

---

---

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

Partie 1:

**Méthode d'essai**

iTeh STANDARDS PREVIEW  
(standards.itih.ai)

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

*Part 1: Test method*

<https://standards.itih.ai/catalog/standards/sist/993e9075-3478-4204-8b1a-329f633bb637/iso-14577-1-2002>



**PDF – Exonération de responsabilité**

Le présent fichier PDF peut contenir des polices de caractères intégrées. Conformément aux conditions de licence d'Adobe, ce fichier peut être imprimé ou visualisé, mais ne doit pas être modifié à moins que l'ordinateur employé à cet effet ne bénéficie d'une licence autorisant l'utilisation de ces polices et que celles-ci y soient installées. Lors du téléchargement de ce fichier, les parties concernées acceptent de fait la responsabilité de ne pas enfreindre les conditions de licence d'Adobe. Le Secrétariat central de l'ISO décline toute responsabilité en la matière.

Adobe est une marque déposée d'Adobe Systems Incorporated.

Les détails relatifs aux produits logiciels utilisés pour la création du présent fichier PDF sont disponibles dans la rubrique General Info du fichier; les paramètres de création PDF ont été optimisés pour l'impression. Toutes les mesures ont été prises pour garantir l'exploitation de ce fichier par les comités membres de l'ISO. Dans le cas peu probable où surviendrait un problème d'utilisation, veuillez en informer le Secrétariat central à l'adresse donnée ci-dessous.

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

[ISO 14577-1:2002](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/993e9075-3478-4204-8b1a-329f633bb637/iso-14577-1-2002)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/993e9075-3478-4204-8b1a-329f633bb637/iso-14577-1-2002>

© ISO 2002

Droits de reproduction réservés. Sauf prescription différente, 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 et les microfilms, sans l'accord écrit de l'ISO à l'adresse ci-après ou du comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office  
Case postale 56 • CH-1211 Geneva 20  
Tel. + 41 22 749 01 11  
Fax. + 41 22 749 09 47  
E-mail [copyright@iso.ch](mailto:copyright@iso.ch)  
Web [www.iso.ch](http://www.iso.ch)

Imprimé en Suisse

## Sommaire

Page

Avant-propos .....	iv
Introduction.....	v
1 <b>Domaine d'application</b> .....	1
2 <b>Références normatives</b> .....	1
3 <b>Symboles et désignations</b> .....	2
4 <b>Principe</b> .....	4
5 <b>Machine d'essai</b> .....	4
6 <b>Éprouvette</b> .....	5
7 <b>Mode opératoire</b> .....	5
8 <b>Incertitude des résultats</b> .....	8
9 <b>Rapport d'essai</b> .....	8
<b>Annexe A (normative) Paramètres de matériaux déterminés à partir des ensembles de données force/profondeur de pénétration</b> .....	10
<b>Annexe B (informative) Types de mode de contrôle pour le procédé de pénétration</b> .....	20
<b>Annexe C (normative) Déformabilité de la machine et fonction d'aire du pénétrateur</b> .....	21
<b>Annexe D (informative) Notes sur les pénétrations en diamant</b> .....	23
<b>Annexe E (normative) Influence de la rugosité de surface de l'éprouvette sur l'exactitude des résultats</b> .....	24
<b>Annexe F (informative) Corrélation de la dureté de pénétration, <math>H_{IT}</math>, avec la dureté Vickers</b> .....	25
<b>Bibliographie</b> .....	26

## 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 (CEI) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les Normes internationales sont rédigées conformément aux règles données dans les Directives ISO/CEI, Partie 3.

La tâche principale des comités techniques est d'élaborer les Normes internationales. Les projets de Normes internationales adoptés par les comités techniques sont soumis aux comités membres pour vote. Leur publication comme Normes internationales requiert l'approbation de 75 % au moins des comités membres votants.

L'attention est appelée sur le fait que certains des éléments de la présente partie de l'ISO 14577 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.

L'ISO 14577-1 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 164, *Essais mécaniques des métaux*, sous-comité SC 3, *Essais de dureté*.

L'ISO 14577 comprend les parties suivantes, présentées sous le titre général *Matériaux métalliques — Essai de pénétration instrumenté pour la détermination de la dureté et de paramètres des matériaux*:

- *Partie 1: Méthode d'essai*
- *Partie 2: Vérification et étalonnage des machines d'essai*
- *Partie 3: Étalonnage des blocs de référence*

Les annexes A, C et E constituent des éléments normatifs de la présente partie de l'ISO 14577. Les annexes B, D et F sont données uniquement à titre d'information.

