

---

---

**Corrosion des métaux et alliages —  
Lignes directrices pour l'évaluation de  
la corrosion par piqûres**

*Corrosion of metals and alloys — Guidelines for the evaluation of  
pitting corrosion*

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

[ISO 11463:2020](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/80d0301c-70a2-4853-a432-f77ebdd32aac/iso-11463-2020)

[https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/80d0301c-70a2-4853-a432-  
f77ebdd32aac/iso-11463-2020](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/80d0301c-70a2-4853-a432-f77ebdd32aac/iso-11463-2020)



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

ISO 11463:2020

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/80d0301c-70a2-4853-a432-f77ebdd32aac/iso-11463-2020>



### DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2020

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](mailto:copyright@iso.org)

Web: [www.iso.org](http://www.iso.org)

Publié en Suisse

## Sommaire

Page

<b>Avant-propos</b> .....	<b>iv</b>
<b>Introduction</b> .....	<b>v</b>
<b>1 Domaine d'application</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Références normatives</b> .....	<b>1</b>
<b>3 Termes et définitions</b> .....	<b>1</b>
<b>4 Identification et examen des piqûres</b> .....	<b>1</b>
4.1 Contrôle visuel préliminaire avec faible grossissement.....	1
4.2 Examen de la taille et de la forme des piqûres par microscopie optique.....	1
4.3 Contrôle non destructif in situ.....	3
4.3.1 Généralités.....	3
4.3.2 Contrôle radiographique.....	3
4.3.3 Contrôle électromagnétique.....	3
4.3.4 Contrôle par ultrasons.....	3
4.3.5 Contrôle par ressuage.....	4
4.3.6 Contrôle par réplique.....	4
4.4 Techniques d'examen ex situ.....	4
4.4.1 Généralités.....	4
4.4.2 Microscopie électronique à balayage.....	4
4.4.3 Tomodensitométrie (TDM).....	4
4.4.4 Analyse d'images.....	4
4.4.5 Profilométrie.....	5
<b>5 Étendue des piqûres</b> .....	<b>5</b>
5.1 Perte de masse.....	5
5.2 Mesurage de la profondeur de piqûre.....	5
5.2.1 Métallographie.....	5
5.2.2 Usinage.....	5
5.2.3 Micromètre ou jauge de profondeur.....	6
5.2.4 Microscopie.....	6
<b>6 Évaluation des piqûres</b> .....	<b>7</b>
6.1 Généralités.....	7
6.2 Clichés-étalons.....	7
6.3 Pénétration du métal.....	8
6.4 Statistiques.....	9
<b>7 Rapport d'essai</b> .....	<b>10</b>
<b>8 Informations complémentaires</b> .....	<b>11</b>
<b>Bibliographie</b> .....	<b>12</b>

## 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](http://www.iso.org/directives)).

L'attention est attirée 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](http://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 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](http://www.iso.org/avant-propos).

Le présent document a été élaboré par le comité technique ISO/TC 156, *Corrosion des métaux et alliages*, en collaboration avec le comité technique CEN/TC 262, *Revêtements métalliques et inorganiques, incluant ceux pour la protection contre la corrosion et les essais de corrosion des métaux et alliages*, du Comité européen de normalisation (CEN) conformément à l'Accord de coopération technique entre l'ISO et le CEN (Accord de Vienne).

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition (ISO 11463:1995), qui a fait l'objet d'une révision technique. Les principales modifications par rapport à l'édition précédente sont les suivantes:

- intégration de techniques modernes d'analyse et de caractérisation des surfaces pour l'examen ex situ.

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](http://www.iso.org/fr/members.html).

## Introduction

Il importe d'être en mesure de déterminer l'étendue et les caractéristiques des piqûres, que ce soit dans une application en service, où il est nécessaire d'évaluer la durée de vie restante d'une structure métallique, ou au cours de programmes d'essais en laboratoire visant à sélectionner des matériaux résistants aux piqûres pour une exploitation particulière. Les piqûres de corrosion peuvent également agir comme précurseur à d'autres types de dommages, tels que la corrosion sous contrainte ou la fatigue corrosion.

