
**Revêtement métalliques non
magnétiques sur métal de base
magnétique — Mesurage de
l'épaisseur du revêtement — Méthode
magnétique**

*Non-magnetic coatings on magnetic substrates — Measurement of
coating thickness — Magnetic method*
(standards.iteh.ai)

[ISO 2178:2016](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/eca08554-1165-44be-8b45-c352e1ca63ae/iso-2178-2016)

[https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/eca08554-1165-44be-8b45-
c352e1ca63ae/iso-2178-2016](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/eca08554-1165-44be-8b45-c352e1ca63ae/iso-2178-2016)



iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 2178:2016

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/eca08554-1165-44be-8b45-c352e1ca63ae/iso-2178-2016>



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2016, Publié en Suisse

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, 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, l'affichage sur l'internet ou sur un Intranet, sans autorisation écrite préalable. Les demandes d'autorisation peuvent être adressées à l'ISO à l'adresse ci-après ou au comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office
Ch. de Blandonnet 8 • CP 401
CH-1214 Vernier, Geneva, Switzerland
Tel. +41 22 749 01 11
Fax +41 22 749 09 47
copyright@iso.org
www.iso.org

Sommaire

Page

Avant-propos.....	v
1 Domaine d'application	1
2 Références normatives	1
3 Termes et définitions	1
4 Principe de mesure	2
4.1 Principe de base de toutes les méthodes de mesure magnétiques.....	2
4.2 Méthode par attraction magnétique.....	2
4.3 Principe de l'induction magnétique.....	3
4.4 Jauge à flux magnétique.....	5
5 Facteurs influençant l'exactitude de mesure	6
5.1 Influence fondamentale de l'épaisseur du revêtement.....	6
5.2 Propriétés magnétiques du métal de base.....	6
5.3 Propriétés électriques des produits de revêtement.....	7
5.4 Géométrie: épaisseur du métal de base.....	7
5.5 Effet de bord.....	7
5.6 Géométrie: courbure de la surface.....	7
5.7 Rugosité de surface.....	8
5.8 Propreté: effet d'éloignement.....	8
5.9 Pression du palpeur.....	8
5.10 Inclinaison du palpeur.....	8
5.11 Effets de la température.....	9
5.12 Champs électromagnétiques externes.....	9
6 Étalonnage et ajustage de l'instrument	9
6.1 Généralités.....	9
6.2 Étalons de référence d'épaisseur.....	9
6.3 Méthodes d'ajustage.....	10
7 Mode opératoire de mesurage et évaluation	11
7.1 Généralités.....	11
7.2 Nombre de mesurages et évaluation.....	11
8 Incertitude des résultats	12
8.1 Remarques générales.....	12
8.2 Incertitude associée à l'étalonnage de l'instrument.....	12
8.3 Erreurs stochastiques.....	13
8.4 Incertitudes dues aux facteurs mentionnés à l'Article 5.....	14
8.5 Incertitude composée, incertitude élargie et résultat final.....	14
9 Fidélité	15
9.1 Généralités.....	15
9.2 Répétabilité (r).....	15
9.3 Limite de reproductibilité (R).....	15
10 Rapport d'essai	15
Annexe A (informative) Principe de base de toutes les méthodes de mesure	17
Annexe B (informative) Exigences de performance de base des jauges d'épaisseur de revêtement fondées sur la méthode magnétique décrite dans la présente Norme internationale	19
Annexe C (informative) Exemples d'estimation expérimentale des facteurs influant sur la mesure	21
Annexe D (informative) Exemple d'estimation de l'incertitude (voir Article 8)	26
Annexe E (informative) Principes de base de la détermination de l'incertitude de mesure	

de la méthode de mesure utilisée correspondant au Guide ISO/IEC 98-3	29
Annexe F (informative) Tableau du facteur de Student	31
Annexe G (informative) Détails relatifs aux données de fidélité	32
Bibliographie	38