## 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 enlèvement de la force d'essai. En conséquence, l'effet de la déformation élastique sous le pénétrateur a été ignoré.

L'ISO 14577 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'accroissement et de suppression de la force d'essai, on peut déterminer des valeurs de dureté équivalentes aux valeurs traditionnelles de dureté. Plus important encore, on peut aussi déterminer des caractéristiques complémentaires du matériau telles que son module de pénétration et sa dureté élastoplastique. Toutes ces valeurs peuvent être calculées sans qu'il y ait à mesurer l'empreinte par des moyens optiques.

L'ISO 14577 a été rédigée pour permettre une grande diversité d'analyses des données après essai.

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

[ISO 14577-1:2002](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/993e9075-3478-4204-8b1a-329f633bb637/iso-14577-1-2002)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/993e9075-3478-4204-8b1a-329f633bb637/iso-14577-1-2002>

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

ISO 14577-1:2002

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/993e9075-3478-4204-8b1a-329f633bb637/iso-14577-1-2002>

# 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

La présente partie de l'ISO 14577 spécifie la méthode d'essai de pénétration instrumenté pour la détermination de la dureté et d'autres paramètres de matériaux pour les trois plages données dans le Tableau 1.

Tableau 1 — Plages d'application

Macro-plage	Micro-plage	Nano-plage <sup>a</sup>
$2 \text{ N} \leq F \leq 30 \text{ kN}$	$2 \text{ N} > F; h > 0,2 \text{ }\mu\text{m}$	$h \leq 0,2 \text{ }\mu\text{m}$

<sup>a</sup> Pour la nano-plage, la déformation mécanique dépend fortement de la forme réelle de la pointe du pénétrateur, et les paramètres de matériaux calculés sont influencés de manière significative par la fonction d'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 de matériaux déterminés avec différentes machines.

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/993e9075-3478-4204-8b1a-329f633bb637/iso-14577-1-2002>

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

L'attention est attirée sur le fait que la micro-plage 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  $\mu\text{m}$ .

La détermination de la dureté et d'autres paramètres de matériaux est donnée dans l'annexe A.

L'endommagement du pénétrateur est possible pour les pressions de contact élevées. Pour cette raison, des pénétrateurs en carbure sont souvent utilisés pour la macro-plage. Pour les éprouvettes à dureté et module d'élasticité élevés, il convient de tenir compte de l'influence de la déformation du pénétrateur sur le résultat d'essai.

NOTE Cette méthode d'essai est également applicable à des revêtements métalliques et non métalliques minces et à des matériaux non métalliques. Dans ce cas, il convient de prendre en compte les spécifications données dans les normes applicables (voir également 6.3).

### 2 Références normatives

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente partie de l'ISO 14577. Pour les références datées, les amendements ultérieurs ou les révisions de ces publications ne s'appliquent pas. Toutefois, les parties prenantes aux accords fondés sur la présente partie de l'ISO 14577 sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des documents normatifs indiqués ci-après. Pour les références non datées, la dernière édition du document normatif en référence s'applique. Les membres de l'ISO et de la CEI possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

ISO 4287:1998, *Spécification géométrique des produits (GPS) — État de surface: Méthode du profil — Termes, définitions et paramètres d'état de surface*

ISO 14577-2:2002, *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 pour l'expression de l'incertitude de mesure (GUM)<sup>1)</sup>

