
**Revêtements métalliques — Vue
d'ensemble sur les méthodes de
mesurage de la ductilité**

Metallic coatings — Review of methods of measurement of ductility

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO 8401:2017](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/ce2008c3-2a09-4eba-b4a2-c7431cef5518/iso-8401-2017)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/ce2008c3-2a09-4eba-b4a2-c7431cef5518/iso-8401-2017>



iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO 8401:2017](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/ce2008c3-2a09-4eba-b4a2-c7431cef5518/iso-8401-2017)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/ce2008c3-2a09-4eba-b4a2-c7431cef5518/iso-8401-2017>



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2017, 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 Champ d'application	1
2 Références normatives	1
3 Termes et définitions	1
4 Principe	2
5 Essais sur feuilles détachées de leurs substrats	3
5.1 Généralités.....	3
5.2 Essai de traction.....	4
5.2.1 Principe.....	4
5.2.2 Appareillage.....	4
5.2.3 Préparation des éprouvettes.....	4
5.2.4 Mode opératoire.....	6
5.2.5 Expression des résultats.....	6
5.2.6 Notes sur le mode opératoire.....	6
5.3 Essai de flexion au micromètre.....	7
5.3.1 Généralités.....	7
5.3.2 Appareillage.....	7
5.3.3 Préparation des éprouvettes.....	7
5.3.4 Mode opératoire.....	7
5.3.5 Expression des résultats.....	8
5.4 Pliage (essai de pliage à l'étai).....	10
5.4.1 Généralités.....	10
5.4.2 Appareillage.....	10
5.4.3 Préparation des éprouvettes.....	10
5.4.4 Mode opératoire.....	10
5.4.5 Résultats.....	10
5.5 Essai de bombement hydraulique.....	11
5.5.1 Généralités.....	11
5.5.2 Principe.....	11
5.5.3 Appareillage.....	11
5.5.4 Mode opératoire.....	12
5.5.5 Expression des résultats.....	13
5.5.6 Notes sur le mode opératoire.....	13
5.6 Essai de bombement mécanique.....	13
5.6.1 Généralités.....	13
5.6.2 Appareillage.....	14
5.6.3 Mode opératoire.....	14
5.6.4 Expression des résultats.....	15
5.6.5 Cas particuliers.....	15
6 Essais de revêtements sur leurs substrats	17
6.1 Généralités.....	17
6.2 Essai de traction.....	18
6.2.1 Appareillage.....	18
6.2.2 Préparation des éprouvettes.....	18
6.2.3 Mode opératoire.....	18
6.3 Essai de pliage trois points ^[10]	19
6.3.1 Principe.....	19
6.3.2 Appareillage.....	19
6.3.3 Mode opératoire.....	19
6.3.4 Expression des résultats.....	20
6.4 Essai de pliage quatre points ^[11]	21
6.4.1 Généralités.....	21

6.4.2	Expression des résultats	22
6.5	Essai de pliage sur mandrin cylindrique	22
6.5.1	Principe	22
6.5.2	Appareillage	22
6.5.3	Préparation des éprouvettes	23
6.5.4	Mode opératoire	23
6.5.5	Expression des résultats	23
6.5.6	Notes sur le mode opératoire	24
6.6	Essai de pliage sur mandrin à rayon décroissant	24
6.6.1	Principe	24
6.6.2	Appareillage	24
6.6.3	Mode opératoire	24
6.6.4	Expression des résultats	25
6.7	Essai de pliage sur mandrin conique	25
6.7.1	Principe	25
6.7.2	Appareillage	26
6.7.3	Mode opératoire	26
6.7.4	Expression des résultats	26
6.7.5	Cas particuliers	26
6.8	Essai de bombement mécanique	27
6.8.1	Appareillage	27
6.8.2	Préparation des éprouvettes	27
6.8.3	Mode opératoire	27
6.8.4	Expression des résultats	27
7	Choix de la méthode d'essai	27
8	Rapport d'essai	28
	Annexe A (informative) Méthodes pour la production de feuilles	29
	Annexe B (informative) Calcul de la ductilité après accroissement de l'aire d'une feuille (bombement)	31
	Annexe C (informative) Calcul de la ductilité et de la résistance à la traction dans l'essai de bombement hydraulique	34
	Annexe D (informative) Calcul de la ductilité dans l'essai de bombement mécanique	37
	Bibliographie	38