L'application des matériaux à soumettre à essai déterminera la taille minimale de piqûre à évaluer et le paramètre le plus important à mesurer, à savoir l'aire totale couverte, les profondeurs de piqûre moyenne et maximale, ou tout autre critère.

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

[ISO 11463:2020](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/80d0301c-70a2-4853-a432-f77ebdd32aac/iso-11463-2020)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/80d0301c-70a2-4853-a432-f77ebdd32aac/iso-11463-2020>

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

ISO 11463:2020

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/80d0301c-70a2-4853-a432-f77ebdd32aac/iso-11463-2020>

# Corrosion des métaux et alliages — Lignes directrices pour l'évaluation de la corrosion par piqûres

## 1 Domaine d'application

Le présent document fournit des lignes directrices concernant la sélection de modes opératoires pouvant être utilisés dans l'identification et l'examen de piqûres de corrosion ainsi que dans l'évaluation de la corrosion par piqûres et de la vitesse de propagation de piqûre.

## 2 Références normatives

Le présent document ne contient aucune référence normative.

## 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 <http://www.electropedia.org/>

## 4 Identification et examen des piqûres

### 4.1 Contrôle visuel préliminaire avec faible grossissement

**4.1.1** Afin de déterminer l'étendue de la corrosion et l'emplacement visible des piqûres, il est admis de procéder à un examen visuel de la surface de métal corrodée en utilisant ou non une loupe à faible pouvoir grossissant. Il est généralement recommandé de photographier la surface corrodée afin de pouvoir la comparer avec la surface propre, après élimination des produits de corrosion, ou avec une pièce de matériau neuve.

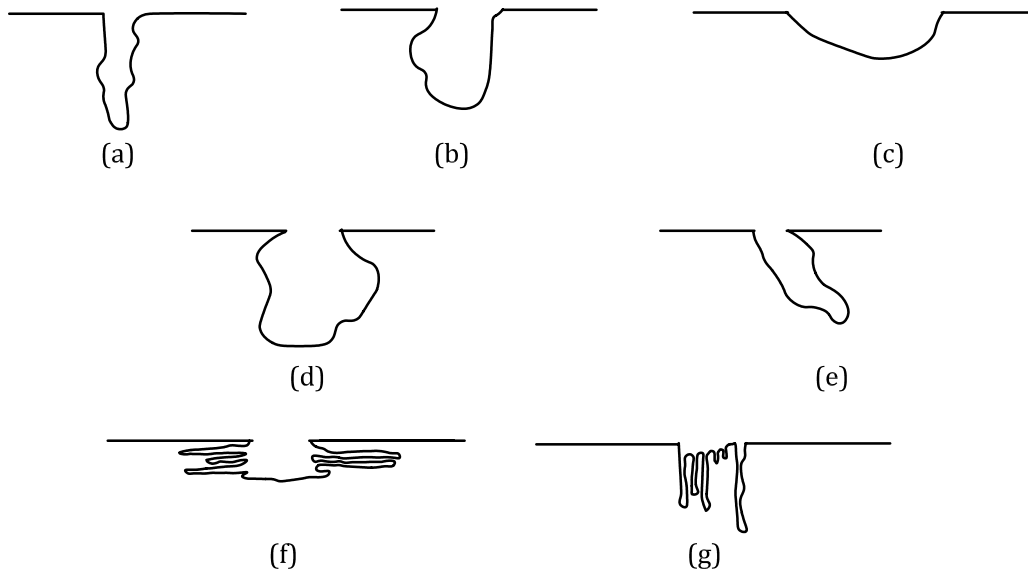
**4.1.2** Si l'éprouvette de métal a été exposée à un environnement inconnu, la composition des produits de corrosion peut être utile pour déterminer la cause de la corrosion. Il convient de suivre les modes opératoires recommandés pour l'élimination des produits de corrosion particuliers et il convient de conserver les matériaux éliminés pour de futures identifications.

