
**Corrosion des métaux et alliages —
Essais de corrosion sous contrainte —
Partie 10:
Méthode d'essai par cintrage en U
inversé**

iTeh STANDARD PREVIEW
*Corrosion of metals and alloys — Stress corrosion testing —
Part 10: Reverse U-bend method*
(standards.iteh.ai)

[ISO 7539-10:2020](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/93de05b0-3296-4af3-933c-f5314d895fc4/iso-7539-10-2020)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/93de05b0-3296-4af3-933c-f5314d895fc4/iso-7539-10-2020>



iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 7539-10:2020

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/93de05b0-3296-4af3-933c-f5314d895fc4/iso-7539-10-2020>



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
Fax: +41 22 749 09 47
E-mail: copyright@iso.org
Web: www.iso.org

Publié en Suisse

Sommaire

Page

Avant-propos.....	iv
1 Domaine d'application	1
2 Références normatives	1
3 Termes et définitions	1
4 Principe	1
5 Éprouvettes	2
5.1 Généralités.....	2
5.2 Préparation des éprouvettes RUB.....	3
5.2.1 Tubes et conduites.....	3
5.2.2 Autres produits.....	3
5.2.3 Processus de cintrage en U inversé.....	3
5.3 Fixation des éprouvettes RUB avec un boulon de charge.....	3
6 Mode opératoire expérimental	4
7 Évaluation après exposition	5
8 Rapport d'essai	5
Annexe A (informative) Préparation d'éprouvettes RUB en demi-tube non prédéformées	7
Annexe B (informative) Préparation d'éprouvettes RUB à section calibrée	10
Bibliographie	17

iteh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO 7539-10:2020](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/93de05b0-3296-4af3-933c-f5314d895fc4/iso-7539-10-2020)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/93de05b0-3296-4af3-933c-f5314d895fc4/iso-7539-10-2020>

Avant-propos

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (comités membres de l'ISO). L'élaboration des Normes internationales est en général confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique créé à cet effet. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO participent également aux travaux. L'ISO collabore étroitement avec la Commission électrotechnique internationale (IEC) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les procédures utilisées pour élaborer le présent document et celles destinées à sa mise à jour sont décrites dans les Directives ISO/IEC, Partie 1. Il convient, en particulier, de prendre note des différents critères d'approbation requis pour les différents types de documents ISO. Le présent document a été rédigé conformément aux règles de rédaction données dans les Directives ISO/IEC, Partie 2 (voir www.iso.org/directives).

L'attention est 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).

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 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 7539-10:2013), qui a fait l'objet d'une révision technique. Les principales modifications par rapport à l'édition précédente sont les suivantes:

- la préparation des éprouvettes, c'est-à-dire la manière dont les éprouvettes cintrées en U inversé sont usinées, cintrées et fixées, a été révisée à l'[Article 5](#) et dans les [Annexes A](#) et [B](#);
- le mode opératoire expérimental spécifiant la façon dont les éprouvettes sont soumises à essai dans le cadre d'un essai par immersions multiples avec différentes périodes ou dans un essai par immersions en série a été révisé à l'[Article 6](#);
- l'évaluation après exposition décrivant la manière dont les éprouvettes sont observées a été révisée à l'[Article 7](#);
- des informations ont été ajoutées au rapport d'essai à l'[Article 8](#);
- les [Figures A.1](#), [A.2](#) et [B.3](#) et le [Tableau B.1](#) ont été révisés;
- les nouvelles [Figures A.3](#) et [B.4](#) ont été ajoutées pour illustrer l'éprouvette RUB avant et après sa fixation.

Une liste de toutes les parties de la série ISO 7539 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.

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 7539-10:2020

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/93de05b0-3296-4af3-933c-f5314d895fc4/iso-7539-10-2020>

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 7539-10:2020

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/93de05b0-3296-4af3-933c-f5314d895fc4/iso-7539-10-2020>

Corrosion des métaux et alliages — Essais de corrosion sous contrainte —

Partie 10: Méthode d'essai par cintrage en U inversé

AVERTISSEMENT — Le présent document peut impliquer l'utilisation de matériaux et d'appareils présentant des risques et l'exécution d'opérations dangereuses. Il incombe à l'utilisateur du présent document de consulter et d'établir les bonnes pratiques d'hygiène et de sécurité et de déterminer avant leur mise en œuvre dans quelle mesure les restrictions réglementaires s'appliquent.