ITeH STANDARD PREVIEW

(standards.iteh.ai)

ISO 8401:2017

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/cc2008c3-2a09-4c0a-b4a2-c7431cef5518/iso-8401-2017>

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](#).

Le présent document a été élaboré par le comité technique l'ISO/TC 107, *Revêtements métalliques et autres revêtements inorganiques*.

Cette seconde édition annule et remplace la première édition (ISO 8401:1986) dont elle constitue une révision mineure. Les changements suivants ont été apportés:

- la [Formule \(C.10\)](#) a été corrigée;
- des modifications ont été effectuées en accord avec l'édition 2016 des lignes directrices ISO/IEC, Partie 2.

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 8401:2017

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/ce2008c3-2a09-4eba-b4a2-c7431cef5518/iso-8401-2017>

Revêtements métalliques — Vue d'ensemble sur les méthodes de mesurage de la ductilité

1 Champ d'application

Le présent document spécifie des méthodes générales pour la mesure de la ductilité des revêtements métalliques d'épaisseur inférieure à 200 µm réalisés par dépôt électrolytique, dépôt autocatalytique ou d'autres procédés.

Il s'applique aux méthodes suivantes:

- essais sur des feuilles détachées de leur substrat;
- essais de revêtements sur leurs substrats.

Il ne s'applique pas aux Normes internationales comprenant des méthodes spécifiques d'essai pour des revêtements particuliers. Dans ces cas, les méthodes spécifiées sont utilisées de préférence aux méthodes décrites dans le présent document et sont convenues à l'avance entre le fournisseur et l'acheteur.

2 Références normatives

Le présent document ne contient pas de 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:

- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <http://www.iso.org/obp>

3.1 ductilité

aptitude d'un revêtement métallique ou autre à subir une déformation plastique ou élastique ou les deux sans fracture ni fissure