**4.1.3** Afin d'exposer totalement les piqûres, il convient d'appliquer des modes opératoires de nettoyage pour éliminer les produits de corrosion. Un rinçage à l'eau suivi d'un léger nettoyage mécanique peut se révéler suffisant pour les produits de corrosion à faible adhérence, mais un nettoyage chimique est nécessaire pour les produits à plus forte adhérence. L'ISO 8407<sup>[1]</sup> décrit plusieurs méthodes de nettoyage chimique, mais il convient de procéder à des essais préliminaires afin de s'assurer d'éviter l'attaque du métal de base.

### 4.2 Examen de la taille et de la forme des piqûres par microscopie optique

**4.2.1** Examiner la surface du métal nettoyée pour déterminer la taille et la répartition approximatives des piqûres. Procéder ensuite à un examen plus détaillé au microscope, en utilisant un faible grossissement

(environ  $\times 20$ ). Les piqûres peuvent être de tailles et de formes variées. Un examen visuel de la surface du métal peut montrer une ouverture ronde, oblongue ou irrégulière, mais il ne fournira que rarement une indication exacte de l'étendue de la corrosion sous la surface. Il est donc souvent nécessaire de faire une coupe transversale de la piqûre pour déterminer sa forme réelle. La [Figure 1](#) présente plusieurs variantes communes de la forme des piqûres en coupe transversale.



**Légende**

- (a) étroite, profonde
- (b) elliptique
- (c) large, superficielle
- (d) cachée
- (e) sous-jacente
- (f) orientation de la microstructure (horizontale)
- (g) orientation de la microstructure (verticale)

iTeh STANDARD PREVIEW  
 (standards.iteh.ai)  
 ISO 11463:2020  
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/80d0301c-70a2-4853-a432-f77ebdd32aac/iso-11463-2020>

**Figure 1 — Variantes de la forme des piqûres en coupe transversale**

**4.2.2** Il est difficile de déterminer la densité des piqûres en les comptant par l'oculaire d'un microscope, mais la tâche peut être facilitée en utilisant une grille en plastique. Placer la grille, formée de carrés de 3 mm à 6 mm, sur la surface métallique. Compter et consigner le nombre de piqûres par carré, et déplacer la grille de manière systématique jusqu'à ce que toute la surface ait été couverte. Cette approche réduit la fatigue visuelle, car les yeux peuvent quitter le champ optique sans craindre de perdre la zone étudiée. Des agrandissements photographiques de cette zone peuvent également être utilisés pour diminuer la fatigue visuelle. Une autre approche consiste à monter l'échantillon sur une platine XY et à mesurer à la fois le nombre et la répartition spatiale des piqûres. Lorsqu'elle est couplée à un mesurage optique de la profondeur, si cela est possible, alors le nombre, la profondeur et la répartition spatiale des piqûres peuvent être déterminés.

**4.2.3** Des techniques avancées de microscopie optique, telles que la microscopie à foyer à l'infini et la microscopie confocale à balayage laser, peuvent être utilisées pour obtenir des images tridimensionnelles de la surface de la piqûre, en tenant compte des contraintes inhérentes aux observations optiques (plus appropriées aux variantes a) à c) de la [Figure 1](#), mais non-pertinentes pour les piqûres sous-jacentes). De tels mesurages peuvent être utilisés pour visualiser les caractéristiques de surface et quantifier la rugosité de surface, la profondeur de piqûre, le profil de surface, etc.