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO 2178:2016](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/eca08554-1165-44be-8b45-c352e1ca63ae/iso-2178-2016)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/eca08554-1165-44be-8b45-c352e1ca63ae/iso-2178-2016>

Avant-propos

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (comité 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 appelée 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 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'OMC concernant les obstacles techniques au commerce (OTC), voir le lien suivant: [Avant-propos - Informations supplémentaires](http://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/cca08554-1163-44bc-8b45-c352e1ca63ae/iso-2178-2016)

Le comité chargé de l'élaboration du présent document est l'ISO/TC 107, *Revêtements métalliques et autres revêtements inorganiques*.

Cette troisième édition annule et remplace la deuxième édition (ISO 2178:1982), qui a fait l'objet d'une révision technique.

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 2178:2016

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/eca08554-1165-44be-8b45-c352e1ca63ae/iso-2178-2016>

Revêtement métalliques non magnétiques sur métal de base magnétique — Mesurage de l'épaisseur du revêtement — Méthode magnétique

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale spécifie une méthode de mesurage non destructif de l'épaisseur des revêtements non magnétiques sur des métaux de base magnétiques.

Les mesurages réalisés sur des revêtements types sont tactiles et non destructifs. Le palpeur ou un instrument muni d'un palpeur intégré est placé directement sur le revêtement à mesurer. L'épaisseur du revêtement est affichée sur l'instrument.

Dans la présente Norme internationale, le terme «revêtement» est utilisé pour des matériaux tels que, par exemple, des peintures et vernis, des revêtements électrolytiques, des revêtements en émaux, des revêtements en matière plastique, des revêtements en poudre, des placages.

NOTE Cette méthode peut également être appliquée au mesurage de revêtements magnétiques sur des métaux de base non magnétiques ou d'autres matériaux (voir l'ISO 2361).

2 Références normatives

Les documents ci-après, dans leur intégralité ou non, sont des références normatives indispensables à 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 s'applique (y compris les éventuels amendements).

ISO 2064, *Revêtements métalliques et autres revêtements inorganiques — Définitions et principes concernant le mesurage de l'épaisseur*

ISO 4618, *Peintures et vernis — Termes et définitions*

ISO 5725-1:1994, *Exactitude (justesse et fidélité) des résultats et méthodes de mesure — Partie 1: Principes généraux et définitions*

Guide ISO/IEC 98-3, *Incertitude de mesure — Partie 3: Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure (GUM:1995)*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans l'ISO 2064 et l'ISO 4618 ainsi que les suivants s'appliquent.

3.1

ajustage d'un système de mesure

ensemble d'opérations réalisées sur un système de mesure pour qu'il fournisse des indications prescrites correspondant à des valeurs données des grandeurs à mesurer

Note 1 à l'article: L'ajustage d'un système de mesure peut comprendre le réglage de zéro, le réglage de décalage et le réglage d'étendue (appelé aussi réglage de gain).

Note 2 à l'article: Il convient de ne pas confondre l'ajustage d'un système de mesure avec son étalonnage, qui est un préalable à l'ajustage.

Note 3 à l'article: Après un ajustage d'un système de mesure, le système demande généralement à être réétalonné.

Note 4 à l'article: Dans le langage courant, le terme «étalonnage» est souvent utilisé, à tort, à la place du terme «ajustage». De la même manière, les termes «vérification» et «contrôle» sont souvent utilisés à la place du terme correct «étalonnage».

[SOURCE: Guide ISO/IEC 99:2007, 3.11 (également connu en tant que «VIM»), modifiée – La Note 4 à l'article a été ajoutée.]