1 Domaine d'application

Le présent document spécifie les modes opératoires de conception, de préparation et d'utilisation d'éprouvettes d'essai cintrées en U invers (RUB, aussi dénommées « selles de cheval ») permettant d'étudier la sensibilité du métal à la corrosion fissurante sous contrainte. Pour les besoins du présent document, le terme « métal » inclut également les alliages.

iTeh STANDARD PREVIEW

2 Références normatives (standards.iteh.ai)

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

ISO 7539-1, *Corrosion des métaux et alliages — Essais de corrosion sous contrainte — Partie 1: Lignes directrices générales relatives aux méthodes d'essai*

ISO 8407, *Corrosion des métaux et alliages — Élimination des produits de corrosion sur les éprouvettes d'essai de corrosion*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et les définitions de l'ISO 7539-1 s'appliquent.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

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

4 Principe

L'essai sur éprouvettes cintrées en U inversé est un essai particulièrement agressif qui a pour objectif d'évaluer la sensibilité à la corrosion fissurante sous contrainte. L'essai est principalement destiné à être appliqué sur les métaux à forte résistance à la corrosion, comme les alliages à base de nickel, avec comme avantage par rapport à d'autres méthodes (par exemple, l'essai conventionnel par cintrage en U) de présenter une relaxation de contrainte considérablement moindre. Il est essentiellement utilisé comme essai de dégrossissage pour les tubes, les conduites, les plaques, les barres et d'autres produits

incluant des matériaux soudés. Il peut également être employé comme essai d'acceptation pour les performances en service, à condition que cela ait fait l'objet d'un accord entre les parties.

Le principe de l'essai repose sur l'application de contraintes très élevées dans un métal à forte résistance à la corrosion, avec un minimum de relaxation, afin d'augmenter la probabilité d'induire une corrosion fissurante sous contrainte.

L'essai consiste à exposer au fluide corrosif une pièce métallique de section semi-circulaire repliée sur elle-même vers l'arrière (c'est-à-dire cintrée à l'envers) sous forme de U et de la maintenir de manière à assurer la présence de contraintes de traction initiales dépassant la limite d'élasticité sur une grande proportion de la surface intérieure. L'essai est accéléré par la présence de contraintes bi-axiales complexes pouvant exister ou non en service. La réalisation des éprouvettes peut y introduire des degrés d'érouissage différents et la déformation peut jouer sur la propension à la corrosion fissurante sous contrainte par rapport à celle du matériau dans son état d'origine.

L'essai est normalement effectué en laboratoire, en exposant les éprouvettes aux conditions de service simulées.

Un autre objectif de l'essai est de comparer et d'évaluer l'influence de différents paramètres des matériaux.

Les principaux avantages de l'essai sont sa simplicité et sa faculté à fournir un dégrossissage rapide. Si des éprouvettes conventionnelles cintrées en U ou en forme d'anneau en C sont utilisées pour les essais de dégrossissage dans une solution à une température élevée de 573 K ou plus, une relaxation de contrainte marquée a lieu, et une longue durée d'essai est nécessaire pour l'évaluation. En revanche, la relaxation de contrainte dans les éprouvettes cintrées en U inversé est inférieure à celle des éprouvettes conventionnelles cintrées en U et en forme d'anneau en C, en raison des contraintes bi-axiales qui s'exercent dans les éprouvettes cintrées en U inversé. Par conséquent, les essais de dégrossissage peuvent être réalisés sur une durée relativement courte en utilisant des éprouvettes cintrées en U inversé.

ISO 7539-10:2020

Un inconvénient est que l'état de contrainte est compliqué et qu'il est difficile à quantifier avec exactitude. Si un état de contrainte précis est souhaité, il convient d'utiliser une autre méthode.

De grandes variations peuvent être enregistrées dans les résultats d'essai pour un métal et un environnement donnés, même lorsque les éprouvettes sont théoriquement identiques, et la répétition des essais est fréquemment nécessaire.

