

NORME  
INTERNATIONALE

**ISO**  
**11463**

Première édition  
1995-12-15

---

---

**Corrosion des métaux et alliages —  
Évaluation de la corrosion par piqûres**

**iTeh STANDARD PREVIEW**  
*Corrosion of metals and alloys — Evaluation of pitting corrosion*  
**(standards.iteh.ai)**

[ISO 11463:1995](#)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/f989057b-ea01-4dcf-9b73-3d1e2f79479d/iso-11463-1995>



Numéro de référence  
ISO 11463:1995(F)

## 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 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.

La Norme internationale ISO 11463 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 156, *Corrosion des métaux et alliages*.

Les annexes A et B de la présente Norme internationale sont données uniquement à titre d'information.

ITeH STANDARD PREVIEW  
(standards.iteh.ai)  
ISO 11463:1995  
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/f989057b-ca01-4dcf-9b73-3d1e2f79479d/iso-11463-1995>

© ISO 1995

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'éditeur.

Organisation internationale de normalisation  
Case postale 56 • CH-1211 Genève 20 • Suisse

Imprimé en Suisse

## Introduction

Il importe d'être en mesure de déterminer l'étendue des piqûres, soit dans une application en service, où il est nécessaire d'évaluer la durée restante de vie d'une structure métallique, soit au cours de programmes d'essais en laboratoire utilisés afin de sélectionner les matériaux les plus résistants aux piqûres pour une exploitation particulière (voir référence bibliographique [1] citée dans l'annexe B).

L'emploi des matériaux à essayer déterminera la taille minimale de piqûre à évaluer et ce qui est le plus important à mesurer, à savoir la surface totale couverte, les profondeurs moyenne et maximale des piqûres, ou tout autre critère.

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

[ISO 11463:1995](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/f989057b-ca01-4dcf-9b73-3d1e2f79479d/iso-11463-1995)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/f989057b-ca01-4dcf-9b73-3d1e2f79479d/iso-11463-1995>

Page blanche

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

ISO 11463:1995

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/f989057b-ca01-4dcf-9b73-3d1e2f79479d/iso-11463-1995>

# Corrosion des métaux et alliages — Évaluation de la corrosion par piqûres

## 1 Domaine d'application

La présente Norme internationale constitue un guide destiné à aider à choisir des méthodes pouvant être utilisées dans l'identification et l'examen des piqûres et dans l'évaluation de la corrosion par piqûres.

## 2 Référence normative

La norme suivante contient des dispositions qui, par suite de la référence qui en est faite, constituent des dispositions valables pour la présente Norme internationale. Au moment de la publication, l'édition indiquée était en vigueur. Toute norme est sujette à révision et les parties prenantes des accords fondés sur la présente Norme internationale sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer l'édition la plus récente de la norme indiquée ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur à un moment donné.

ISO 8407:1991, *Métaux et alliages - Élimination des produits de corrosion sur les éprouvettes d'essai de corrosion*.

## 3 Identification et examen des piqûres

### 3.1 Contrôle visuel

Afin de déterminer l'étendue de la corrosion et l'emplacement visible des piqûres, il convient de procéder à un examen visuel de la surface de métal corrodée en utilisant ou non une loupe à faible pouvoir grossissant. Il est souvent conseillé de photographier la surface corrodée afin de pouvoir la comparer avec la surface nette après élimination des produits de corrosion.

**3.1.1** 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 méthodes recommandées dans l'élimination des produits de corrosion particulières et les retenir pour une future identification.

**3.1.2** Afin d'exposer totalement les piqûres, il est recommandé d'utiliser des méthodes de nettoyage (voir ISO 8407) pour éliminer les produits de corrosion et éviter des solutions attaquant trop le métal de base. Il peut être opportun, au cours du nettoyage, de sonder les piqûres à l'aide d'un outil pointu afin de déterminer l'étendue de la corrosion sous-jacente ou cachée (voir figure 1). Toutefois, racler avec une brosse en crin dur élargira souvent suffisamment les ouvertures des piqûres en éliminant les produits de la corrosion ou creusera le métal, facilitant l'évaluation des piqûres.