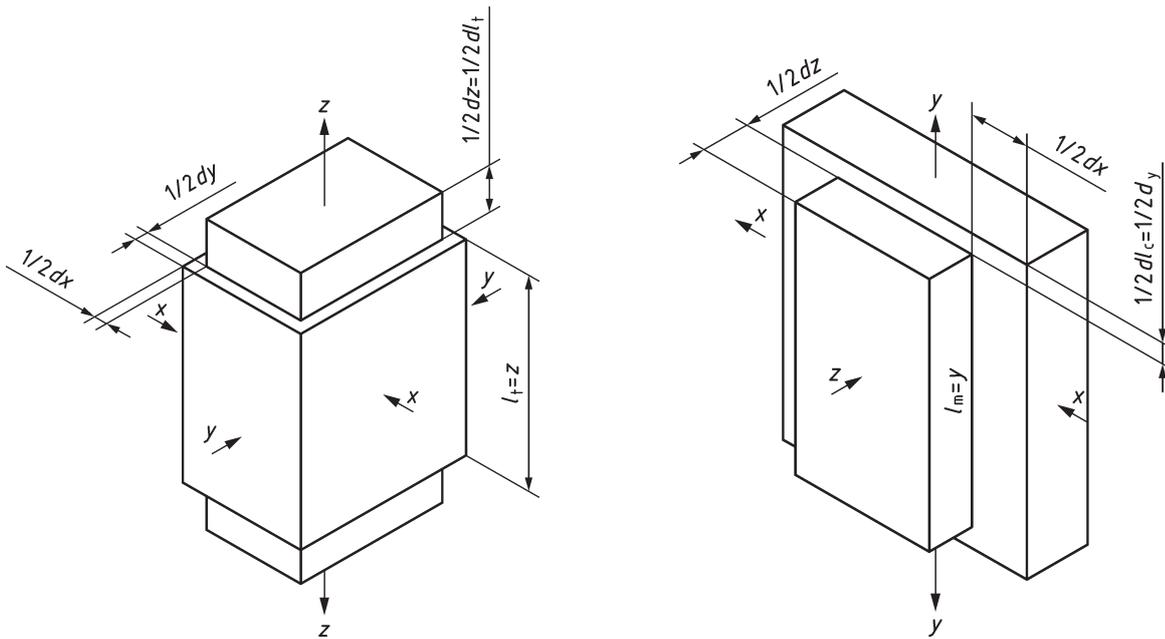
3.2 allongement linéaire

quotient de l'allongement, Δl , par une longueur initiale donnée, l_0 , de l'éprouvette

Note 1 à l'article: L'allongement linéaire est considéré comme une mesure de la ductilité.

Note 2 à l'article: Ce quotient est souvent exprimé en pourcentage.

Note 3 à l'article: Normalement, l'essai provoque un allongement de l'éprouvette [voir [Figure 1 a\)](#)]. Lors de certains essais de pliage, c'est la couche extérieure de l'éprouvette, autrement dit le dépôt électrolytique, qui s'allonge. Dans les essais de bombement, en revanche, la surface de la feuille s'élargit ce qui nécessite le calcul de l'allongement linéaire en fonction de la diminution de l'épaisseur. Ne tenir compte que d'une seule composante axiale de la déformation (étirement) donnerait des informations erronées quant à la ductilité du matériau [voir [Figure 1 b\)](#)]. L'amincissement de la feuille, calculé en fonction de l'augmentation de l'aire, est dans ce cas une meilleure mesure de la ductilité du matériau (voir [Annexe B](#)).



$$xyz = (x - dx)(y - dy)(z + dz)$$

$$xyz = xyz + xydz - xzdy - yzdx$$

$$\frac{dz}{z} = \frac{dy}{y} + \frac{dx}{x}$$

$$\frac{dz}{z} > \frac{dy}{y}$$

$$\frac{dl_t}{l_t} = \frac{dz}{z}$$

Iteh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 8401:2017

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/ce2008c3-2a09-4eba-b4a2-c7431cef5518/iso-8401-2017>

a) Essai de traction

b) Essai d'emboutissage

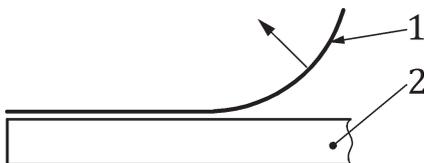
Figure 1 — Essais de traction et d'emboutissage

4 Principe

4.1 Dans l'essai de feuilles détachées de leurs substrats (voir Figure 2), les feuilles peuvent être composées d'une ou de plusieurs couches métalliques, ce qui permet de mesurer la ductilité des feuilles composites et de déterminer l'influence des différentes couches sur la ductilité de l'ensemble. Les méthodes d'essai des feuilles détachées de leurs substrats sont décrites à l'Article 5. Les méthodes de production des feuilles destinées à l'essai sont présentées à l'Annexe A.

4.2 Pour les essais des revêtements sur substrat (voir Figure 3), il est particulièrement important de déterminer le point exact d'amorçage de fissure de la couche supérieure. L'attention est attirée sur différentes méthodes de détermination de ce point, que ce soit à l'œil nu (vision normale ou corrigée) ou à l'aide d'une loupe. Voir les préconisations des différentes méthodes. Ces méthodes peuvent également

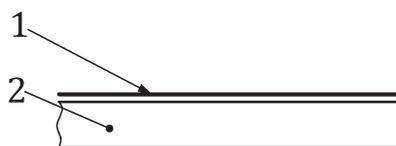
servir à détecter une éventuelle fragilisation du substrat imputable au processus de revêtement. Les méthodes d'essai des revêtements sur substrat sont décrites à l'Article 6.