3.2

étalonnage

opération qui, dans des conditions spécifiées, établit en une première étape une relation entre les valeurs et les incertitudes de mesure associées qui sont fournies par des étalons et les indications correspondantes avec les incertitudes associées, puis utilise en une seconde étape cette information pour établir une relation permettant d'obtenir un résultat de mesure à partir d'une indication

Note 1 à l'article: Un étalonnage peut être exprimé sous la forme d'un énoncé, d'une fonction d'étalonnage, d'un diagramme d'étalonnage, d'une courbe d'étalonnage ou d'une table d'étalonnage. Dans certains cas, il peut consister en une correction additive ou multiplicative de l'indication avec une incertitude de mesure associée.

Note 2 à l'article: Il convient de ne pas confondre l'étalonnage avec l'ajustage d'un système de mesure, souvent appelé improprement «auto-étalonnage», ni avec la vérification de l'étalonnage.

Note 3 à l'article: La seule première étape dans la définition est souvent perçue comme étant l'étalonnage.

[SOURCE: Guide ISO/IEC 99:2007, 2.39 (également connu en tant que «VIM»)]

4 Principe de mesure iTeh STANDARD PREVIEW

4.1 Principe de base de toutes les méthodes de mesure magnétiques (standards.itih.ai)

L'induction magnétique à proximité d'une source de champ magnétique (aimant permanent ou électroaimant) dépend de la distance par rapport au métal de base magnétique. Ce phénomène est utilisé pour déterminer l'épaisseur d'un revêtement non magnétique appliqué sur le métal de base.

NOTE 1 L'Annexe A décrit les bases physiques de cet effet de manière plus détaillée.

Toutes les méthodes couvertes par la présente Norme internationale évaluent l'induction magnétique afin de déterminer l'épaisseur du revêtement. L'intensité de l'induction magnétique est convertie en courants électriques, tensions électriques ou forces mécaniques correspondants, selon la méthode utilisée. Les valeurs sont soit prétraitées par des moyens numériques soit directement affichées sur une jauge convenablement graduée.

NOTE 2 Les méthodes décrites en 4.3 et 4.4 peuvent également être combinées dans un seul et même palpeur avec une autre méthode, par exemple la méthode par courants de Foucault conformément à l'ISO 2360 ou l'ISO 21968.

L'Annexe B décrit les exigences de performance de base des jauges d'épaisseur de revêtement fondées sur la méthode magnétique décrite dans la présente Norme internationale.

4.2 Méthode par attraction magnétique

L'induction magnétique d'un aimant permanent et donc la force d'attraction entre un aimant permanent et un métal de base magnétique diminuent lorsque la distance augmente. Ainsi, la force d'attraction est une mesure directe de l'épaisseur du revêtement étudié.

Les instruments fonctionnant selon la méthode basée sur l'attraction magnétique sont constitués d'au moins trois unités:

- un aimant permanent;
- un dispositif de décollement appliquant une force de décollement augmentant continuellement;

- un écran ou une échelle indiquant l'épaisseur du revêtement qui est calculée à partir de la force de décollement.

La force de décollement peut être générée par différents types de ressorts ou par un dispositif électromagnétique.

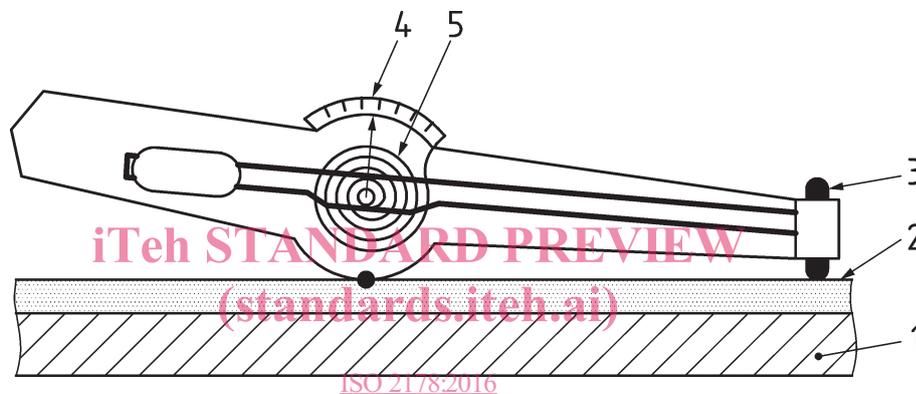
Certains instruments sont capables de compenser l'influence de la pesanteur et permettent des mesurages dans toutes les positions.