**3.1.3** 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  $\times 20$ ).

**3.1.4** Déterminer la taille, la forme et la densité des piqûres.

**3.1.4.1** 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 précise de la corrosion sous la surface. Il est donc souvent nécessaire de faire une coupe transversale de la piqûre pour voir sa forme réelle et déterminer sa véritable profondeur. La figure 1 représente plusieurs variantes de la forme en coupe des piqûres.

**3.1.4.2** 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 noter le nombre de piqûres par carré et déplacer la grille de manière systématique jusqu'à ce que toute la

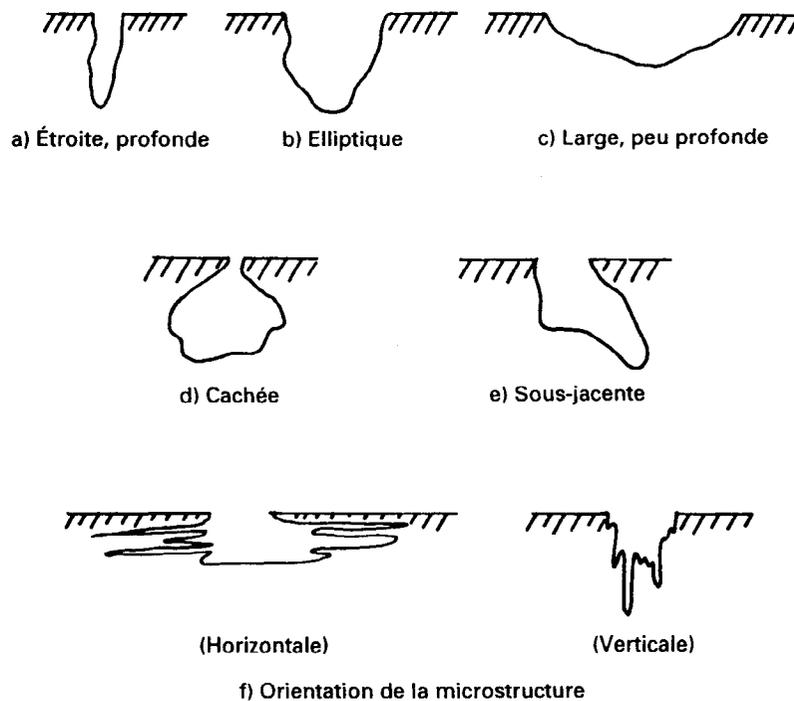


Figure 1 — Variation de la forme des piqûres en coupe transversale

surface ait été couverte. Cette approche réduit la fatigue des yeux qui peuvent quitter le champ optique sans craindre de perdre la zone d'intérêt. Des agrandissements photographiques de cette zone peuvent également être utilisés pour diminuer cette fatigue.

**3.1.5** Pour un examen métallographique, choisir et découper une partie représentative de la surface métallique contenant les piqûres et préparer une éprouvette métallographique conforme aux méthodes recommandées. S'il est nécessaire d'examiner les produits de corrosion sur une surface découpée, il faut fixer la surface avant de faire une 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 vraies piqûres ou pourraient être le résultat d'une perte de métal due à une corrosion intergranulaire, à une fragilisation de l'alliage, etc.

## 3.2 Contrôle non destructif

Un certain nombre de techniques ont été développées pour aider à détecter les fissures ou cavités dans une surface métallique sans détruire le matériau (voir référence bibliographique [1] citée dans l'annexe B). Pour localiser et définir la forme des piqûres, ces méthodes sont moins efficaces que certaines de celles préalablement décrites, mais elles méritent d'être prises en considération car elles sont souvent utilisées sur place et conviennent donc mieux à des applications sur le terrain.