Légende

- 1 feuille métallique
- 2 substrat

Figure 2 — Feuille détachable de son substrat



Légende

- 1 revêtement
- 2 substrat

iTeh STANDARD PREVIEW
Figure 3 — Revêtement sur substrat
 (standards.iteh.ai)

4.3 Bien que la ductilité soit une propriété du matériau et indépendante des dimensions de l'éprouvette, l'épaisseur du revêtement peut avoir une influence sur la valeur de l'allongement linéaire ($\Delta l/l_0$).

4.3.1 Les couches très minces ont des propriétés différentes car la formation des couches initiales est influencée par les propriétés du substrat (épitaxie). Des contraintes internes élevées peuvent être intégrées dans les couches initiales et nuire ainsi à la ductilité.

4.3.2 Il est essentiel que l'éprouvette soit d'épaisseur uniforme car les zones plus minces engendrent un risque de fissuration prématurée. De plus, la densité de courant est plus faible dans les parties moins épaisses et plus grande dans les parties plus épaisses des éprouvettes à revêtement électrolytique: les écarts de densité de courant peuvent ainsi entraîner des différences de ductilité. Il convient que la densité de courant appliquée soit maintenue aussi uniforme que possible sur l'éprouvette et que sa valeur soit consignée.

5 Essais sur feuilles détachées de leurs substrats

5.1 Généralités

Les techniques décrites ici portent sur le mesurage d'une feuille qui a été détachée de son substrat (voir Figure 2). Dans ce cas, la feuille soumise à l'essai peut également se composer de plusieurs couches pour permettre le mesurage de l'influence des sous-couches sur la ductilité de la feuille combinée, comme une dorure sur alliage or/cuivre ou un dépôt de nickel chromé. Les méthodes de production des feuilles détachées de leurs substrats sont présentées à l'Annexe A.

Cinq méthodes sont décrites: essai de traction (5.2), de flexion (essai de flexion au micromètre) (5.3), de pliage (essai de pliage à l'étau) (5.4), de bombement hydraulique (5.5) et de bombement mécanique (5.6).

5.2 Essai de traction

5.2.1 Principe

Détermination de l'allongement linéaire d'une feuille prise dans les mors d'une machine d'essai de traction. Dans ce type de contrainte, la feuille est allongée mais la largeur et l'épaisseur de la feuille diminuent toutes les deux.

5.2.2 Appareillage

Cette méthode peut avoir recours à des équipements d'essai mécanique conventionnels, disponibles dans le commerce ainsi que dans de nombreux laboratoires métallurgiques[1]. Pour certaines applications, il est possible d'utiliser des équipements d'essai de traction adaptés à l'inspection microscopique pendant l'essai.

5.2.3 Préparation des éprouvettes

Les éprouvettes peuvent être prélevées par usinage, cisailage ou poinçonnage sur des feuilles métalliques ou préparées par photoimpression à l'aide de laques ou de feuilles photosensibles pressées sur un substrat adéquat. Après développement du motif, l'éprouvette acquiert sa forme définitive par déposition électrolytique. Une méthode similaire consiste à usiner de manière chimique ou électrochimique une éprouvette de la forme désirée dans une feuille sur laquelle a été appliquée un dépôt résistant adéquat soit photosensible, soit obtenu par sérigraphie. Ces dernières méthodes sont largement utilisées dans l'industrie des circuits imprimés. Les éprouvettes sont généralement de forme rectangulaire (voir [Tableau 1](#) pour les dimensions recommandées), mais peuvent être élargies à chaque extrémité pour éviter qu'elles se brisent dans les mors de serrage (voir [Figure 4](#)).

