
**Détermination de l'épaisseur du feuil
de revêtement par mesurage ultrasons**

Determination of the film thickness of coatings using an ultrasonic gage

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO/TS 19397:2015](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/d0f96ec0-75e9-4f9f-a741-4a757949cb3c/iso-ts-19397-2015)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/d0f96ec0-75e9-4f9f-a741-4a757949cb3c/iso-ts-19397-2015>



iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO/TS 19397:2015

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/d0f96ec0-75e9-4f9f-a741-4a757949cb3c/iso-ts-19397-2015>



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2015, 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.....	iv
1 Domaine d'application	1
2 Références normatives	1
3 Termes et définitions	1
4 Principe	3
5 Principes physiques de la méthode de mesure et de l'application	3
6 Appareillage et matériel	5
6.1 Appareil de mesure de l'épaisseur du feuil par ultrasons.....	5
6.2 Couplant.....	5
6.3 Étalons.....	5
7 Étalonnage, ajustage et vérification de l'appareil de mesure	6
7.1 Étalonnage.....	6
7.2 Ajustage.....	6
7.3 Vérification de l'ajustage.....	6
8 Procédure de mesurage	6
9 Influence de la température au cours du mesurage	7
10 Fidélité	7
10.1 Généralités.....	7
10.2 Limite de répétabilité.....	7
10.3 Limite de reproductibilité.....	8
11 Rapport d'essai	9
Annexe A (informative) Qualification du personnel	10
Annexe B (informative) Détermination de la fidélité	11
Bibliographie	17

Avant-propos

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

Les procédures utilisées pour élaborer le présent document et celles destinées à sa mise à jour sont décrites dans les Directives ISO/IEC, Partie 1. Il convient, en particulier de prendre note des différents critères d'approbation requis pour les différents types de documents ISO. Le présent document a été rédigé conformément aux règles de rédaction données dans les Directives ISO/IEC, Partie 2 (voir www.iso.org/directives).

L'attention est 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/d0196cc0-75e9-419f-a741-4a757949cb3c/iso-ts-19397-2015)

Le comité chargé de l'élaboration du présent document est l'ISO/TC 35, *Peintures et vernis*, sous-comité SC 9, *Méthodes générales d'essais des peintures et vernis*.

Détermination de l'épaisseur du feuil de revêtement par mesurage ultrasons

1 Domaine d'application

La présente Spécification technique décrit une méthode de détermination de l'épaisseur du feuil de revêtement sur les subjectiles métalliques et non métalliques par mesurage ultrasons.

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 4618, *Peintures et vernis — Termes et définitions*

3 Termes et définitions

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

3.1

onde ultrasonore

toute onde acoustique dont la fréquence est supérieure à la gamme audible par l'oreille humaine, généralement supérieure à 20 kHz

[SOURCE: EN 1330-4:2010, 3.1.1]

3.2

onde longitudinale

onde de compression

onde dans laquelle le mouvement des particules dans un matériau suit la même direction que la propagation de l'onde

[SOURCE: EN 1330-4:2010, 2.3.1]

3.3

écho

impulsion ultrasonore réfléchie vers le traducteur

[SOURCE: EN 1330-4:2010, 5.5.2]

3.4

hauteur de l'écho

amplitude de l'écho

hauteur d'une indication d'écho (3.3) sur l'écran

[SOURCE: EN 1330-4:2010, 5.5.5]

3.5

impulsion ultrasonore

signal ultrasonore à vie courte

3.6

capteur ultrasonore traducteur ultrasonore

appareil destiné à émettre et à recevoir des *ondes ultrasonores* (3.1), principalement à base de matériaux piézoélectriques

3.7

impédance acoustique

Z

produit de la vitesse de l'onde ultrasonore et de la masse volumique d'un matériau

3.8

coefficient de réflexion

rapport de la pression acoustique réfléchie totale à la pression acoustique incidente au niveau d'une surface réfléchissante

[SOURCE: EN 1330-4:2010, 3.4.11]

Note 1 à l'article: Pour une onde, le coefficient de réflexion R est calculé d'après les *impédances acoustiques* (3.7) Z_1 et Z_2 des milieux limitrophes, 1 étant le milieu du son entrant:

$$R = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}$$

Pour un coefficient de réflexion négatif, la *phase* (3.9) du signal réfléchi change de 180°.