Tous les autres instruments peuvent seulement être utilisés dans la position spécifiée par le fabricant.

Le point de mesurage doit être propre et exempt de revêtements liquides ou pâteux. L'aimant permanent doit être exempt de particules.

L'accumulation de charges électrostatiques peut engendrer des forces supplémentaires sur l'aimant permanent ou le système de mesure et doit donc être évitée ou être déchargée avant le mesurage.

La [Figure 1](#) illustre une jauge basée sur le principe de l'attraction magnétique.



Légende

- 1 métal de base
- 2 revêtement
- 3 aimant
- 4 échelle
- 5 ressort

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/eca08554-1165-44be-8b45-c352e1ca63ae/iso-2178-2016>

Figure 1 — Jauge basée sur le principe de l'attraction magnétique

4.3 Principe de l'induction magnétique

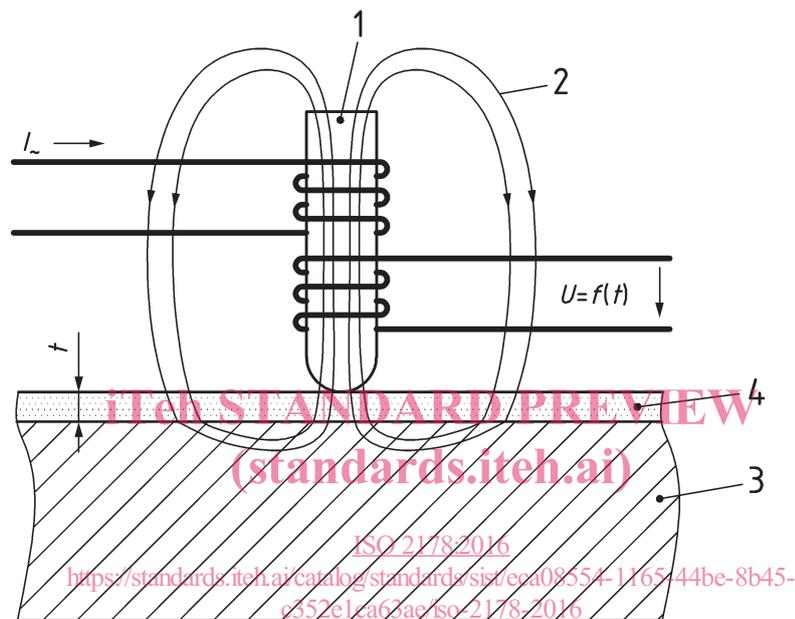
L'inductance d'une bobine varie lorsqu'un noyau de fer est inséré dans la bobine ou lorsqu'un objet en fer, par exemple une tôle, s'approche de la bobine. Par conséquent, l'inductance peut être utilisée comme une mesure de la distance entre la bobine et un métal de base ferromagnétique ou comme une mesure de l'épaisseur du revêtement, si la bobine est placée sur un métal de base magnétique revêtu.

Différentes méthodes électroniques permettent d'évaluer les variations de l'inductance ou la réaction d'un système à bobine à un métal de base ferromagnétique. Les palpeurs à induction magnétique utilisés pour le mesurage de l'épaisseur de revêtements sur des matériaux magnétiques peuvent être constitués d'une ou plusieurs bobines. Le plus souvent, deux bobines sont utilisées (voir [Figure 2](#)): la première (bobine primaire) pour générer un champ magnétique alternatif à basse fréquence et la deuxième (bobine secondaire) pour mesurer la tension induite résultante U . Lorsque le palpeur est placé sur un matériau magnétique revêtu ($\mu_r > 1$), l'induction magnétique (voir [Annexe A](#)) et la tension induite de la bobine secondaire varient en fonction de l'épaisseur du revêtement. La fonction entre la tension induite et l'épaisseur du revêtement n'est pas linéaire et dépend de la perméabilité μ_r du métal de base. Elle est généralement déterminée par un étalonnage. Les courbes d'étalonnage qui assignent une épaisseur de revêtement aux tensions induites peuvent être mémorisées dans la jauge.