### 3.2.1 Contrôle radiographique

On fait passer un rayonnement, par exemple des rayons X, au travers de l'objet. L'intensité des rayons

émergents varie avec l'épaisseur du matériau. Les défauts peuvent être détectés s'ils provoquent un changement dans l'absorption des rayons X. On utilise des détecteurs ou des films pour fournir une image des imperfections internes. L'épaisseur de métal susceptible d'être contrôlée dépend du rendement énergétique disponible. Les pores ou piqûres doivent faire 0,5 % de l'épaisseur de métal à vérifier. Cette technique ne s'applique que peu à la détection des piqûres, mais elle pourrait être un moyen utile de comparer les éprouvettes avant et après corrosion pour déterminer s'il y a eu corrosion et si elle est liée à une porosité antérieure. Elle peut également servir à déterminer l'étendue des piqûres cachées et sous-jacentes (voir figure 1).

### 3.2.2 Contrôle électromagnétique

**3.2.2.1** On peut utiliser des courants de Foucault pour détecter les défauts ou les petites anomalies dans la structure de matériaux conducteurs. Lorsqu'une éprouvette est exposée à un champ magnétique variable, produit en reliant un courant alternatif à une bobine, 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 sans défaut, et un instrument de détection approprié est nécessaire pour déterminer ces différences.

**3.2.2.2** L'induction d'un champ magnétique dans des matériaux ferromagnétiques est une autre approche à laquelle il est fait appel. Les discontinuités perpendiculaires au sens du champ magnétique provoquent la formation d'un champ de fuite au-dessus de la surface de la pièce. Des particules ferromagnétiques sont pla-

cées à la surface pour détecter le champ de fuite et esquisser la taille et la forme des discontinuités. Cette méthode permet de détecter d'assez petites imperfections. Toutefois, la méthode est limitée par la nécessaire orientation des défauts par rapport au champ magnétique, par la nécessité éventuelle de démagnétiser le matériau et par la forme limitée des pièces qui peuvent être examinées.

### 3.2.3 Contrôle acoustique

Dans l'emploi des ultrasons, les 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 microtapures ou des piqûres. On utilise les méthodes par contact et par immersion. Tous les essais doivent être effectués sur une surface non piquée. L'essai, qui a une bonne sensibilité, indique instantanément la taille et l'emplacement des microtapures, mais il est peu probable de détecter des piqûres ayant un diamètre inférieur ou égal à 1 mm sur une surface non piquée. Toutefois, il faut des étalons de référence pour faire la comparaison et une formation est nécessaire afin d'interpréter correctement les résultats.

### 3.2.4 Contrôle par ressuage

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

### 3.2.5 Contrôle par réplique

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

## 4 Étendue des piqûres

### 4.1 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 précision à partir de la perte de masse. En tout état de cause, la perte de masse ne peut donner d'information que sur la perte totale de métal par piqûres mais rien sur la densité des piqûres et la profondeur de pénétration. Il convient toutefois de ne pas systématiquement négliger la perte de masse car elle peut être 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 les essais de laboratoire. La perte de masse peut également être utile pour détecter la perte de métal par piqûres cachées.

## 4.2 Mesurage de la profondeur de piqûre

### 4.2.1 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. La profondeur de piqûre est mesurée sur la surface polie plane à l'aide d'un microscope à oculaire étalonné. La méthode est très précise, mais elle exige une bonne habileté de la part de l'opérateur, un bon jugement pour sélectionner la piqûre et une bonne technique pour la couper. Ses limites sont les suivantes: elle prend du temps, la piqûre la plus profonde peut ne pas avoir été sélectionnée et le sectionnement peut ne pas avoir été effectué au point le plus profond de pénétration. Cette méthode est toutefois la seule qui convienne pour évaluer la forme de la piqûre, comme à la figure 1.

