



**Norme
internationale**

ISO 14577-1

**Matériaux métalliques — Essai de
pénétration instrumenté pour la
détermination de la dureté et de
paramètres des matériaux —**

**Partie 1:
Méthode d'essai**

*Metallic materials — Instrumented indentation test for hardness
and materials parameters —*

Part 1: Test method

**Troisième édition
2026-06**

Numéro de référence
ISO 14577-1:2026(fr)

© ISO 2026

Sample Document

get full document from standards.iteh.ai



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2026

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
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	2
4 Symboles et désignations	2
5 Principe	4
6 Machine d'essai	5
7 Éprouvette	5
8 Mode opératoire	6
9 Incertitude des résultats	10
10 Rapport d'essai	11
Annexe A (normative) Paramètres des matériaux déterminés à partir de l'ensemble de données force/profondeur de pénétration	13
Annexe B (informative) Types de contrôles utilisés pour le procédé de pénétration	27
Annexe C (normative) Compliance de la machine et fonction de l'aire du pénétrateur	28
Annexe D (informative) Notes sur les pénétrateurs en diamant	30
Annexe E (normative) Influence de la rugosité de surface de l'éprouvette sur l'exactitude des résultats	31
Annexe F (informative) Corrélation de la dureté de pénétration, H_{IT}, avec la dureté Vickers	32
Annexe G (normative) Détermination de la dérive et réduction au minimum de l'influence du fluage	34
Annexe H (informative) Estimation de l'incertitude des valeurs calculées de la dureté et de paramètres des matériaux	36
Annexe I (normative) Calcul de la correction radiale du déplacement	41
Bibliographie	45

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'ISO attire l'attention sur le fait que la mise en application du présent document peut entraîner l'utilisation d'un ou de plusieurs brevets. L'ISO ne prend pas position quant à la preuve, à la validité et à l'applicabilité de tout droit de propriété revendiqué à cet égard. À la date de publication du présent document, l'ISO *n'avait pas* reçu notification qu'un ou plusieurs brevets pouvaient être nécessaires à sa mise en application. Toutefois, il y a lieu d'avertir les responsables de la mise en application du présent document que des informations plus récentes sont susceptibles de figurer dans la base de données de brevets, disponible à l'adresse www.iso.org/brevets. L'ISO ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié tout ou partie de tels droits de propriété.

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 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.

Le présent document a été élaboré par le comité technique ISO/TC 164, *Essais mécaniques des matériaux métalliques*, sous-comité SC 3, *Essais de dureté*, en collaboration avec le comité technique CEN/TC 459/SC1, *Méthodes d'essai des aciers (autres que les analyses chimiques)*, du Comité européen de normalisation (CEN) conformément à l'Accord de coopération technique entre l'ISO et le CEN (Accord de Vienne).

Cette troisième édition annule et remplace la deuxième édition (ISO 14577-1:2015), qui a fait l'objet d'une révision technique.

Les principales modifications sont les suivantes:

- Meilleure spécification de la vitesse d'approche de la pointe.
- Ajout d'une méthode de chargement à vitesse de déformation constante.
- Changement de l'ordre des définitions de dureté: d'abord HIT puis HM.
- Meilleures propositions pour le nettoyage de la pointe.
- Différenciation entre la surface de contact sous charge et à l'état déchargé.
- Réécriture complète de l'[Annexe I](#) pour la correction du déplacement radial.

Une liste de toutes les parties de la série ISO 14577 se trouve sur le site web de l'ISO. 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.

Introduction

La dureté a été typiquement définie comme la résistance d'un matériau à la pénétration rémanente par un autre matériau plus dur. Les résultats obtenus lors d'essais Rockwell, Vickers et Brinell sont déterminés après retrait de la force d'essai. En conséquence, l'effet de la déformation élastique sous le pénétrateur a été ignoré.

L'ISO 14577 (toutes les parties) a été préparée pour permettre à l'utilisateur d'évaluer la pénétration des matériaux en prenant en compte la force et le déplacement pendant les déformations plastique et élastique. En suivant le cycle complet d'augmentation et de retrait de la force d'essai, il est possible de déterminer des valeurs de dureté équivalentes aux valeurs traditionnelles de dureté. Plus important encore, il est également possible de déterminer des caractéristiques complémentaires du matériau telles que son module de pénétration et sa dureté élasto-plastique. Toutes ces valeurs peuvent être calculées sans qu'il y ait à mesurer l'empreinte par des moyens optiques. De plus, l'essai de pénétration instrumenté permet d'enregistrer des profils de dureté et de module en fonction de la profondeur, par une variété de techniques, lors d'un cycle de pénétration probablement complexe.

