du palpeur par rapport à ce niveau de référence ou à ce patin est enregistré. Le patin est une surface arrondie qui se déplace sur la surface de l'éprouvette, et la surface de référence est une partie de l'appareillage indépendante de l'éprouvette.

La fidélité d'un enregistrement dépend de la qualité (planéité et rectitude) du niveau de référence.

## 6.13 Étalonnage

L'exactitude de mesure de l'épaisseur ne sera pas supérieure à l'incertitude liée à l'étalonnage de l'appareil ni à celle associée à l'étalon de hauteur du gradin utilisé pour calibrer l'appareil. L'étalonnage peut varier dans le temps, et les fréquences d'étalonnage seront déterminées par expérience. Même s'il est étalonné soigneusement, un appareil peut donner une erreur de 2 %, du fait de la non-linéarité de sa réponse. Pour réduire au minimum cette erreur, l'appareil peut être étalonné en deux points encadrant de très près les niveaux des surfaces du gradin à mesurer.

## 7 Étalonnage

7.1 Étalonner l'instrument conformément aux instructions du fabricant en accordant une attention particulière aux facteurs énumérés à l'[Article 6](#).

7.2 Il convient de connaître la hauteur de l'étalon utilisé pour étalonner l'instrument avec une incertitude inférieure à 5 %. Cependant, pour des gradins inférieurs à 0,1 µm, l'incertitude peut être considérablement supérieure à 5 %.

7.3 Répéter l'étalonnage à intervalles réguliers (voir [6.13](#)), et chaque fois qu'il existe un doute quant à un changement d'étalonnage.

## 8 Mode opératoire

### 8.1 Réalisation du gradin

8.1.1 Enlever une partie du revêtement, sans qu'il y ait attaque du métal de base. La préparation du gradin doit être telle que le niveau supérieur du gradin ne soit aucunement altéré ou attaqué, le niveau inférieur devant être exempt de toute trace de revêtement. Des méthodes appropriées à la préparation de gradins sont indiquées en [8.1.2](#), [8.1.3](#) et [8.1.4](#).

8.1.2 En utilisant un matériau approprié, protéger toute la surface du revêtement, à l'exception de la zone où le revêtement doit être dissous. Dissoudre le revêtement exposé, avec un réactif convenable, qui n'attaque pas le métal de base, et éliminer les restes de matériau de masquage.

8.1.3 Dissoudre une petite surface du dépôt avec une cellule d'électrolyse identique à celle utilisée dans la méthode coulométrique de mesurage d'épaisseur par dissolution anodique, conformément à l'ISO 2177.

Un seul passage du palpeur le long du diamètre du petit cercle produit par la dissolution électrolytique fournit un profil avec deux gradins.

Pour être en accord avec la définition, spécifiée dans l'ISO 2064, de l'épaisseur minimale, mesurée sur une aire de référence d'environ 1 cm<sup>2</sup>, il est recommandé d'éliminer quatre petites surfaces circulaires du dépôt, à l'intérieur d'un carré de 1 cm de côté, voir [Figure 1](#), d'enregistrer le profil du gradin, puis de mesurer la hauteur de ce gradin au plus près de chacun des quatre angles du carré.