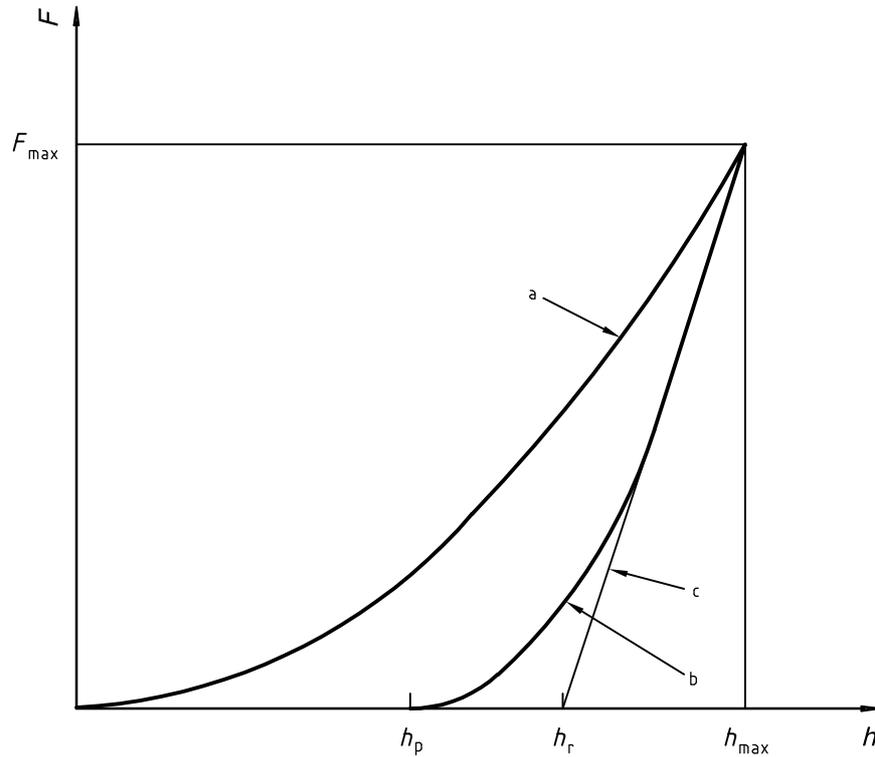
### 3 Symboles et désignations

Pour les besoins de la présente Norme internationale, les symboles et les désignations du Tableau 2 doivent être appliqués (voir également Figure 1 et Figure 2).

**Tableau 2 — 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 <sup>2</sup>
$A_s(h)$	Aire de la surface du pénétrateur à la distance $h$ de la pointe	mm <sup>2</sup>
$C_{IT}$	Fluage de pénétration	%
$E_{IT}$	Module de pénétration	N/mm <sup>2</sup>
$F$	Force d'essai	N
$F_{max}$	Force d'essai maximale	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 suppression de la force d'essai	mm
$h_T$	Point d'intersection de la tangente c à la courbe b à $F_{max}$ avec l'axe profondeur de pénétration (voir Figure 1)	mm
$H_{IT}$	Dureté de pénétration	N/mm <sup>2</sup>
HM	Dureté Martens	N/mm <sup>2</sup>
HM <sub>s</sub>	Dureté Martens, déterminée à partir de la pente de la courbe force croissante/profondeur de pénétration	N/mm <sup>2</sup>
$r$	Rayon du pénétrateur sphérique	mm
$R_{IT}$	Relaxation de pénétration	%
$W_{élast}$	Travail correspondant à la déformation due au retour élastique lors de la pénétration	N·m
$W_{total}$	Travail mécanique total	N·m
$\alpha$	Angle, spécifique à la forme du pénétrateur pyramidal	°
$\eta_{IT}$	Rapport $W_{élast}/W_{total}$	%
NOTE 1	De manière à éviter des nombres trop longs, l'utilisation de multiples ou sous-multiples des unités est permise.	
NOTE 2	1 N/mm <sup>2</sup> = 1 MPa.	

1) Publié en 1993; corrigé et réimprimé en 1995.

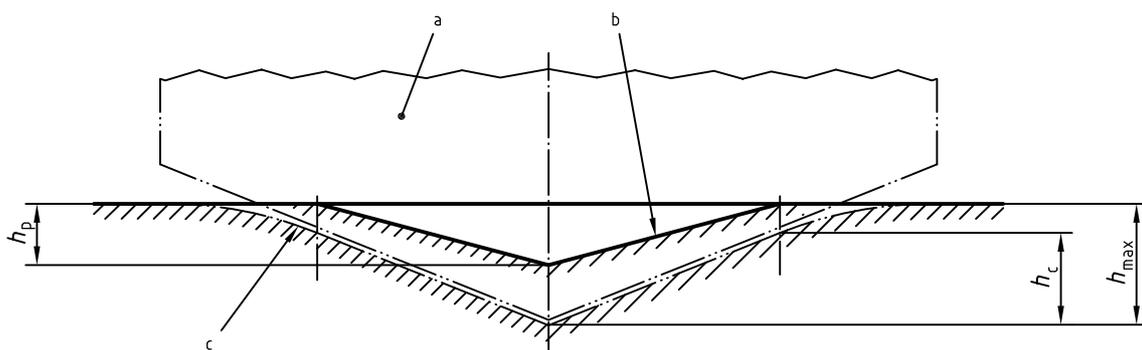


- a Application de la force d'essai.  
 b Suppression de la force d'essai.  
 c Tangente à la courbe b à  $F_{\max}$ .

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

ISO 14577-1:2002

Figure 1 — Représentation schématique du mode opératoire d'essai



- 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.