Si les éprouvettes sont préparées à partir de tubes de différentes dimensions ou si elles sont soumises à des modes opératoires de contrainte différents, les résultats d'essai peuvent varier encore plus.

5 Éprouvettes

5.1 Généralités

Les éprouvettes RUB sont préparées à partir de portions de tubes, conduites et autres produits cylindriques creux de production, découpées longitudinalement en moitiés, ou à partir de plaques, barres ou autres produits pressés en forme semi-circulaire dans le sens axial. Il convient que les éprouvettes soient obtenues par sciage ou par d'autres méthodes n'altérant pas les propriétés du matériau. Il convient qu'elles soient ensuite usinées à leurs dimensions finales. Il convient que la face latérale des éprouvettes soit ébarbée puis meulée grossièrement à finement au moyen de papiers abrasifs ou de toiles abrasives pour obtenir une finition de surface telle que P600 (voir l'ISO 3366 ou l'ISO 21948) sans que la température de l'éprouvette ne soit augmentée.

Il convient de procéder à la mise sous contrainte des éprouvettes RUB en deux étapes, à savoir cintrage et fixation avec un boulon de charge. Il convient d'éviter la relaxation des contraintes élastiques pendant la fixation des éprouvettes RUB avec un boulon de charge.

5.2 Préparation des éprouvettes RUB

5.2.1 Tubes et conduites

Il est possible d'utiliser des tubes de diverses dimensions et des tailles d'éprouvettes variées. Le tube est coupé aux longueurs sélectionnées pour les éprouvettes, puis sectionné dans le sens axial afin de produire des éprouvettes de section semi-circulaire.

Le tube doit conserver sa finition de surface d'origine.

En cas de traitement thermique, le traitement thermique final doit être effectué avant le processus de cintrage en U inversé (et la prédéformation, si celle-ci est adoptée).

5.2.2 Autres produits

Il est possible d'utiliser diverses barres, plaques et autres matériaux forgés, roulés ou encore soudés. Ces matériaux doivent être usinés jusqu'à former une plaque après le traitement thermique final et pressés en forme semi-circulaire entre des matrices internes et externes. La surface des éprouvettes doit être meulée grossièrement à finement au moyen de papiers abrasifs ou de toiles abrasives jusqu'à obtention d'une finition de surface telle que P600 (voir l'ISO 3366 ou l'ISO 21948) sans que la température des éprouvettes ne soit augmentée avant le processus de pressage. La préparation d'éprouvettes issues d'une plaque est illustrée dans les [Annexes A](#) et [B](#).

Lors des essais de soudures, il faut tenir compte de l'orientation de la soudure par rapport à l'axe longitudinal de l'éprouvette et cette information doit être notée. Les essais peuvent être réalisés sur le métal soudé lui-même ou sur des sections contenant le métal soudé et la zone affectée thermiquement.

5.2.3 Processus de cintrage en U inversé

Pendant le cintrage, le demi-tube peut être forcé par l'appareillage de mise en forme à maintenir sa section transversale semi-circulaire, ou ses côtés peuvent être libres de se déformer, auquel cas ils peuvent avoir tendance à s'aplatir au niveau de l'apex. Les deux méthodes peuvent être utilisées. Le dernier mode opératoire entraîne des contraintes moindres, mais présente l'avantage d'éviter les fissures au niveau des bords. L'éprouvette du premier type est appelée « éprouvette RUB en demi-tube », et l'éprouvette du deuxième type est appelée « éprouvette RUB à section calibrée ».

Pendant les essais d'éprouvettes RUB à section calibrée, une prédéformation peut être utilisée pour atteindre le niveau de contrainte souhaité. Les contraintes générées sur les éprouvettes RUB à section calibrée pendant le cintrage en U inversé sont moindres sans prédéformation, car le bridage est réduit.

Des exemples de la préparation d'éprouvettes RUB en demi-tube non prédéformées sont fournis dans l'[Annexe A](#).

Des exemples de la préparation d'éprouvettes RUB à section calibrée non prédéformées et prédéformées sont illustrés dans l'[Annexe B](#).

L'apex du gabarit de pressage présente une courbe concave dont la courbure est adaptée au diamètre externe du demi-tube, tandis que les rouleaux ont une courbe convexe dont la courbure est adaptée au diamètre interne du demi-tube.