3.9

phase

fraction d'un cycle d'onde complet, exprimée sous la forme d'un angle

[SOURCE: EN 1330-4:2010, 2.2.5]

ISO/TS 19397:2015
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/d0f96ec0-75e9-4f9f-a741-4a757949cb3c/iso-ts-19397-2015>

3.10

interface

limite entre deux milieux, en contact acoustique, ayant différentes *impédances acoustiques* (3.7)

[SOURCE: EN 1330-4:2010, 3.4.1]

3.11

temps de parcours ultrasonore

temps nécessaire pour réaliser le trajet ultrasonore

[SOURCE: EN 1330-4:2010, 5.6.3, modifié: dans le terme, «cheminement du trajet» a été remplacé par «parcours»]

3.12

couplant milieu de couplage

milieu interposé entre le traducteur et la pièce soumise à essai afin de permettre le passage des *ondes ultrasonores* (3.1) entre eux

[SOURCE: EN 1330-4:2010, 5.3.2]

3.13

représentation de type A

affichage du signal ultrasonore où l'abscisse représente le temps et l'ordonnée son amplitude

[SOURCE: EN 1330-4:2010, 5.5.16]

Note 1 à l'article: Les appareils de mesure de l'épaisseur du feuil par ultrasons, outre les valeurs numériques des épaisseurs de feuil obtenues, affichent normalement des représentations de type A pour également vérifier les formes d'écho et les séquences d'écho à l'écran.

3.14**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* (3.15), 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 de l'ISO/IEC 99:2007, 2.39]

3.15**ajustage d'un système de mesure****ajustage**

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: Divers types d'ajustage d'un système de mesure sont 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* (3.14), qui est un préalable à l'ajustage.

Note 3 à l'article: Après un ajustage d'un système de mesure, il convient normalement d'effectuer un nouvel étalonnage du système de mesure.

[SOURCE: Guide de l'ISO/IEC 99:2007, 3.11]

3.16**étalon de travail**

étalon qui reproduit les caractéristiques de l'étalon national

[SOURCE: EN 60731:2007, 3.4.1.2]

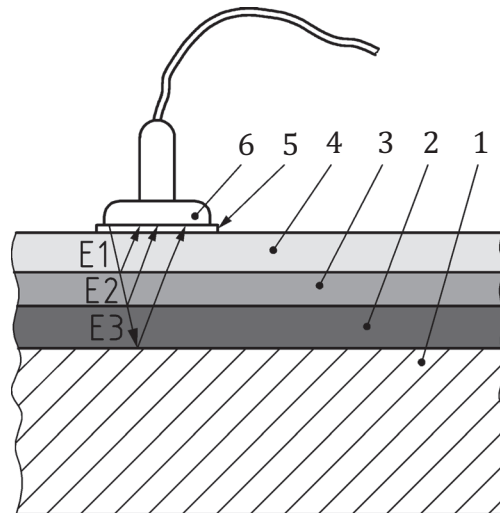
4 Principe

La méthode décrite dans la présente Spécification technique détermine les épaisseurs de feuil individuel d'après le temps de vol d'une impulsion ultrasonore qui est partiellement réfléchi aux interfaces du système de revêtement. Les points forts et les points faibles de la méthode sont illustrés par les données de mesure des différentes combinaisons de feuil/subjectile qui sont pertinentes dans la pratique.