Bien que la valeur du module de pénétration (E_{IT}) obtenue dans la présente méthode d'essai ne soit pas directement équivalente au module de Young ou au module élastique spécifique d'orientation du matériau pénétré, l' E_{IT} est cependant équivalent à la moyenne de Hill isotrope du module de déformation élastique du matériau lorsqu'il n'y a pas d'empilement ni de contrainte résiduelle.

L'ISO 14577 (toutes les parties) a été rédigée pour permettre une grande diversité d'analyses des données après essai.

La Partie 1 de l'ISO 14577 spécifie la méthode d'essai par indentation pour la détermination de la dureté par indentation instrumentée et des propriétés des matériaux.

Sample Document

get full document from standards.iteh.ai

Sample Document

get full document from standards.iteh.ai

Matériaux métalliques — Essai de pénétration instrumenté pour la détermination de la dureté et de paramètres des matériaux —

Partie 1: Méthode d'essai

1 Domaine d'application

Le présent document spécifie la méthode d'essai de pénétration instrumenté pour la détermination de la dureté et d'autres paramètres des matériaux pour les trois plages suivantes:

- macro-intervalle: $2\text{ N} \leq F \leq 30\text{ kN}$;
- micro-intervalle: $2\text{ N} > F$; $h > 0,2\text{ }\mu\text{m}$;
- nano-intervalle: $h \leq 0,2\text{ }\mu\text{m}$.

Pour le nano-intervalle, la déformation mécanique dépend fortement de la forme réelle de la pointe du pénétrateur, et les paramètres des matériaux calculés sont influencés de manière significative par la fonction de l'aire de contact du pénétrateur utilisé sur la machine d'essai. En conséquence, un étalonnage soigné de l'instrument et de la forme du pénétrateur est nécessaire pour obtenir une reproductibilité acceptable des paramètres des matériaux déterminés avec différentes machines.

Les macro et micro-intervalles se distinguent par les forces d'essai en relation avec la profondeur d'empreinte.

L'attention est attirée sur le fait que le micro-intervalle a une limite supérieure donnée par la force d'essai (2 N) et une limite inférieure donnée par la profondeur d'empreinte de 0,2 μm .

La détermination de la dureté et d'autres paramètres des matériaux est donnée dans l'[Annexe A](#) normative.

L'endommagement du pénétrateur est possible pour les pressions de contact élevées. Pour les éprouvettes à dureté et module d'élasticité élevés, une déformation permanente du pénétrateur peut se produire et être détectée à l'aide des matériaux de référence appropriés. Les pénétrations entraînant des dommages ou une déformation permanente du pénétrateur sont exclues du domaine d'application de la présente méthode d'essai.

La présente méthode d'essai est également applicable à des revêtements métalliques et non métalliques minces et à des matériaux non métalliques. Dans ce cas, il est recommandé de prendre en compte les spécifications données dans les normes applicables (voir également [7.3](#) et l'ISO 14577-4).

Les méthodes d'analyse de la présente norme supposent que les matériaux se comportent comme des matériaux idéaux. Toute déviation (contrainte interne, accumulation, affaissement, densification, transitions de phase, fissures) entraînera des incertitudes supplémentaires. Cela devient particulièrement important si des comparaisons doivent être faites avec des paramètres de matériaux obtenus par d'autres méthodes.

2 Références normatives

Les documents suivants, en tout ou partie, sont référencés de manière normative dans le présent document et sont indispensables à son application. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition de la publication à laquelle il est fait référence s'applique (y compris tous les amendements).

ISO 14577-2:2026, *Matériaux métalliques — Essai de pénétration instrumenté pour la détermination de la dureté et de paramètres des matériaux — Partie 2: Vérification et étalonnage des machines d'essai*

Guide ISO/IEC 98-3:2008, *Incertitude de mesures — Partie 3: Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure (GUM:1995)*

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 <https://www.electropedia.org/>

4 Symboles et désignations

Pour les besoins du présent document, les symboles et les désignations du [Tableau 1](#) doivent être appliqués (voir également [Figure 1](#) et [Figure 2](#)).