### 4.2.2 Usinage

Voir références bibliographiques [2] et [3] citées dans l'annexe B.

**4.2.2.1** Cette méthode nécessite un échantillon dont la forme soit assez régulière et elle implique généralement la destruction de l'éprouvette. Mesurer l'épaisseur de l'éprouvette entre les deux zones qui n'ont pas été affectées par une corrosion générale. Choisir une portion de surface d'un côté de l'éprouvette relativement peu touché; usiner ensuite la surface opposée où se trouvent les piqûres, sur un tour, une rectifieuse ou une fraiseuse de précision jusqu'à ce que tout signe de corrosion ait disparu. Les écorchures et salissures peuvent poser quelque problème avec les métaux doux et les piqûres peuvent être obstruées, les inclusions empêchant l'examen pouvant être éliminées. Mesurer l'épaisseur de l'éprouvette entre la surface inaltérée et la soustraire de l'épaisseur initiale pour donner la profondeur maximale de piqûre. Répéter cette opération sur la surface non usinée, à moins que l'épaisseur n'ait été réduite de 50 % ou plus au cours de l'usinage du premier côté.

**4.2.2.2** Cette méthode convient également pour déterminer le nombre de piqûres ayant des profondeurs spécifiques. Compter les piqûres visibles, puis éliminer par usinage la surface du métal à des niveaux mesurés et compter le nombre de piqûres visibles restant à chaque niveau. Soustraire le nombre de piqûres à chaque niveau du compte au niveau précédent afin d'obtenir le nombre de piqûres à chaque profondeur de coupe. Compter au niveau précédent pour obtenir le nombre de piqûres à chaque profondeur de coupe.

### 4.2.3 Micromètre ou jauge de profondeur

**4.2.3.1** Cette méthode repose sur l'utilisation d'une aiguille pointue, fixée à un micromètre ou à une jauge de profondeur étalonnée, afin de pénétrer la cavité de la piqûre. Éliminer efficacement les produits de corrosion, puis mettre l'instrument à zéro sur une surface inaltérée au bord de la piqûre. Insérer l'aiguille dans la piqûre jusqu'à ce qu'elle atteigne la base. La distance parcourue par l'aiguille est la profondeur de la piqûre. Il vaut mieux utiliser des instruments à tension constante afin de réduire au minimum la pénétration du métal à la base de la piqûre. En liaison avec cette technique, il peut être intéressant d'employer un stéréomicroscope afin que la piqûre puisse être grossie pour garantir que la pointe de l'aiguille est au fond de la piqûre. La méthode est limitée aux piqûres dont l'ouverture est suffisamment grande pour recevoir l'aiguille sans obstruction, ce qui élimine les piqûres sous-jacentes ou à orientation déterminée.

**4.2.3.2** Dans une variante de cette méthode, fixer la sonde à un sphéromètre et les relier à l'éprouvette (voir références bibliographiques [3] et [4] citées dans l'annexe B) par un microampèremètre et une pile. Lorsque la sonde touche le fond de la piqûre, elle établit le circuit électrique et le déplacement de la sonde est un mesurage de la profondeur de la piqûre. Cette méthode est limitée à des piqûres de forme très régulière car le contact avec le côté de la piqûre donnerait un mauvais relevé.

### 4.2.4 Microscopie

Cette méthode est particulièrement valable lorsque les piqûres sont trop étroites ou trop difficiles à pénétrer avec un instrument de type sonde. La méthode est utilisable tant que la lumière peut être focalisée à la base de la piqûre, ce qui ne serait pas possible dans le cas de l'exemple e), à la figure 1.

**4.2.4.1** Utiliser un microscope métallurgique ayant une plage de grossissement de  $\times 50$  à  $\times 500$  et muni d'un bouton de mise au point précise (par exemple 1 division  $\hat{=}$  0,001 mm). Si ce dernier n'est pas prévu, un micromètre à cadran peut être fixé au microscope de façon à montrer le mouvement du porte-objet par rapport au corps du microscope.