5 Principes physiques de la méthode de mesure et de l'application

Pour mesurer l'épaisseur du feuil par ultrasons, on utilise les ondes longitudinales parce qu'elles sont faciles à générer et qu'elles peuvent être couplées, dans une pièce, à quasiment tout liquide. Comme illustré à la [Figure 1](#), un capteur (6) est constitué d'un disque piézoélectrique, pour la génération du son et pour la réception, et d'une «ligne de retard». L'impulsion ultrasonore générée dans le capteur passe tout d'abord la ligne de retard puis se propage dans les couches 1 à 3 jusqu'au subjectile (1) et au-delà.

Une fraction de l'onde ultrasonore incidente est réfléchi sur chaque interface sous la forme d'une nouvelle impulsion ultrasonore, tandis qu'une autre fraction la traverse. La première réflexion se produit dans le capteur ultrasonore lorsque l'impulsion ultrasonore rencontre la couche 1 (4).



Légende

- 1 subjectile
- 2 couche 3
- 3 couche 2
- 4 couche 1
- 5 couplant (liquide)
- 6 capteur ultrasonore (émetteur et récepteur)
- E écho 1, 2, 3

ITIH STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

Figure 1 — Méthode ultrasonore
ISO/TS 19397:2015

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/d0f96ec0-75e9-4f9f-a741-4a75799c65c16-43-19397-2015>

Les impulsions ultrasonores sont enregistrées lorsqu'elles sont reçues par le capteur ultrasonore. Les durées entre les impulsions ultrasonores correspondent aux temps de parcours ultrasonore T_i ($i = 1, 2, 3$) dans les trois couches individuelles. L'amplitude ou la hauteur de l'écho de l'impulsion ultrasonore réfléctée sur chaque interface dépend des facteurs de réflexion respectifs. Si la vitesse de l'onde ultrasonore dans chaque couche individuelle est connue, l'épaisseur du feuillet respectif peut être calculée d'après les temps de vol. Pour chaque couche, la [Formule \(1\)](#) s'applique:

$$v = \frac{t_d}{T/2} \tag{1}$$

où

v est la vitesse de l'onde ultrasonore;

t_d est l'épaisseur de film sec;

T est le temps de cheminement du trajet ultrasonore dans la couche (aller et retour).

Pour pouvoir distinguer à l'œil nu les échos dont les temps de parcours ultrasonore sont à courts intervalles (par exemple 20 ns dans un revêtement de 20 µm d'épaisseur), il est nécessaire que les impulsions ultrasonores soient au moins aussi courtes. Pour cela, les fréquences ultrasonores correspondantes doivent être élevées (au moins l'inverse de la moitié du temps de vol) ou la représentation de type A doit être générée à des fréquences inférieures au moyen d'un traitement numérique des signaux., Voir la [Figure 2](#) qui donne un exemple de représentation de type A.

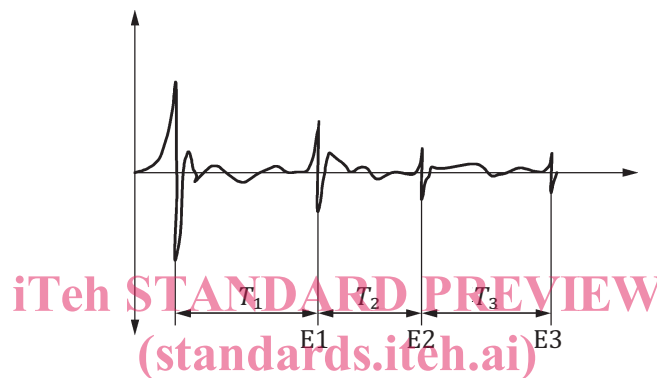
Lorsque les couches sont trop minces, les échos des couches individuelles se confondent les uns avec les autres. Dans ce cas, un contrôle optique de l'évaluation de la représentation de type A n'est plus possible.

Dans les cas où la représentation de type A présente des demi-ondes positives et négatives, on doit prendre en considération le fait que pour un facteur de réflexion négatif ($Z_2 < Z_1$) la phase de l'impulsion ultrasonore change de 180° . Si l'on n'en tient pas compte, il peut se produire un retard relatif d'une demi-longueur d'onde.