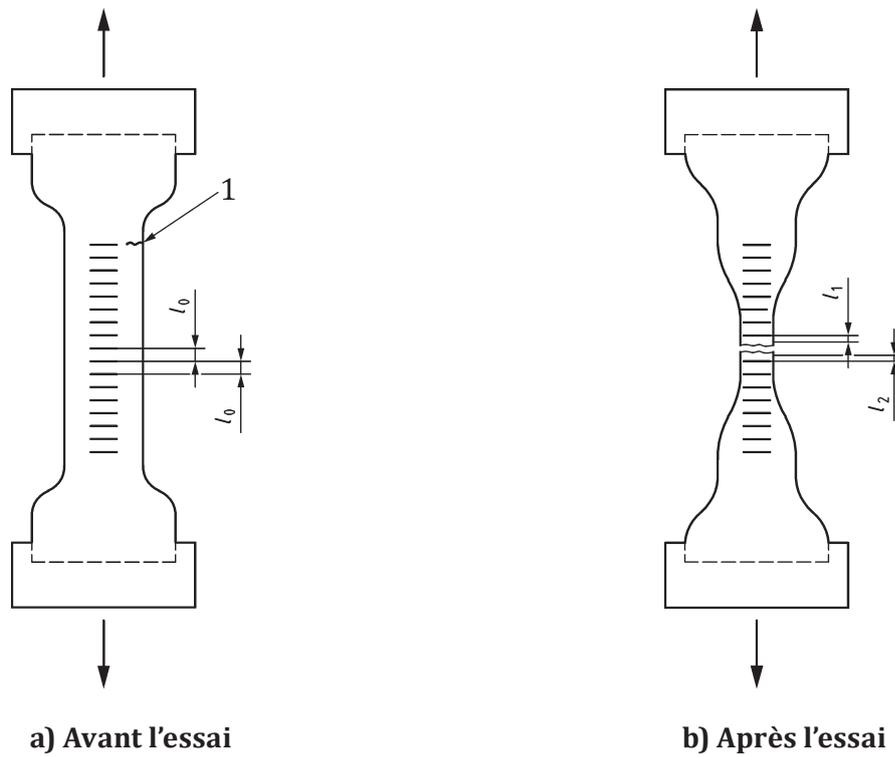
Tableau 1 — Dimensions possibles des éprouvettes pour l'essai de traction[1]

Longueur entre repères (mm)	200	50	25
Largeur (mm)	40	12,5	6,25

Certaines méthodes de préparation des éprouvettes peuvent générer, au niveau des rives, des microfissurations qui entraînent des défaillances précoces et des résultats erratiques. Pour éviter ces défauts au niveau des rives, il est préférable de préparer les éprouvettes par photoimpression ou électroformage.

Les éprouvettes revêtues à leur forme définitive peuvent présenter des rives plus épaisses à moins que des techniques de protection ou autres ne soient prévues pour garantir une répartition uniforme du courant (voir [Figure 5](#)).

Tracer des repères équidistants sur la surface de l'éprouvette comme indiqué sur la [Figure 4 a\)](#). Déterminer la distance entre les repères avant l'essai.



iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

$$l_0 + \Delta l = l_1 + l_2$$

$$\frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l_1 + l_2 - l_0}{l_0}$$

ISO 8401:2017

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/ce2008c3-2a09-4eba-b4a2-c7431cef5518/iso-8401-2017>

Légende

1 microfissurations

Figure 4 — Éprouvette pour essai de traction avant et après l'essai

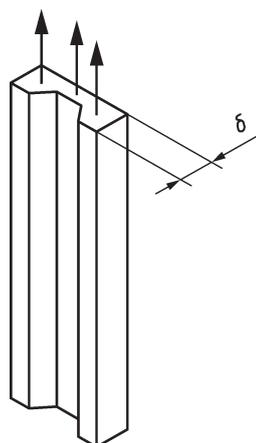


Figure 5 — Éprouvettes revêtues avec rives plus épaisses

5.2.4 Mode opératoire

Serrer l'éprouvette entre les mors de l'équipement d'essai de traction et solliciter à une vitesse de traction déterminée. Déterminer la distance entre les repères sur les éprouvettes après l'essai [voir [Figure 4 b](#))].