**4.2.4** Pour réaliser un examen métallographique, choisir et découper une partie représentative de la surface métallique contenant les piqûres et préparer une éprouvette métallographique. Si les produits de corrosion sont à examiner sur une coupe transversale, il peut s'avérer nécessaire de fixer la surface sur un support composite avant de faire la coupe. L'examiner au microscope afin de déterminer s'il existe une relation entre les piqûres et les inclusions ou la microstructure, ou si les cavités sont de véritables



piqûres ou pourraient être le résultat d'une perte de métal due à une corrosion intergranulaire, à une corrosion sélective, etc.

### 4.3 Contrôle non destructif in situ

#### 4.3.1 Généralités

Diverses techniques ont été élaborées pour aider à détecter les fissures ou cavités dans une surface métallique sans détruire le matériau (voir la Référence [2]). Pour localiser les piqûres et définir leur forme, ces méthodes sont moins efficaces que certaines décrites ci-avant, mais elles méritent d'être prises en considération car elles sont souvent utilisées in situ et conviennent donc mieux à des applications sur le terrain.

#### 4.3.2 Contrôle radiographique

On fait passer un rayonnement, par exemple des rayons X, au travers de l'objet. L'intensité des rayons émergents diminue à mesure que l'épaisseur du matériau augmente. Les imperfections peuvent être détectées si elles provoquent une modification de l'absorption des rayons X. Des détecteurs ou des films sont utilisés pour fournir une image des imperfections internes. L'épaisseur de métal susceptible d'être contrôlée dépend du rendement énergétique disponible. Pour être détectées, les piqûres doivent avoir une taille équivalente à au moins 0,5 % de l'épaisseur du métal, et il convient de s'assurer que des pores préexistants ne soient pas pris pour des piqûres.

#### 4.3.3 Contrôle électromagnétique

**4.3.3.1** Des courants de Foucault peuvent être utilisés pour détecter les défauts ou les irrégularités dans la structure de matériaux conducteurs. Lorsqu'une éprouvette est exposée à un champ magnétique variable, créé en branchant une bobine en courant alternatif, des courants de Foucault sont induits dans l'éprouvette et produisent à leur tour leur propre champ magnétique. Des matériaux présentant des défauts produiront un champ magnétique différent de celui d'un matériau de référence exempt de défauts; un instrument de détection approprié est nécessaire pour déterminer ces différences.

**4.3.3.2** Une autre approche utilisée est l'induction d'un champ magnétique dans des matériaux ferromagnétiques. Les discontinuités perpendiculaires au sens du champ magnétique provoquent la formation d'un champ de dispersion au-dessus de la surface de la pièce. Des particules ferromagnétiques sont placées à la surface pour détecter le champ de dispersion et esquisser la taille et la forme des discontinuités. Cette méthode permet de détecter d'assez petites imperfections. Toutefois, cette méthode est limitée par la nécessaire directionnalité des défauts par rapport au champ magnétique, par la nécessité éventuelle de démagnétiser le matériau et par les formes limitées des pièces qui peuvent être examinées.

#### 4.3.4 Contrôle par ultrasons

Avec la méthode par ultrasons, des vibrations acoustiques sont transmises par un milieu de couplage, tel que l'huile ou l'eau, à la surface du métal où des ondes sont produites. Les échos réfléchis sont convertis en signaux électriques qui peuvent être interprétés pour montrer l'emplacement des défauts ou des piqûres. Les méthodes par contact et par immersion sont utilisées, et diverses techniques peuvent être adoptées. Il convient que l'essai soit effectué sur la surface non piquée. L'essai est influencé par la morphologie des piqûres, par la technique ultrasonique adoptée et par les performances de la sonde et du détecteur de défauts. Des informations relatives à la taille et à l'emplacement des défauts peuvent être obtenues. Toutefois, il convient d'évaluer l'adéquation de la technique par rapport au type de piqûre attendu et de produire des étalons de référence aux fins de comparaison. Il convient que les opérateurs soient formés à l'application de la technique et à l'interprétation des résultats.