La condition préalable pour que des impulsions ultrasonores d'amplitude du signal suffisamment élevée pour l'évaluation se forment à l'interface de deux couches est

- un coefficient de réflexion suffisamment élevé ou des impédances acoustiques Z respectivement différentes, et
- une intersection clairement définie entre les matériaux.

A défaut, les réflexions peuvent devenir trop faibles pour la détection. Cela peut également se produire avec les pièces courbes où, pour des raisons géométriques, toutes les fractions sonores ne sont pas renvoyées simultanément de l'interface vers le capteur.



Légende

- <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/d096ec0-75e9-4f9f-a741-4a7579496507/iso-19397-2015>
- T temps de parcours ultrasonore pour les couches 1, 2, 3
- E écho pour les couches 1, 2, 3

Figure 2 — Exemple de représentation de type A

6 Appareillage et matériel

6.1 Appareil de mesure de l'épaisseur du feuil par ultrasons

Un appareil doté d'un capteur ultrasonore destiné à émettre et à recevoir des impulsions ultrasonores, et d'une unité d'évaluation destinée à déterminer l'épaisseur du feuil au cours du temps de vol (voir [Figure 1](#)).

NOTE Les capteurs ultrasonores utilisés pour mesurer l'épaisseur du feuil génèrent des signaux ultrasonores (ondes longitudinales), qui se propagent perpendiculairement à la surface de la pièce et du revêtement. Sur le schéma d'appareillage de la [Figure 1](#), une représentation oblique de la propagation des sons a été choisie dans le seul but d'illustrer la génération du son.

6.2 Couplant

Un contact acoustique entre le traducteur et l'éprouvette présentant un couplage suffisant doit être permis. Un couplant liquide (par exemple eau ou huile) ou en gel est habituellement appliqué.

6.3 Étalons

Pour vérifier le fonctionnement d'un appareil de mesure, un étalon de travail doit être utilisé.

Pour vérifier la méthode de mesure et pour ajuster l'appareil avant utilisation, un étalon de travail doit être utilisé. Celui-ci doit globalement correspondre à la pièce à contrôler en ce qui concerne l'épaisseur du feuillet, le système de revêtement, le subjectile et l'épaisseur des couches.

7 Étalonnage, ajustage et vérification de l'appareil de mesure

7.1 Étalonnage

Étalonner l'appareil suivant les informations du fabricant.

NOTE Tout d'abord, le temps de vol d'un signal est mesuré par les appareils de mesure. Ce temps de vol peut être vérifié, si nécessaire, à l'aide d'un étalon ayant une épaisseur définie et une vitesse de l'onde ultrasonore connue.

7.2 Ajustage

Ajuster l'appareil suivant les informations du fabricant.

Lors de l'ajustage des données de vitesse de propagation de l'onde ultrasonore, il est recommandé d'utiliser des éprouvettes basées sur les épaisseurs de feuillet minimales et maximales qui seraient attendues pour la détermination desdites vitesses. À l'aide de l'appareil de mesure de l'épaisseur du feuillet par ultrasons, le temps de vol de l'impulsion ultrasonore et les vitesses de propagation de l'onde ultrasonore, d'après la [Formule \(1\)](#), sont déterminés dans la même zone de mesure que celle dans laquelle l'épaisseur du feuillet a été ou sera déterminée par une autre méthode.

La détermination du temps de vol est réalisée de façon répétée sur chaque éprouvette et la moyenne est déterminée pour chaque éprouvette.

Lors de la sélection des éprouvettes à utiliser pour déterminer la vitesse de propagation de l'onde ultrasonore, il convient de prendre en considération le fait que la détermination du temps de parcours ultrasonore à partir du temps de vol et de l'épaisseur est d'autant plus imprécise que les éprouvettes sont minces et les temps de cheminement faibles.