5.2.5 Expression des résultats

5.2.5.1 Calcul

La ductilité D , exprimée en pourcentage, est donnée par la [Formule \(1\)](#):

$$D = \frac{l_1 + l_2 - l_0}{l_0} \times 100 \quad (1)$$

où

l_0 est la distance entre les repères avant l'essai;

$l_1 + l_2$ est la distance entre les repères après l'essai.

5.2.5.2 Coefficient de variation

Les éprouvettes préparées mécaniquement peuvent présenter des coefficients de variation s / \bar{D} (où s est l'écart-type et \bar{D} la ductilité moyenne) allant jusqu'à 20 %.

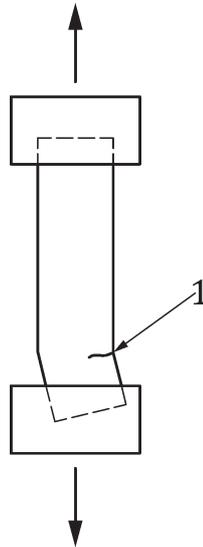
L'électrodéposition avec boucliers de protection pour garantir une répartition uniforme du courant donne des éprouvettes avec des coefficients de variations plus faibles.

5.2.6 Notes sur le mode opératoire

5.2.6.1 L'étirement de l'éprouvette en goulot de bouteille [voir [Figure 4 b](#))] peut nécessiter le mesurage de très petites variations de longueur et l'emploi d'un microscope à vernier.

5.2.6.2 Le montage d'éprouvettes minces et fragiles entre les mors d'une machine d'essai de traction peut induire dans ces éprouvettes des précontraintes qui diminuent la valeur réelle de l'allongement.

5.2.6.3 Des précautions doivent être prises pour éviter de tordre l'éprouvette (voir [Figure 6](#)).



Légende

1 microfissurations

Figure 6 — Éprouvette en torsion

iTeh STANDARD PREVIEW

5.2.6.4 Lorsque ces sources d'erreur (de 5.2.6.1 à 5.2.6.3) ne peuvent pas être évitées, il convient d'employer d'autres méthodes de mesure de la ductilité.

ISO 8401:2017

5.3 Essai de flexion au micromètre <https://www.iso.org/standards/sist/ce2008c3-2a09-4eba-b4a2-c7431cef5518/iso-8401-2017>

5.3.1 Généralités

Cette méthode ne convient qu'à l'évaluation de feuilles métalliques à faible ductilité^[2]. Il n'existe pas de relation simple entre les valeurs ainsi obtenues et celles des autres méthodes. Cette méthode est utile pour des métaux cassants comme le nickel brillant.

5.3.2 Appareillage

5.3.2.1 Micromètre.

5.3.3 Préparation des éprouvettes

Couper des bandes de 0,5 cm × 7,5 cm dans la feuille soumise à l'essai. Ces bandes ont généralement une épaisseur de 25 µm à 40 µm. Cet essai présente les mêmes difficultés que celles décrites en 5.2.3 et 5.2.6. Mesurer l'épaisseur de l'éprouvette au point de flexion à l'aide d'un instrument ou d'une méthode permettant d'obtenir une incertitude maximale de 5 %.

5.3.4 Mode opératoire

Fléchir l'éprouvette en U puis la placer entre les mors du micromètre (5.3.2.1) de manière que, à mesure que les mors se resserrent, la pliure demeure entre ceux-ci. Fermer lentement le micromètre jusqu'à la rupture de la feuille.

Consigner le relevé du micromètre et l'épaisseur de la feuille (voir [Figure 7](#)).

Recommencer l'essai au moins une fois.