**4.2.4.2** Localiser une seule piqûre à la surface du métal et la centrer sous la lentille de l'objectif du microscope, à faible grossissement (par exemple  $\times 50$ ).

Augmenter le grossissement de la lentille jusqu'à ce que la zone de piqûre couvre la plupart du champ de vision. Focaliser la surface de l'éprouvette au bord de la piqûre en utilisant d'abord le bouton de mise au point grossière puis celui de mise au point «précise». Enregistrer les relevés initiaux effectués sur le bouton de mise au point «précise», refocaliser la base de la piqûre en utilisant le bouton de mise au point «précise», et enregistrer le relevé final. La différence entre les relevés initiaux et finaux sur le bouton de mise au point précise représente la profondeur de la piqûre.

**4.2.4.3** Répéter les phases de 4.2.4.2 pour obtenir des mesurages supplémentaires ou jusqu'à obtention d'un double satisfaisant. La répétabilité des mesurages de profondeur sur une seule piqûre, à quatre grossissements, est donnée dans l'annexe A.

**4.2.4.4** Une variante de cette technique met en œuvre un microscope interférentiel. Un rayon lumineux est fractionné et une partie est projetée sur l'éprouvette, l'autre sur la surface d'un miroir de référence. La lumière réfléchie par ces deux surfaces est recombinaisonnée et des franges d'interférence se forment, donnant une carte topographique de la surface de l'éprouvette. Ces franges peuvent être utilisées pour mesurer les déviations verticales à la surface du métal. Toutefois, la méthode se limite aux piqûres plus étroites, c'est-à-dire de moins de 25  $\mu\text{m}$ , car le nombre de franges augmente au point d'être difficile à compter.

ISO 11463:1995

<https://standards.iso.org/standards/sist/989057b-ca01-4dcf-9b73-3d1c279479d/iso-11463-1995>

## 5 Évaluation des piqûres

### 5.1 Généralités

Il existe plusieurs façons de décrire les piqûres, de donner une expression quantitative pour indiquer leur importance ou de les utiliser pour prévoir la durabilité d'un matériau. Le présent article décrit certaines des méthodes les plus courantes, bien que l'on trouve souvent qu'aucune méthode n'est suffisante à elle seule.

### 5.2 Clichés-étalons

Voir référence bibliographique [3] citée dans l'annexe B.

**5.2.1** Évaluer les piqûres en termes de densité, taille et profondeur, en se fondant sur des clichés-étalons tels que ceux représentés à la figure 2. Les colonnes A et B se rapportent à l'étendue des piqûres à la surface du métal (c'est-à-dire que la colonne A est un moyen d'évaluer le nombre d'emplacements par unité de surface et la colonne B un moyen de représenter la taille moyenne de ces emplacements). La colonne C apprécie l'intensité ou la profondeur moyenne d'atta-