Tableau 1 — Symboles et désignations

Symbole	Désignation	Unité
$A_p(h_c)$	Aire de contact projetée du pénétrateur à la distance h_c de la pointe	mm ²
$A_{p,UL}(h_c)$	Aire de contact projetée à l'état non chargé du pénétrateur à la distance h_c de la pointe.	mm ²
$A_s(h)$	Aire de la surface du pénétrateur à la distance h de la pointe	mm ²
C_{IT}	Fluage de pénétration	%
C_T	Compliance de contact totale mesurée (dh/dF tangente à la courbe de retrait de la force au point correspondant à la force d'essai maximale durant l'essai)	nm/mN
C_F	Compliance de la machine	nm/mN
C_S	Compliance de contact après correction de la compliance de la machine	nm/mN
E_{IT}	Module de pénétration de l'éprouvette	GPa
E_r	Module de contact en déformation plane réduite (combinaison des modules en déformation plane de l'éprouvette et du pénétrateur)	GPa
F	Force d'essai	N
F_{max}	Force maximale d'essai	N
h	Profondeur de pénétration sous la force d'essai appliquée	mm
h_c	Profondeur du contact du pénétrateur avec l'éprouvette à F_{max}	mm
h_{max}	Profondeur de pénétration maximale à F_{max}	mm
h_p	Profondeur de pénétration rémanente après retrait de la force d'essai	mm
h_r	Point d'intersection de la tangente c à la courbe b à F_{max} avec l'axe profondeur de pénétration, comme identifié à la Figure 1	mm
H_{IT}	Dureté de pénétration	GPa
HM	Dureté Martens	GPa
HM _s	Dureté Martens, déterminée à partir de la pente de la courbe force croissante/ profondeur de pénétration	GPa
HM _{diff}	Dureté Martens, déterminée à partir de la dérivée première de h en fonction de \sqrt{F}	GPa

NOTE 1 De manière à éviter des nombres très longs, l'utilisation de multiples ou sous-multiples des unités peut être utilisée.

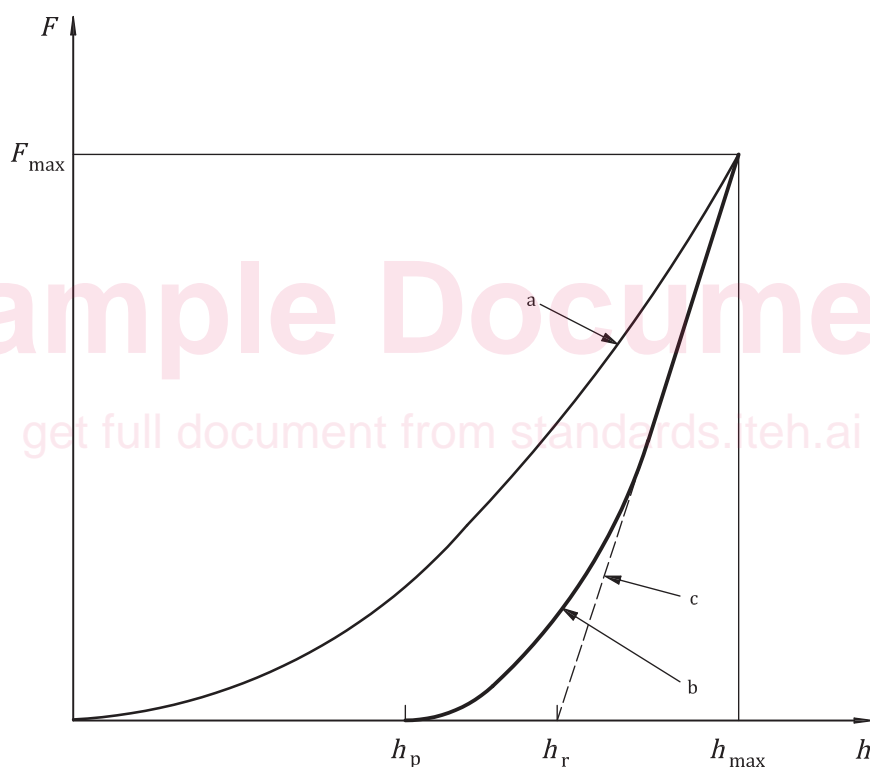
NOTE 2 L'utilisation du N/mm² est encore autorisée. 1 MPa = 1 N/mm².

Tableau 1 (suite)

Symbole	Désignation	Unité
ν_s	Coefficient de poisson de l'éprouvette	
r	Rayon du pénétrateur sphérique	mm
R_{IT}	Relaxation de pénétration	%
W_{elast}	Travail correspondant à la déformation due au retour élastique lors de la pénétration	N·m
W_{total}	Travail mécanique total	N·m
α	Demi-angle du cône ou angle de facette par rapport à l'axe du pénétrateur pour les pénétrateurs pyramidaux	°
θ	Angle maximal entre la surface de contact et le pénétrateur pour le calcul du déplacement radial	°
η_{IT}	Rapport W_{elast} / W_{total}	%