Figure 2 — Représentation schématique de la coupe transversale de l'empreinte

## 4 Principe

Le suivi continu de la force et de la profondeur de pénétration peut permettre la détermination de la dureté et des caractéristiques de matériau (voir Figure 1 et Figure 2). Un pénétrateur constitué d'un matériau plus dur que le matériau soumis à l'essai, dans les formes et matériaux suivants, peut être utilisé:

- a) pénétrateur diamant en forme de pyramide droite à base carrée avec un angle  $\alpha = 136^\circ$  entre les faces opposées au sommet (pyramide Vickers, voir Figure A.1);
- b) diamant en forme de pyramide à base triangulaire (par exemple pyramide Berkovich, voir Figure A.1);
- c) bille carbure (spécialement pour la détermination du comportement élastique des matériaux);
- d) pénétrateur diamant sphérique.

La présente partie de l'ISO 14577 n'exclut pas l'utilisation d'autres géométries de pénétrateur, toutefois, il convient d'interpréter avec prudence les résultats obtenus à l'aide de tels pénétrateurs. D'autres matériaux tels que le saphir peuvent également être utilisés.

NOTE En raison de la structure cristalline du diamant, les pénétrateurs qui sont supposés être sphériques, sont souvent des polyèdres et ne sont pas de 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, il faut fixer le point zéro pour le mesurage des forces/profondeurs de pénétration individuellement pour chaque essai (voir 7.3).

[ISO 14577-1:2002](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/993e9075-3478-4204-8b1a-529f633bb637/iso-14577-1-2002)

Si des effets dépendant du temps sont mesurés,

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/993e9075-3478-4204-8b1a-529f633bb637/iso-14577-1-2002>

- a) lorsque la méthode à force contrôlée est utilisée, 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);
- b) lorsque la méthode à profondeur de pénétration contrôlée est utilisée, 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).

## 5 Machine d'essai

**5.1** La machine d'essai doit permettre d'appliquer des forces d'essai prédéterminées dans la gamme requise et doit être conforme aux prescriptions de l'ISO 14577-2.

**5.2** La machine d'essai doit permettre le mesurage et l'enregistrement en continu de la force appliquée, de la pénétration et du temps.

**5.3** La machine d'essai doit permettre de compenser la déformation de la machine et d'utiliser la fonction d'aire appropriée du pénétrateur (voir annexe C de la présente partie de l'ISO 14577 ainsi que 4.5 et 4.6 de l'ISO 14577-2:2002).

**5.4** Les pénétrateurs à utiliser avec les machines d'essai peuvent avoir diverses formes, comme spécifiées dans l'ISO 14577-2. (Pour des informations complémentaires sur les pénétrateurs en diamant, voir l'annexe D.)

**5.5** La machine d'essai doit conserver son étalonnage sur la gamme de températures d'utilisation courante de la machine d'essai.

La machine d'essai doit être utilisée à une température comprise dans l'intervalle admissible spécifié en 7.1, et doit conserver son étalonnage dans les limites prescrites en 4.4.3 de l'ISO 14577-2:2002.

## 6 Éprouvette

**6.1** L'essai doit être effectué dans une zone de la surface d'essai qui permette 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 si cela est essentiel pour la réalisation de l'essai. Cela doit être décrit en détail dans le rapport d'essai. Il faut prendre soin de ne pas apporter de matières étrangères (particules de poussières) dans la zone de contact.

Pour une explication concernant l'influence de la rugosité de l'éprouvette sur l'incertitude des résultats, voir l'annexe E.

Les surfaces d'essai doivent être perpendiculaires à la direction de la force d'essai.

Il convient par conséquent d'inclure l'écart dans le calcul d'incertitude. De façon typique, l'écart par rapport à la surface d'essai est inférieur à 1°.

**6.2** La préparation de la surface d'essai doit être effectuée de façon que toute altération de la dureté de la surface, par exemple par échauffement ou par écrouissage, soit minimisée.

Compte tenu des faibles profondeurs de pénétration dans les micro- et nano-plages, il faut prendre des précautions particulières lors de la préparation de l'éprouvette. Un procédé de polissage adapté aux matériaux particuliers doit être utilisé (par exemple un polissage électrolytique).

**6.3** L'épaisseur de l'éprouvette doit être suffisamment grande pour que le résultat d'essai ne soit pas influencé par l'appui de l'éprouvette. Il convient que l'épaisseur de l'éprouvette soit au moins égale à  $10 \times$  la profondeur de pénétration ou à  $3 \times$  le diamètre de l'empreinte (voir 7.7), en retenant la plus élevée des deux valeurs.