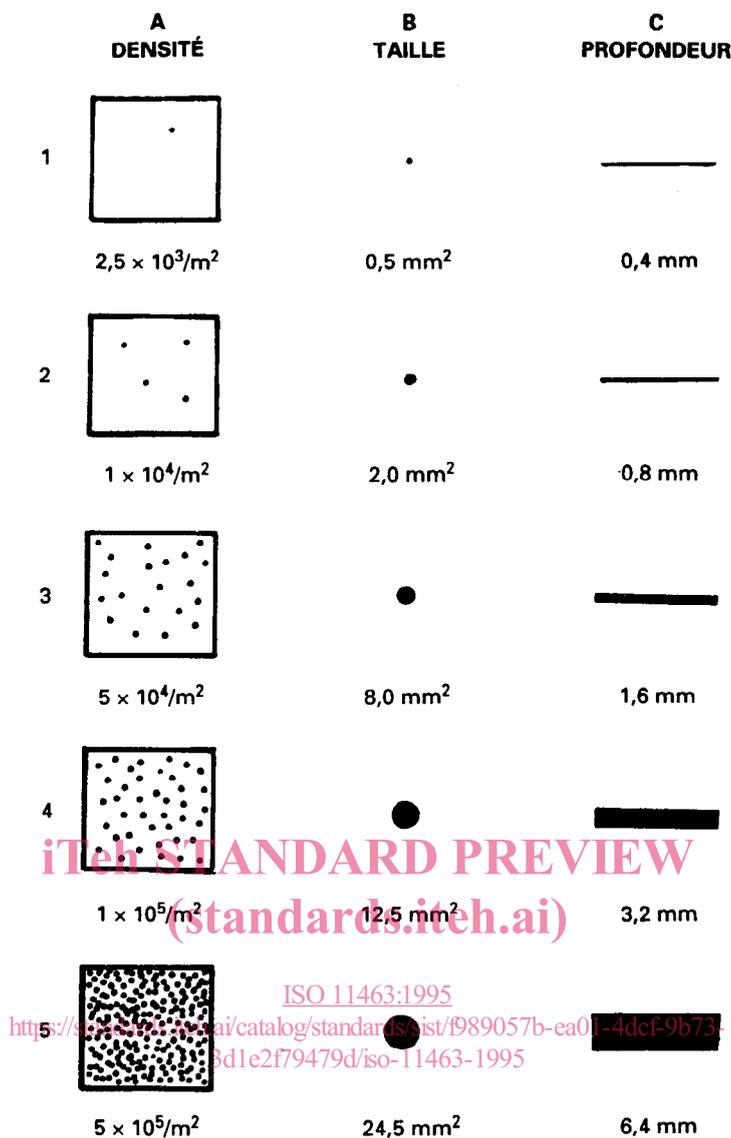


Figure 2 — Clichés-étalons pour l'évaluation des piqûres

que. Une appréciation type pourrait être A-3, B-2, C-3, représentant une densité de  $5 \times 10^4$  piqûres par mètre carré, une ouverture moyenne de piqûre de  $2 \text{ mm}^2$  et une profondeur moyenne de piqûre de  $1,6 \text{ mm}$ .

**5.2.2** Cette méthode offre un moyen efficace de communication entre ceux qui sont familiarisés avec les clichés et c'est une façon simple de stocker des données pour les comparer à d'autres résultats d'essai. Le mesurage de toutes les piqûres est cependant fastidieux et prend un temps qui n'est généralement pas justifié car les valeurs maximales (par exemple les profondeurs des piqûres) sont d'ordinaire plus significatives que les valeurs moyennes.

### 5.3 Pénétration du métal

**5.3.1** Mesurer la piqûre la plus profonde et exprimer la pénétration du métal en termes de profondeur maximale de piqûre ou de moyenne des 10 piqûres les plus profondes, de préférence des deux façons. Ce type de mesurage est particulièrement important

lorsque le métal est en contact avec du gaz ou du liquide et qu'un trou pourrait entraîner une perte du contenu.

**5.3.2** La pénétration du métal peut également être exprimée en fonction du coefficient de piqûration. Il s'agit du rapport de la pénétration la plus profonde dans le métal à la pénétration moyenne du métal, déterminé à partir de la perte de masse, comme indiqué dans la relation suivante:

$$\text{Coefficient de piqûration} = \frac{\text{Pénétration la plus profonde dans le métal}}{\text{Pénétration moyenne du métal}}$$

Un coefficient de piqûration de 1 représente une corrosion uniforme; plus le chiffre est gros, plus la pénétration est profonde. Le coefficient ne s'applique pas dans les cas où les piqûres ou la corrosion générale sont très faibles car on peut facilement obtenir des valeurs de zéro ou d'infini lorsqu'on aborde un rapport, quand un nombre tend vers zéro.