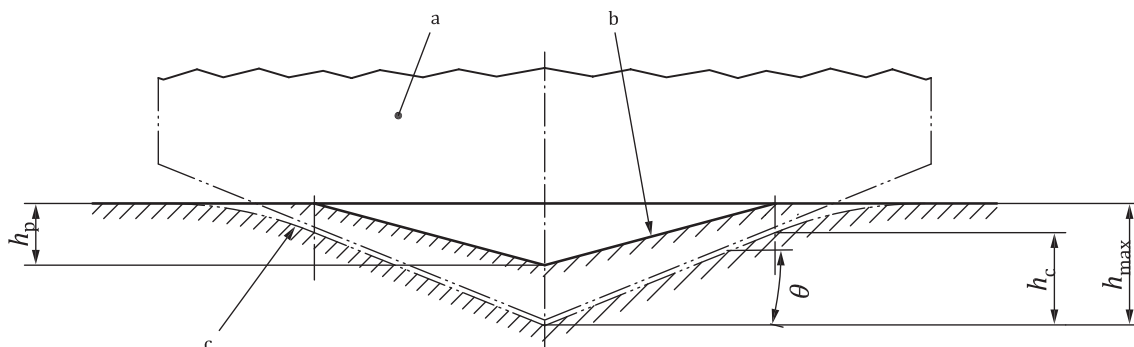
NOTE 1 De manière à éviter des nombres très longs, l'utilisation de multiples ou sous-multiples des unités peut être utilisée.

NOTE 2 L'utilisation du N/mm² est encore autorisée. 1 MPa = 1 N/mm².



- a Application de la force d'essai.
- b Retrait de la force d'essai.
- c Tangente à la courbe b à F_{max} .

Figure 1 — Représentation schématique du mode opératoire d'essai



Légende

- a Pénétrateur.
- b Surface de la pénétration plastique résiduelle dans l'éprouvette.
- c Surface de l'éprouvette pour les profondeurs de pénétration et force d'essai maximales.
- θ angle maximal entre la surface de contact de l'échantillon et le pénétrateur

Figure 2 — Représentation schématique de la coupe transversale de l'empreinte dans le cas d'un enfoncement du matériau

5 Principe

L'enregistrement continu de la force et de la profondeur de pénétration permet la détermination de la dureté et des caractéristiques de matériau (voir [Figure 1](#) et [Figure 2](#)). Les valeurs mesurées de dureté et des autres paramètres de matériau doivent être déterminées conformément à l'[Annexe A](#). Un pénétrateur constitué d'un matériau plus dur que le matériau soumis à l'essai doit être utilisé (c'est-à-dire que le pénétrateur ne doit pas être déformé en permanence et ne doit pas être endommagé par suite d'une pénétration). Pour les essais de dureté les formes et les matériaux suivants peuvent être utilisés:

- a) pénétrateur en forme de pyramide droite à base carrée avec un angle $\alpha = 68^\circ$ entre l'axe de la pyramide et l'une des faces (pyramide Vickers, voir [Figure A.1](#));
- b) pyramide à base triangulaire (par exemple pyramide Berkovich modifiée avec un angle $\alpha = 65,27^\circ$ entre l'axe de la pyramide et l'une des faces; voir [Figure A.1](#));
- c) pénétrateur à bille (spécialement pour la détermination du comportement élastique des matériaux);
- d) pénétrateur à extrémité sphérique.

Le présent document n'exclut pas l'utilisation d'autres géométries de pénétrateur; toutefois, il convient de veiller à interpréter avec prudence les résultats obtenus à l'aide de tels pénétrateurs. Le diamant est le matériau préféré, mais d'autres matériaux comme le saphir peuvent également être utilisés, par exemple pour éviter une réaction chimique entre le pénétrateur et l'éprouvette, à condition que les exigences mécaniques susmentionnées concernant le pénétrateur soient respectées.

Pour les essais de module d'indentation, les géométries d'indenteurs utilisées pour les essais de dureté sont fortement recommandées, mais, en principe, toute géométrie d'indenteur peut être utilisée à condition que la fonction de surface soit connue et qu'elle augmente de manière monotone avec la profondeur d'indentation.

NOTE En raison de la structure cristalline du diamant, les pénétrateurs qui sont destinés à être sphériques, sont souvent des polyèdres et n'ont pas une forme sphérique idéale.

Le mode opératoire d'essai peut être soit à force contrôlée, soit à déplacement contrôlé. La force d'essai, F , la profondeur de pénétration correspondante, h , et le temps sont enregistrés pendant toute la durée de l'essai. L'ensemble des données relatives à la force d'essai et à la profondeur de pénétration correspondante en fonction du temps constitue le résultat de l'essai (voir [Figure 1](#) et [Annexe B](#)).

Pour que la détermination de la force et de la profondeur de pénétration correspondante soit reproductible, le point zéro doit être fixé pour le mesurage des forces/profondeurs de pénétration pour chaque essai (voir [7.3](#)).