Pour les essais sur revêtements, il convient que l'épaisseur de l'éprouvette soit égale à l'épaisseur du revêtement.

**NOTE** Il s'agit de limites établies empiriquement. Les limites précises de l'influence de l'appui sur l'éprouvette dépendront de la géométrie du pénétrateur utilisé et des caractéristiques des matériaux composant l'éprouvette et l'appui.

## 7 Mode opératoire

**7.1** La température de l'essai doit être enregistrée. En général, les essais sont réalisés à température ambiante comprise entre 10 °C et 35 °C.

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 dans les nano- et micro-plages soient réalisés dans des conditions contrôlées dans l'intervalle de  $(23 \pm 5)$  °C et à une humidité relative qui soit inférieure à 50 %.

Toutefois, l'essai individuel doit être réalisé dans des conditions de température stables en raison de la prescription 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 de fonctionnement),
- les autres influences extérieures éventuelles provoquant des changements de température pendant l'essai individuel ont été contrôlées.

Pour réduire au minimum la dérive du déplacement induite thermiquement, la température de la machine d'essai doit être adéquatement maintenue pendant la durée du cycle d'essais, ou une correction de la dérive du déplacement doit être mesurée et appliquée (voir 7.5 de la présente partie de l'ISO 14577 et 4.4.3 de l'ISO 14557-2:2002). L'incertitude sur la dérive et la correction de la dérive doivent être indiquées dans le rapport d'essai.

**7.2** L'éprouvette doit être supportée de façon qu'il n'y ait pas d'augmentation de la complaisance de la machine d'essai. L'éprouvette doit être placée sur un appui rigide dans la direction de la pénétration ou 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 complaisance (réduire la rigidité) de l'appui de l'éprouvette.

**7.3** Le point zéro pour la mesure de la courbe force/profondeur de pénétration doit être fixé individuellement pour chaque ensemble de données d'essai. Il représente le premier contact du pénétrateur avec la surface de l'éprouvette. L'incertitude sur le point zéro doit être indiquée dans le rapport d'essai. L'incertitude concernant le point zéro fixé ne doit pas dépasser 1 % du déplacement maximal de pénétration pour les macro- et micro-plages. L'incertitude sur le point zéro pour la nano-plage peut dépasser 1 %; dans ce cas, la valeur doit être estimée et enregistrée dans le rapport d'essai.

Il convient d'enregistrer un nombre de points expérimentaux suffisant pendant l'approche ainsi pour que les 10 premiers pour-cent de la courbe force croissante/profondeur de pénétration, de façon que le point zéro puisse être fixé avec l'incertitude permise. Une des deux méthodes types suivantes est recommandée:

a) Méthode 1: Le point zéro est calculé par extrapolation d'une fonction lissée (par exemple une fonction polynôme du second degré). Le lissage doit être appliqué aux valeurs dans l'intervalle zéro à pas plus de 10 % de la profondeur de pénétration maximale. L'incertitude du point zéro calculée résulte des paramètres du lissage, de la fonction de lissage et de la longueur de l'extrapolation.

La première partie de la courbe de pénétration (par exemple jusqu'à 5 %) peut être affectée par les vibrations ou d'autres bruits. Il convient que la limite supérieure de l'intervalle de lissage soit en deça de la profondeur à laquelle la réponse du contact change, par exemple en raison d'une fissuration ou des fluctuations lors de l'écoulement plastique.

b) Méthode 2: Le point zéro est le point de contact déterminé pendant le premier accroissement soit de la force d'essai, soit 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 Des valeurs typiques du petit incrément de force sont de  $10^{-4}F_{\max}$  pour la macro-plage, et sont inférieures à 5  $\mu\text{N}$  pour les micro- et macro-plages.

**7.4** Le cycle d'essai doit 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:

- a) 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);
- b) la force maximale (ou le déplacement maximal);
- c) la vitesse d'application de la force (du déplacement);
- d) la longueur et la position de chaque période de maintien;
- e) la fréquence d'acquisition des données (ou le nombre de points expérimentaux).

NOTE Des valeurs typiques sont, par exemple: temps d'application et de suppression de la force 30 s; temps de maintien à la force maximale 30 s; temps de maintien pour mesurer la dérive thermique 60 s au contact ou après suppression de 90 % de la force maximale.

De façon à obtenir des résultats d'essai comparables, il convient de tenir compte du temps utilisé pour l'essai.