Il convient de n'adopter que les éprouvettes RUB ne présentant aucune fissure au niveau de l'apex lorsqu'elles sont cintrées.

5.3 Fixation des éprouvettes RUB avec un boulon de charge

Lors de la fixation des éprouvettes avec un boulon de charge après une opération de cintrage, il faut veiller à s'assurer que la déflexion due à l'opération de fixation est rétablie au-delà de celle atteinte à la fin de l'opération de cintrage. Il convient de presser les éprouvettes RUB au moyen d'un étau lors de la phase finale du cintrage avant fixation des éprouvettes, afin d'aligner leurs pattes en les attachant à l'aide d'écrous et de boulons. La distance finale entre les pattes de l'éprouvette au niveau du boulon de

charge doit être inférieure de 1 mm environ à la distance minimale au cours de l'opération de cintrage. Il convient que la distance finale soit la même pour toutes les éprouvettes d'une même série. Il convient d'éviter tout desserrage après la charge. Il convient d'utiliser un dispositif de mesure à micromètre pour assurer la constance.

Il convient que le matériau du boulon présente un coefficient de dilatation thermique similaire ou inférieur à celui de l'éprouvette. Il convient d'utiliser des rondelles à surfaces courbes pour éviter une charge non uniforme sur l'éprouvette lors du vissage du boulon. Les rondelles contribuent à maintenir le même point de contact sur les trous de boulon d'une éprouvette. En outre, il est recommandé d'utiliser des doubles écrous afin de réduire la probabilité de desserrage des boulons.

Il convient de sélectionner des boulons dont le matériau évite la corrosion galvanique avec les éprouvettes RUB et résiste à la corrosion dans l'environnement. Dans un environnement à pH élevé, le même matériau que les éprouvettes RUB peut être adopté; il convient en revanche de ne pas sélectionner la zircone. Dans de l'eau à température élevée, l'utilisation de rondelles en alliages d'oxyde de zirconium est recommandée.

6 Mode opératoire expérimental

Si plusieurs métaux sont présents dans un système, il peut être nécessaire d'isoler électriquement les éprouvettes afin d'éviter la corrosion galvanique, en fonction de l'environnement d'essai. Lorsqu'une isolation est utilisée, le matériau isolant ne doit pas se déformer pendant l'essai. Les matériaux isolants en céramique sont adaptés, à condition qu'ils soient compatibles avec les conditions d'essai.

Les éprouvettes doivent être dégraissées au moyen d'un solvant tel que l'acétone. Elles doivent ensuite être rincées à l'eau distillée ou à l'éthanol, puis séchées avant l'essai. Il convient ensuite de les manipuler avec soin.

Après leur mise en forme, les éprouvettes doivent être examinées pour déceler l'éventuel amorçage de fissures avant exposition à l'environnement d'essai. Il peut également s'avérer souhaitable de préparer des éprouvettes supplémentaires, qui sont mises sous contrainte mais pas exposées à l'environnement d'essai, à des fins de contrôle, en vue d'effectuer des comparaisons ultérieures.

S'il est nécessaire de repérer les éprouvettes en vue d'une identification, il convient de suivre les méthodes mentionnées dans l'ISO 7539-1.

Il convient de soumettre les éprouvettes à l'essai dès que possible une fois le dégraissage, la mise sous contrainte et l'inspection effectués.

Plusieurs éprouvettes doivent être soumises à l'essai pour une condition afin de suivre la progression des dommages dans le temps. Généralement, deux méthodes doivent être appliquées. L'une est un essai par immersions multiples avec différentes périodes d'exposition et l'autre est un essai par immersions en série.

Dans l'essai par immersions multiples, plusieurs jeux d'éprouvettes sont soumis à essai pendant différentes périodes d'exposition. Les fissures sont détectées par inspection à l'issue de l'essai par immersion. Il peut être utile de soumettre à l'essai un nombre suffisant d'éprouvettes identiques pour une évaluation statistique à chaque durée d'exposition. Une fois l'essai terminé, les éprouvettes doivent être rincées à l'eau distillée ou à l'éthanol, puis séchées. Une inspection destructive peut être mise en œuvre pour la détection des fissures. Si nécessaire, une méthode de nettoyage appropriée conforme à l'ISO 8407 doit être utilisée afin de pouvoir observer les fissures potentielles.