Différentes conceptions et géométries de ces types de palpeur sont utilisées. Très souvent, les deux bobines sont associées à un noyau très magnétique afin d'augmenter la sensibilité des palpeurs et de concentrer le champ. Ainsi, la surface de revêtement, qui contribue au mesurage de l'épaisseur, et l'influence de la géométrie du composant revêtu sont réduites (voir 5.5 et 5.6).

Au contraire, un palpeur bipolaire (voir Figure 3) présente une distribution étendue et ouverte du champ magnétique. Le palpeur bipolaire a des caractéristiques d'intégration des aires alors qu'un palpeur unipolaire réalise une mesure localisée.

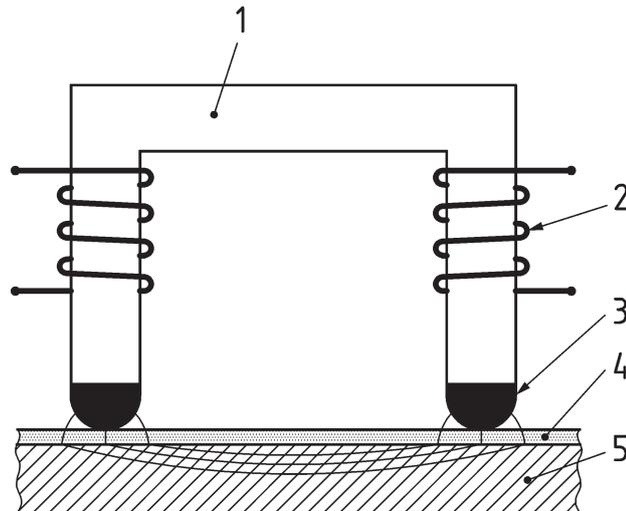
En général, la fréquence du champ généré est inférieure au kilohertz, ce qui évite la génération de courants de Foucault lorsque les revêtements sont conducteurs. Il est donc possible de mesurer des revêtements conducteurs et non conducteurs selon ce principe.



Légende

- | | | | |
|---|---|------------|-------------------------|
| 1 | noyau de fer du palpeur | I_{\sim} | courant d'excitation |
| 2 | champ magnétique alternatif à basse fréquence | t | épaisseur du revêtement |
| 3 | subjectile en acier/fer | $U = f(t)$ | signal de mesure |
| 4 | revêtement | | |

Figure 2 — Schéma de principe de l'induction magnétique



Légende

- | | | | |
|---|-------------------------|---|---------------|
| 1 | noyau de fer du palpeur | 4 | revêtement |
| 2 | système à bobine | 5 | métal de base |
| 3 | pointe du palpeur | | |