Lorsque des effets dépendant du temps sont mesurés:

- en utilisant la méthode à force contrôlée, la force d'essai est maintenue constante pendant une durée spécifiée et le changement de la profondeur de pénétration est mesuré en fonction du temps de maintien de la force d'essai (voir [Figures A.3](#) et [B.1](#)), et
- en utilisant la méthode à profondeur de pénétration contrôlée, la profondeur de pénétration est maintenue constante pendant un temps spécifié et la modification de la force d'essai est mesurée en fonction du temps de maintien de la profondeur de pénétration (voir [Figures A.4](#) et [B.2](#)).

Les deux types de contrôles mentionnés donnent des résultats différents, essentiellement pour les zones b des courbes des [Figures B.1 a\)](#) et [B.2 b\)](#) ou des [Figures B.1 b\)](#) et [B.2 a\)](#).

6 Machine d'essai

6.1 La machine d'essai doit pouvoir appliquer des forces d'essai ou des déplacements prédéterminé(e)s dans l'intervalle requis et doit satisfaire les exigences de l'ISO 14577-2.

6.2 La machine d'essai doit pouvoir mesurer et enregistrer la force appliquée, la pénétration et le temps, pendant tout le cycle d'essai.

6.3 La machine d'essai doit pouvoir compenser la compliance de la machine et utiliser la fonction de l'aire appropriée du pénétrateur selon l'Annexe C et l'ISO 14577-2:2026, 5.5 et 5.6.

6.4 Les pénétrateurs à utiliser avec les machines d'essai peuvent avoir diverses formes, comme spécifié dans l'ISO 14577-2 (pour des informations complémentaires sur les pénétrateurs, voir [Annexe D](#)).

6.5 La machine d'essai doit être utilisée à une température comprise dans l'intervalle admissible spécifié en [8.1](#) et doit conserver son étalonnage dans les limites prescrites dans l'ISO 14577-2:2026, Article 5.

7 Éprouvette

7.1 L'essai doit être réalisé dans une zone de la surface d'essai qui permet la détermination de la courbe force/profondeur de pénétration pour la plage de pénétration correspondante à l'intérieur de l'incertitude requise. La surface de contact doit être exempte de fluides et de lubrifiants, sauf lorsque cela est essentiel pour la réalisation de l'essai, auquel cas, cela doit être décrit en détail dans le rapport d'essai. Il doit être veillé à ce qu'aucune matière étrangère (par exemple particules de poussières) ne soit incorporée dans la zone de contact.

En général, pour autant que la surface soit exempte d'une contamination évidente de la surface, il convient d'éviter des procédures de nettoyage. Si un nettoyage est requis, il doit être limité à des méthodes qui minimisent les dommages, par exemple:

- application d'un courant de gaz sec, exempt d'huile et filtré;
- application d'un courant de particules de CO₂ se sublimant (en évitant une température de surface en dessous du point de rosée);
- rincer avec un solvant (qui est chimiquement inerte vis-à-vis de l'éprouvette) puis sécher.

Si ces méthodes échouent et que la surface est suffisamment robuste, essuyer la surface avec un tissu non pelucheux imbibé de solvant afin d'enlever les particules de poussière piégées, après quoi, la surface doit être rincée dans un solvant comme décrit précédemment.

Les méthodes par ultrasons sont connues pour créer ou accroître l'endommagement des surfaces et des revêtements et il convient de ne les utiliser qu'avec précaution.

Le fini de surface a une influence significative sur les résultats d'essai qui dépend de la taille relative de la profondeur d'indentation, h , par rapport à la rugosité moyenne arithmétique, R_a . La taille relative de ces paramètres doit respecter les limites indiquées dans l'[Annexe E](#).

La surface de l'éprouvette doit être perpendiculaire à la direction de la force d'essai. La différence d'angle entre la normale à la surface d'essai et l'axe de l'indenteur doit être inférieure à 1° . Il convient que l'effet de l'inclinaison de la surface soit inclus dans le calcul de l'incertitude.

Il convient que l'échantillon soit exempt de magnétisme. Il convient que les éprouvettes susceptibles de devenir magnétiques soient vérifiées quant à la présence de magnétisme et démagnétisées avant l'essai, si possible. Il convient que des précautions soient prises pour éviter l'effet du magnétisme sur le système de mesure.

7.2 Si nécessaire, la préparation de la surface d'essai doit être effectuée de façon que toute altération de la dureté de la surface et/ou toute contrainte résiduelle de surface (par exemple par échauffement ou par écrouissage) soient réduites au minimum.

Compte tenu des faibles profondeurs de pénétration dans les micro et nano-intervalles, des précautions particulières doivent être prises lors de la préparation de l'éprouvette. Lorsqu'un polissage est nécessaire, un procédé de polissage adapté aux matériaux particuliers doit être utilisé.

Le polissage électrolytique est une méthode de préparation recommandée qui peut éliminer une couche de surface écrouie. Cependant, il convient de veiller à ce que la rugosité de la surface ne dépasse pas les limites indiquées dans la présente norme.