Lors du calcul, il doit être observé que les données sont saisies dans les unités utilisées par le fabricant de l'appareil, et qu'après un calcul en unités SI, celles-ci doivent être converties.

7.3 Vérification de l'ajustage

Avant d'enregistrer les mesures, après avoir mis l'appareil sous tension, et en cas de modification du système de revêtement ou du subjectile de la pièce à contrôler, l'ajustage de l'appareil de mesure doit être vérifié au moyen d'un étalon de travail.

Il convient de toujours effectuer l'ensemble des réglages de l'appareil suivant les informations du fabricant.

Après l'ajustage, les réglages de l'appareil qui influent sur les signaux ultrasonores ne doivent pas être modifiés. Après avoir remplacé le transducteur ou modifié les réglages de l'appareil, il faut procéder à un nouvel ajustage.

8 Procédure de mesurage

Mettre en œuvre l'appareil suivant les informations du fabricant.

Appliquer une certaine quantité de couplant sur le revêtement et mesurer son épaisseur de feuillet. Poser le capteur perpendiculairement sur le revêtement et appuyer de manière que le film de couplant devienne aussi mince que possible. Maintenir le transducteur calmement en position de mesure jusqu'à ce qu'une valeur de mesure stable s'affiche.

9 Influence de la température au cours du mesurage

La plupart des traducteurs sont conçus pour être utilisés entre -20 °C et $+60\text{ °C}$. Cependant, il est recommandé d'effectuer les mesurages d'épaisseur de feuil par ultrasons dans la plage des températures ambiantes habituelles afin de maintenir la pièce à contrôler, le couplant et le traducteur à une température d'équilibre pendant le mesurage. Des gradients de température sur le trajet de retard du traducteur ou dans la pièce à contrôler influent sur les résultats de mesure en raison des variations et des fluctuations incontrôlables de la vitesse de propagation de l'onde ultrasonore.

Dans tous les matériaux, la vitesse de l'onde ultrasonore dépend plus ou moins de la température.

NOTE Pour les polymères, les variations sont généralement comprises entre 0,1 % et 0,3 % par $^{\circ}\text{C}$, pour un coefficient de température négatif.

Pour réduire au minimum les erreurs dues aux variations de température, il convient de maintenir des conditions de température constantes. L'ajustage et le mesurage qui suit doivent être réalisés à la même température. En cas de délais prolongés entre les mesurages et de variations de la température ambiante, il faut vérifier l'ajustage.

10 Fidélité

10.1 Généralités

Pour de plus amples informations sur la détermination de la fidélité, voir l'[Annexe B](#).

10.2 Limite de répétabilité (standards.iteh.ai)

La limite de répétabilité r est la valeur au-dessous de laquelle on peut s'attendre à trouver la valeur absolue de la différence entre deux résultats d'essai (chacun d'eux étant égal à la moyenne de trois déterminations valides) lorsque la présente méthode est utilisée dans des conditions de répétabilité. Dans ce cas, les résultats d'essai sont obtenus sur un matériau identique par un seul opérateur dans un même laboratoire en un court intervalle de temps, à l'aide de la méthode d'essai décrite. La limite de répétabilité r selon la présente spécification, calculée avec une probabilité de 95 %, correspond aux valeurs données dans les [Tableaux 1](#) et [2](#).

Tableau 1 — Limite de répétabilité (r) pour les éprouvettes individuelles

Éprouvette	Épaisseur de feuil	Limite de répétabilité (r)
	μm	μm
Épicéa plaqué	100	4
Épicéa poncé	100	6
Hêtre plaqué	100	6
Hêtre poncé	100	6
Aluminium	22	3
Aluminium	44	4
Composite à base de fibres de carbone	22	3
Composite à base de fibres de carbone	44	3
PP (polypropylène)	22	4
PP (polypropylène)	44	4
SMC (mat préimprégné)	22	5
SMC (mat préimprégné)	44	9
Acier	22	3
Acier	44	4