Dans l'essai par immersions en série, les éprouvettes sont observées de manière répétée par inspection non destructive après certains laps de temps jusqu'à détection d'une fissure. Préalablement à l'inspection, les éprouvettes doivent être rincées à l'eau distillée ou à l'éthanol, puis séchées. La durée de l'essai pour une éprouvette est définie comme étant la période cumulée pendant laquelle l'éprouvette est soumise à essai dans un environnement d'essai. Il peut être utile de soumettre à l'essai un nombre suffisant d'éprouvettes identiques pour une évaluation statistique. L'évaluation de la durée d'inspection en vue de la détection des fissures avec un nombre limité d'éprouvettes est plus efficace avec l'essai par immersions en série qu'avec l'essai par immersions multiples.

Habituellement, le retour du potentiel de corrosion des éprouvettes au précédent potentiel d'un environnement prend un certain temps après redémarrage de l'essai par immersion, car le film d'oxyde à la surface des éprouvettes se transforme dans l'atmosphère. Il peut en résulter une durée d'amorce de la fissure différente de l'essai par immersion sans inspections intermédiaires. Lorsque le temps de retour au précédent potentiel est suffisamment court pour qu'il puisse être considéré comme négligeable par rapport à la durée de l'essai par immersion, l'essai par immersions en série peut être réalisé sans prendre en compte l'effet des inspections intermédiaires. Un film d'oxyde fin et solide formé à la surface des alliages à forte résistance à la corrosion, tels que les alliages 600 et 690, est à peine transformé dans l'atmosphère après retrait de l'environnement. De plus, le potentiel de corrosion revient au précédent potentiel après plusieurs heures dans l'environnement, par exemple un environnement primaire simulé des réacteurs à eau sous pression (PWR).

7 Évaluation après exposition

Avant d'examiner les éprouvettes, il est nécessaire de vérifier qu'une rupture ou un desserrage du boulon de charge n'a pas invalidé l'essai.

L'examen préliminaire des éprouvettes pour rechercher la présence de fissures est réalisé au moyen de méthodes d'observation non destructives prédéterminées, par exemple par inspection visuelle générale ou avec un microscope optique de grossissement 10 à 40, sans desserrage du boulon de charge après rinçage de l'éprouvette à l'eau distillée ou à l'éthanol, puis séchage.

Si, dans l'essai par immersions en série, les éprouvettes sont replacées dans l'environnement d'essai, il convient d'éviter le desserrage du boulon de charge et toute inspection destructive. L'élimination des produits de corrosion et la charge électrique de la surface par un microscope électronique modifient les conditions des phénomènes de corrosion.

Une observation sous fort grossissement à l'aide d'un microscope électronique à balayage ou d'un microscope optique sur des sections transversales préparées pour examen métallographique peut être utile pour confirmer qu'une éprouvette ne présente aucune fissure.

Il convient de considérer toute fissure observée comme un signe de défaillance, sauf en cas de certitude formelle qu'elle est due à une autre raison que la corrosion fissurante sous contrainte.

Il convient de traiter l'essai comme un essai fondamentalement de type « réussite/échec » et il convient de ne pas considérer les différences mineures de comportement, par exemple la durée jusqu'à la détection de la première fissure, ou la taille d'une fissure, comme significatives.

Il est recommandé de présenter les résultats à l'aide de méthodes d'analyse statistique comme les statistiques Weibull, c'est-à-dire en reportant dans un diagramme le nombre cumulé de défaillances en fonction du temps.

8 Rapport d'essai

Le rapport d'essai doit comporter les informations suivantes:

- a) une description complète du matériau d'essai, incluant la composition chimique, le traitement thermique et l'état microstructural;
- b) la Norme internationale utilisée (y compris son année de publication);
- c) les dimensions des tubes, les dimensions des éprouvettes et, si les éprouvettes ont été prédéformées, les prédéformations mises en œuvre;
- d) une description complète de l'environnement d'essai;
- e) le mode opératoire d'inspection, y compris le type de microscope et son grossissement;
- f) l'heure à laquelle les observations ont été faites et le moment où les fissures sont devenues visibles;