7.3 L'épaisseur de l'éprouvette doit être suffisamment grande (ou la profondeur de pénétration suffisamment petite) pour que le résultat d'essai ne soit pas influencé par l'appui de l'éprouvette. Pour les mesurages de dureté et du module, l'épaisseur de l'éprouvette doit être au moins égale à la plus élevée des deux valeurs entre 10 fois la profondeur de pénétration ou à 3 fois le diamètre de l'empreinte (voir [8.7](#)). Pour les mesurages du module, une épaisseur d'échantillon supérieure à 30 fois la profondeur de pénétration est recommandée. Pour les mesurages d'échantillons plus minces, il est recommandé de suivre l'analyse décrite dans l'ISO 14577-4 pour les revêtements.

Lors des essais des revêtements, il convient de considérer que l'épaisseur de l'éprouvette est l'épaisseur du revêtement. Pour soumettre à l'essai des échantillons minces ou des revêtements, voir l'ISO 14577-4 pour réaliser de meilleurs modes opératoires d'essai.

NOTE Ce qui précède correspond à des limites établies de manière empirique basées sur des essais de dureté. L'effet de l'épaisseur de l'éprouvette sur le résultat de module élastique n'est pas le même que l'effet sur le résultat de dureté. Les limites précises de l'influence de l'appui sur l'éprouvette dépendent de la géométrie du pénétrateur utilisé et des caractéristiques des matériaux de l'éprouvette et de l'appui.

8 Mode opératoire

8.1 La température de l'essai doit être enregistrée. Les essais doivent être effectués à $\pm 10^\circ\text{C}$ de la température d'étalonnage de l'instrument.

La stabilité de la température durant un essai est plus importante que la température d'essai effective. Toute correction de l'étalonnage appliquée doit être indiquée dans le rapport d'essai avec l'incertitude d'étalonnage complémentaire. Il est recommandé que les essais, en particulier ceux dans les nano et micro intervalles, soient réalisés dans des conditions contrôlées dans l'intervalle de $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$ et à une humidité relative de $(45 \pm 10)\%$.

Toutefois, les essais individuels doivent être réalisés dans des conditions stables de température en raison de l'exigence d'exactitude élevée du mesurage de la profondeur. Cela signifie que:

- les éprouvettes doivent atteindre la température ambiante avant d'être soumises à l'essai;

- la machine d'essai doit avoir atteint une température opérationnelle stable (il convient de consulter le manuel d'utilisation);
- la température ambiante, la température de l'instrument et la température d'essai doivent se situer dans l'intervalle pour lequel l'étalonnage de la machine est valable, et
- les autres influences extérieures provoquant des changements de température pendant un essai individuel ont été contrôlées.

Pour réduire au minimum la dérive du déplacement induite thermiquement, la température de la machine d'essai doit être maintenue de manière adéquate pendant la durée du cycle d'essais, ou la dérive du déplacement doit être mesurée et corrigée. Un arbre de décision, pour aider à l'estimation de la dérive pendant l'expérimentation, est illustré à la [Figure 3](#). Si la vitesse de dérive est significative, les données relatives au déplacement doivent être corrigées en mesurant la vitesse de la dérive pendant un maintien à une force appliquée aussi proche que possible de zéro ou pendant un maintien à un point donné de la courbe de retrait de la force (compliance à l'[Annexe G](#) et ISO 14577-2:2026, 5.3.3). Dans tous les cas où la vitesse de dérive influe sur la profondeur de pénétration maximale de plus de 1 % pendant la durée totale du cycle de pénétration, la vitesse de dérive doit être corrigée (voir les tolérances dans l'ISO 14577-2:2026, Tableau 2 et 5.3.3). Si un contact dans le régime purement élastique peut être obtenu, un maintien au contact initial est préférable. De cette façon, les influences du matériau (fluage, visco-plasticité, fissuration) peuvent être réduites au minimum. Lorsque la mesure est significativement plus longue que la période de retenue pour la mesure de dérive thermique, il est recommandé de mesurer la dérive thermique avant et après l'expérience et de corriger le déplacement en utilisant la moyenne des deux vitesses de dérive. La différence entre les deux vitesses de dérive est une estimation de l'incertitude de la vitesse de dérive. L'incertitude sur la dérive ou sur la correction de la dérive doit être déclarée.

Pour déterminer la dérive des instruments de référence de surface, le contact entre le pénétrateur de référence et la surface de l'échantillon doit être élastique. Cela peut être déterminé par calcul.