#### 4.3.5 Contrôle par ressuage

Les défauts apparaissant à la surface peuvent être détectés en appliquant un liquide pénétrant qui exsude de la surface une fois que l'excès de liquide a été éliminé. Les défauts sont localisés en pulvérisant sur la surface un révélateur qui réagit à un colorant du liquide pénétrant, ou ce dernier peut contenir une matière fluorescente qui se détecte aux ultraviolets. La taille du défaut est traduite par l'intensité de la couleur et par la vitesse de ressuage. Cette technique ne donne qu'une idée approximative de la profondeur et de la taille des piqûres.

#### 4.3.6 Contrôle par réplique

Des images de surface piquée peuvent être créées en appliquant à la surface un matériau qui épouse la forme des piqûres et peut être retiré sans endommager sa forme. Toutefois, cette méthode ne fonctionne pas dans le cas de piqûres cachées ou sous-jacentes. Le matériau retiré comporte une réplique de la surface originale qui, dans certains cas, est plus facile à analyser que l'original. Le contrôle par réplique est particulièrement utile pour l'analyse de très petites piqûres.

### 4.4 Techniques d'examen ex situ

#### 4.4.1 Généralités

Il existe plusieurs techniques ex situ sophistiquées pour analyser la taille, la forme et la répartition des piqûres dans des échantillons métalliques. Leur mise en application nécessite le transport des éprouvettes vers un laboratoire ou un centre d'analyse spécialisé. Quelques-unes de ces techniques sont décrites aux [4.4.2](#) à [4.4.5](#).

#### 4.4.2 Microscopie électronique à balayage

La microscopie électronique à balayage (MEB) peut être utilisée pour obtenir des images contenant des informations topographiques et de contraste de phase. Il s'agit d'une technique très utile pour obtenir des images de piqûres en surface et elle peut être utilisée pour déterminer les dimensions de la piqûre ainsi que les relations éventuelles avec différentes phases dans la microstructure du métal. En la combinant avec la spectroscopie de rayons X à dispersion d'énergie (EDS) ou la spectroscopie de rayons X à dispersion de longueur d'onde (WDS), il est possible de déterminer la composition élémentaire et la répartition des éventuels produits de corrosion dans les piqûres. Cependant, dans le cas de piqûres plus profondes et lorsqu'une piqûre sous-jacente cachée s'est formée sous l'ouverture, cela obstrue l'émission d'électrons pour le détecteur, et l'efficacité de la technique pour représenter la morphologie de la piqûre peut s'en trouver diminuée.

#### 4.4.3 Tomodensitométrie (TDM)

La tomodensitométrie (TDM) est une technique non destructive qui, associée à un logiciel de reconstitution, permet d'obtenir une imagerie 3D des piqûres. Les images sont construites à partir de « tranches » de l'échantillon obtenues à l'aide de sources de rayons X à haute intensité, qui peuvent être des tubes à rayons X dans des laboratoires classiques ou être dérivées de sources de rayons X synchrotron. L'épaisseur de l'éprouvette peut être restreinte en raison de l'atténuation des rayons X; une coupe parallèle à la surface peut s'avérer nécessaire pour réduire l'épaisseur. Néanmoins, cette technique est un outil performant pour l'imagerie 3D de piqûres de forme complexe.

#### 4.4.4 Analyse d'images

L'analyse d'images est une technique qui consiste à post-traiter les images obtenues au moyen d'une technique de mesure telle que la microscopie optique ou la tomodensitométrie pour en extraire des données quantitatives. Cette technique peut être utilisée en vue d'automatiser l'analyse ou le post-traitement des images afin d'en réduire le temps et les coûts. Elle permet également l'analyse d'un plus grand nombre d'images, améliorant ainsi la fiabilité statistique des mesures. L'analyse d'images permet un traitement rapide des micrographies et peut produire des données plus exactes et statistiquement plus fiables que les méthodes manuelles.