Figure 3 — Schéma d'un palpeur bipolaire

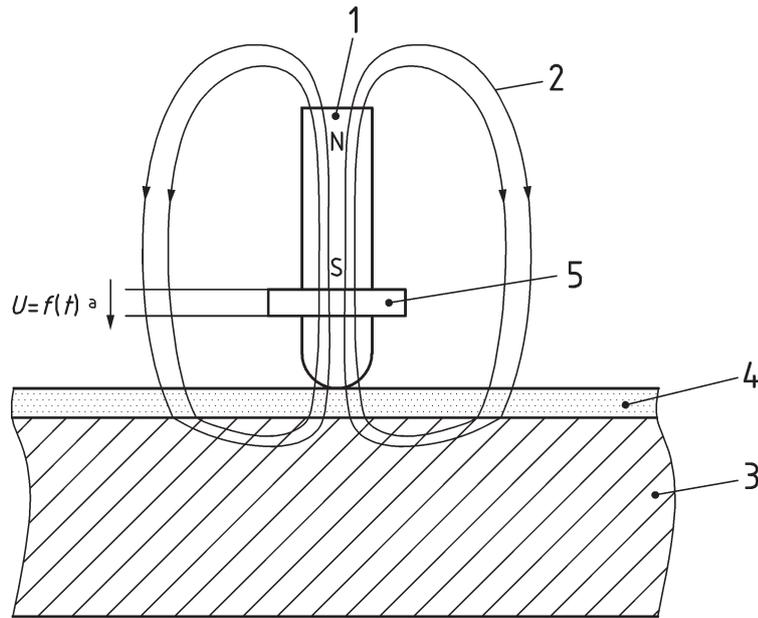
iTeh STANDARD PREVIEW

4.4 Jauge à flux magnétique (standards.iteh.ai)

L'induction magnétique à proximité d'un aimant dépend des propriétés magnétiques des substances dans le champ magnétique. L'induction magnétique diminue lorsque la proportion de substances non magnétiques augmente par rapport aux substances magnétiques. Ce phénomène est utilisé dans les jauges à induction magnétique (voir Figure 4). Le revêtement (4) est non magnétique; le métal de base (3) est magnétique. Un aimant (1) génère un champ magnétique. Les lignes de ce champ traversent le revêtement et le métal de base. Un détecteur de flux magnétique (5) placé à proximité de l'aimant émet des signaux électriques qui varient en fonction de l'épaisseur du revêtement.

NOTE 1 Les détecteurs de flux magnétique sont des capteurs à effet Hall ou des capteurs magnétorésistifs.

NOTE 2 L'aimant peut être un aimant permanent ou un électroaimant.



Légende

- | | | | |
|---|---|-----|-------------------|
| 1 | aimant permanent | U | tension de sortie |
| 2 | champ magnétique statique | a | Signal de mesure. |
| 3 | métal de base | | |
| 4 | revêtement | | |
| 5 | élément à effet Hall comme détecteur de flux magnétique | | |

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

Figure 4 — Jauge à flux magnétique utilisant un palpeur à effet Hall

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/eca08554-1165-44be-8b45-c352e1ca63ae/iso-2178-2016>

Les signaux électriques du détecteur de flux sont ensuite traités par des moyens électroniques. La fonction entre la sortie du détecteur de flux et l'épaisseur du revêtement n'est pas linéaire et dépend de la perméabilité μ_r du métal de base. Elle est généralement déterminée par un étalonnage. Les courbes d'étalonnage qui assignent une épaisseur de revêtement à une sortie électrique du détecteur peuvent être mémorisées dans la jauge.

5 Facteurs influençant l'exactitude de mesure

5.1 Influence fondamentale de l'épaisseur du revêtement

La sensibilité d'un palpeur, c'est-à-dire l'effet de mesure, diminue lorsque l'épaisseur augmente dans les limites de l'étendue de mesure du palpeur. Dans la partie inférieure de l'étendue de mesure, cette incertitude de mesure est constante (en valeur absolue) et indépendante de l'épaisseur du revêtement. La valeur absolue de cette incertitude dépend des propriétés du système de palpeur et des matériaux échantillons utilisés, par exemple l'homogénéité de la perméabilité du métal de base, la rugosité du métal de base et la rugosité de surface de l'échantillon. Dans la partie supérieure de l'étendue de mesure du palpeur, cette incertitude devient fonction de l'épaisseur et en est une fraction approximativement constante.

5.2 Propriétés magnétiques du métal de base

La perméabilité du métal de base est à l'origine de l'effet de mesure de cette méthode.