NOTE L'importance d'une vitesse de dérive particulière sur le mesurage dépend de l'intervalle de pénétration et du type d'application.

get full document from standards.iteh.ai

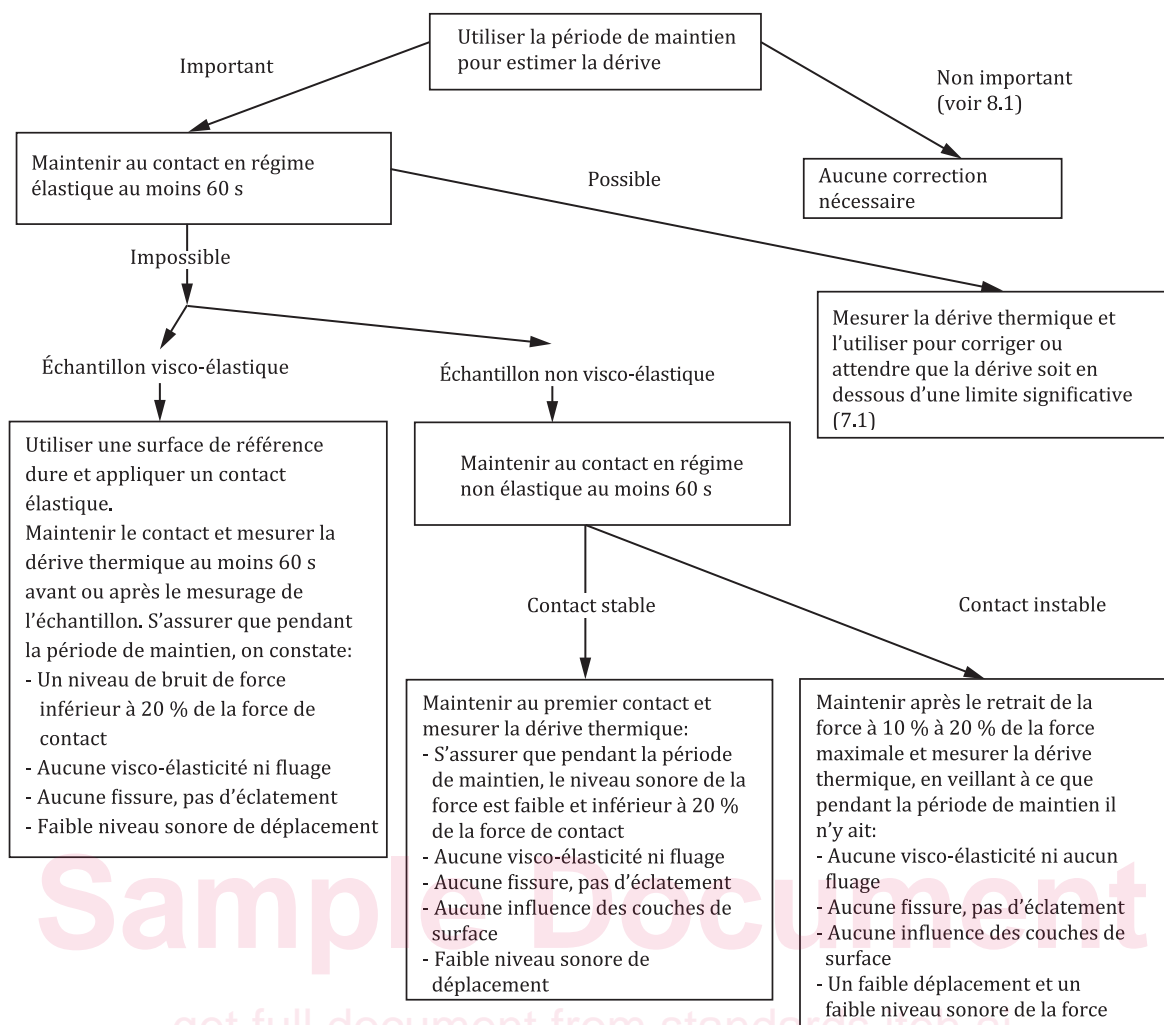


Figure 3 — Arbre de décision pour aider à estimer la dérive thermique au moyen d'une période de maintien à force constante

8.2 L'éprouvette doit être fermement supportée de façon qu'il n'y ait pas de modification de la compliance de la machine d'essai. L'éprouvette doit être placée sur un appui rigide dans la direction de la pénétration ou être fixée dans un porte-éprouvette approprié. Les surfaces de contact entre l'éprouvette, l'appui et le porte-éprouvette doivent être exemptes de matières étrangères qui pourraient augmenter la compliance (réduire la rigidité) de l'appui de l'éprouvette.