#### 4.4.5 Profilométrie

La profilométrie consiste à mesurer la géométrie ou la topographie de la surface physique d'un échantillon. Elle peut être à contact ou sans contact. La profilométrie à contact implique qu'un stylet, dont les dimensions de la pointe sont connues, soit mis en contact avec la surface de l'échantillon, puis la « balaye ». Le déplacement de la pointe du stylet, lorsque celle-ci entre en contact avec des éléments saillants et creux à la surface, est observé et enregistré en fonction de sa position. À partir de ces données, les caractéristiques physiques de la surface, telles que la rugosité, peuvent être mesurées, et toutes les caractéristiques pertinentes, telles que les piqûres, peuvent être identifiées et quantifiées.

Les méthodes sans contact enregistrent le même type d'information, bien qu'elles recourent généralement à des méthodes optiques au laser, telles que la microscopie à foyer à l'infini, et elles ne nécessitent pas de contact physique direct avec la surface de l'échantillon. Ces techniques génèrent un profil de surface en 3D grâce à l'accumulation d'images dans différents plans focaux optiques et à l'interférométrie en lumière blanche, où la différence de phase entre la lumière réfléchiée par la surface de l'échantillon et celle d'un miroir de référence est comparée, et les variations dans la distance du trajet dues à la morphologie de surface peuvent être enregistrées. Des microscopes confocaux à balayage laser peuvent donner des informations similaires.

L'inconvénient de ces techniques est qu'elles ne caractérisent que ce qu'elles peuvent détecter optiquement, ce qui les rend applicables principalement aux types de piqûres a) à c) de la [Figure 1](#) (voir également [4.2.3](#)).

## 5 Étendue des piqûres

ITeH STANDARD PREVIEW  
(standards.iteh.ai)

### 5.1 Perte de masse

La perte de masse de métal n'est d'ordinaire pas recommandée pour mesurer l'étendue des piqûres, à moins que la corrosion générale ne soit légère et les piqûres assez sévères. Si la corrosion uniforme est importante, la contribution des piqûres à la perte totale de métal est faible et les dommages dus aux piqûres ne peuvent être déterminés avec exactitude à partir de la perte de masse. En tout état de cause, la perte de masse ne peut renseigner que sur la perte totale de métal liée aux piqûres, mais aucunement sur la densité des piqûres et la profondeur de pénétration. Il convient toutefois de ne pas systématiquement négliger la perte de masse, car cette information peut se révéler utile; par exemple, la perte de masse assortie d'une comparaison visuelle des surfaces piquées peut permettre d'évaluer la résistance aux piqûres des alliages dans des essais de laboratoire. La perte de masse peut également être utile pour détecter la perte de métal par piqûres cachées.

### 5.2 Mesurage de la profondeur de piqûre

#### 5.2.1 Métallographie

La profondeur de piqûre peut être déterminée en sectionnant verticalement une piqûre présélectionnée, en procédant à un montage métallographique de la piqûre en coupe et en polissant la surface. Une autre/meilleure façon de procéder consiste à sectionner en s'éloignant quelque peu de la piqûre et à meuler doucement jusqu'à ce que celle-ci apparaisse en coupe. La section d'une piqûre peut s'avérer difficile et il est possible de manquer la partie la plus profonde. La profondeur de piqûre est mesurée sur la surface polie plane au moyen d'un microscope à oculaire étalonné. Cette méthode présente une grande exactitude, mais exige une bonne habileté de la part de l'opérateur, un bon jugement pour la sélection de la piqûre et une bonne technique pour réaliser la coupe. Ses limites sont les suivantes: elle prend du temps, la piqûre la plus profonde peut ne pas avoir été sélectionnée et la section peut ne pas avoir été effectuée au point de pénétration le plus profond. Cette technique conduit nécessairement à la destruction de l'éprouvette.

#### 5.2.2 Usinage

NOTE Voir les Références [3] et [4].