La relation entre l'épaisseur du revêtement et la valeur mesurée dépend dans une large mesure de la perméabilité du métal de base. Par conséquent, les procédures d'étalonnage et les mesurages doivent être réalisés sur le même matériau. Des matériaux différents ayant des perméabilités différentes, de

même que des fluctuations locales de la perméabilité ou des variations entre différents échantillons, peuvent provoquer plus ou moins d'erreurs d'épaisseur.

Le magnétisme résiduel du métal de base peut également avoir une incidence considérable sur les mesurages, en particulier lorsque des champs magnétiques statiques sont utilisés (voir [4.2](#) pour la méthode par attraction magnétique ou [4.4](#) pour la jauge à flux magnétique).

Le métal de base peut être aimanté par des mesurages répétés au même endroit lorsque la méthode de mesure utilisée fait appel à un champ magnétique statique (voir [4.2](#) pour la méthode par attraction magnétique ou [4.4](#) pour la jauge à flux magnétique). Cela peut conduire à des erreurs de lecture d'épaisseur.

NOTE La perméabilité initiale d'un acier type utilisé est, par exemple, comprise entre 100 et 300.

5.3 Propriétés électriques des produits de revêtement

Les mesurages de l'épaisseur du revêtement peuvent être affectés par les courants de Foucault lorsque le palpeur est utilisé avec un champ magnétique alternatif (voir [4.3](#) pour le principe de l'induction magnétique ou [4.4](#) pour la jauge à flux magnétique). Ces courants de Foucault induits peuvent contrer l'effet de mesure de la méthode magnétique. La densité des courants de Foucault augmente lorsque la conductivité et la fréquence augmentent.

NOTE En général, les instruments utilisant les méthodes de mesure [4.3](#) ou [4.4](#) fonctionnent dans une gamme de fréquences inférieures à 1 kHz. Par conséquent, les courants de Foucault induits affectant les résultats de mesure sont uniquement efficaces pour des revêtements épais (épaisseur supérieure à 1 mm) ayant une conductivité élevée, par exemple le cuivre.

5.4 Géométrie: épaisseur du métal de base

Si l'épaisseur du métal de base est trop faible, l'interaction du champ magnétique avec le métal de base est réduite. Cette influence ne peut être négligée qu'au-delà d'une certaine épaisseur minimale critique du métal de base.

Par conséquent, il convient que l'épaisseur du métal de base soit toujours supérieure à cette épaisseur minimale critique du métal de base. Un ajustage de l'instrument peut compenser les erreurs provoquées par une épaisseur trop faible du métal de base. Néanmoins, toute variation de l'épaisseur du métal de base peut provoquer un accroissement de l'incertitude et des erreurs.

L'épaisseur minimale critique du métal de base dépend du système de palpeur (intensité du champ, géométrie) et des propriétés magnétiques du métal de base. Sauf spécification contraire du fabricant, il convient de déterminer sa valeur expérimentalement.

NOTE Une expérience simple permettant d'estimer l'épaisseur minimale critique du métal de base est décrite en [C.2](#).

5.5 Effet de bord

L'extension du champ magnétique est entravée par les limites géométriques du métal de base (par exemple bords, trous percés et autres). De ce fait, les mesurages effectués trop près d'un bord ou d'un angle ne seront valables que si l'instrument a été spécialement ajusté pour ces mesurages. La distance à respecter pour éviter un impact de l'effet de bord dépend du système de palpeur (distribution du champ).

NOTE Une expérience simple permettant d'estimer l'effet de bord de base est décrite en [C.3](#).

5.6 Géométrie: courbure de la surface

La propagation du champ magnétique est affectée par la courbure de la surface du métal de base. Cette influence est d'autant plus prononcée que le rayon de courbure et l'épaisseur du revêtement sont faibles. Pour réduire au minimum cette influence, il convient d'effectuer l'ajustage sur un métal de base ayant la même géométrie.