8.3 Le point zéro pour le mesurage de la courbe force/profondeur de pénétration doit être fixé individuellement à chaque ensemble de données d'essai selon l'une des méthodes suivantes. Il représente le premier contact du pénétrateur avec la surface de l'éprouvette. L'incertitude sur le point zéro doit être déclarée. Il convient que l'incertitude concernant le point zéro fixé ne dépasse pas 1 % de la profondeur maximale de pénétration pour les macro et micro-intervalles. L'incertitude du point zéro pour le nano-intervalle peut dépasser 1 %, dans ce cas, la valeur doit être estimée.

a) Méthode 1: Le point zéro est calculé par extrapolation d'une fonction lissée à partir de la courbe d'application de la force (voir courbe a de la [Figure 1](#)); un lissage au moyen d'une loi puissance avec l'exposant comme paramètre d'ajustement maintenu dans l'intervalle $1 \leq m \leq 2$ est recommandé. Le lissage doit être appliqué aux valeurs dans l'intervalle entre le premier point de données enregistré et à moins de 5 % de la profondeur de pénétration maximale. Les données lissées ne doivent pas contenir de changement dans la réponse en pénétration telle qu'un début de plastification. Il est recommandé que les données soient enregistrées pendant l'approche (avant le contact) afin qu'elles puissent être utilisées pour la détermination du point zéro. L'incertitude du point zéro calculé résulte des paramètres

du lissage, de la fonction de lissage et de la longueur de l'extrapolation. L'incertitude est calculée comme l'erreur standard de l'ordonnée à l'origine de la fonction d'ajustement à force nulle avec l'axe des profondeurs.

NOTE 1 La première partie de la courbe de pénétration peut être affectée par les vibrations ou d'autres bruits.

- b) Méthode 2: Le point zéro est le point de contact déterminé pendant le premier accroissement de la force d'essai ou de la rigidité du contact. À ce point de contact, l'incrément en force ou en déplacement doit être suffisamment petit pour que l'incertitude sur le point zéro soit inférieure à la limite requise.

NOTE 2 Des valeurs typiques de petit incrément de force sont de $10^{-4} F_{\max}$ pour le macro-intervalle et sont inférieures à 5 μN pour les micro et macro-intervalles.

8.4 Le cycle d'essai peut être soit à force contrôlée, soit à profondeur de pénétration contrôlée. Les paramètres contrôlés peuvent varier soit en continu, soit par paliers. Une description complète de toutes les parties du cycle d'essai doit être indiquée dans le rapport d'essai, y compris:

- le type de contrôle (c'est-à-dire contrôle en force ou en déplacement, et s'il y a modification des paramètres contrôlés par paliers ou en continu);
- la force maximale (ou le déplacement maximal);
- la fonction d'application de la force (ou du déplacement);
- la longueur et la position de chaque période de maintien;
- la fréquence d'acquisition des données (ou le nombre de points expérimentaux).

NOTE Un exemple de cycle pour les nano et micro-intervalles est: temps d'application de la force 30 s; temps de maintien à F_{\max} 30 s; temps de retrait de la force 10 s. Un temps de maintien de 60 s pour mesurer la dérive thermique peut également être nécessaire (voir [Annexe G](#)).

Le temps passé pour effectuer l'essai peut avoir une influence sur les résultats obtenus. De façon à obtenir des résultats d'essai comparables, le temps nécessaire à l'essai doit être enregistré et consigné.

8.5 La force d'essai doit être appliquée sans choc ni vibration susceptible d'affecter significativement les résultats d'essai jusqu'à ce que la force d'essai soit appliquée ou le déplacement en pénétration atteigne la valeur prescrite. La force et le déplacement doivent être enregistrés aux intervalles de temps indiqués dans le rapport d'essai.

Lors de la détermination du point de contact du pénétrateur avec l'éprouvette, la vitesse d'approche du pénétrateur doit être suffisamment faible afin que les caractéristiques mécaniques de la surface ne soient pas modifiées par l'impact. Pour des empreintes pour le macro-intervalle, il convient qu'elle ne dépasse pas 2 $\mu\text{m/s}$. Il convient que la vitesse d'approche immédiatement avant le contact divisée par la vitesse d'acquisition du signal de déplacement ne soit pas supérieure à 1 nm dans le nano-intervalle et à 5 nm dans le micro-intervalle. Il est recommandé que les utilisateurs indiquent la vitesse d'approche dans le rapport d'essai.

Les ensembles de données force/profondeur de pénétration/temps ne sont comparables que si le même pénétrateur et le même cycle (profil) d'essai sont utilisés. Le profil d'essai doit être spécifié en termes de force d'essai appliquée ou de déplacement en pénétration en fonction du temps. Les trois cycles les plus courants sont:

- vitesse constante d'application de la force d'essai;
- vitesse constante de déplacement en pénétration;
- vitesse constante de contrainte.

Des modes opératoires multi-cycles plus complexes comme les cycles de déchargement partiel peuvent également être utilisés pour obtenir des informations à différentes forces d'essai dans une position de mesurage.