
**Méthode d'essai accéléré de
durabilité des anodes à oxydes
métalliques mixtes pour la protection
cathodique —**

**Partie 1:
Application dans le béton**

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

*Accelerated life test method of mixed metal oxide anodes for cathodic
protection —*

Part 1: Application in concrete

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/aaa2faa9-2a42-4119-9f63-7ada95426eb2/iso-19097-1-2018>



iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 19097-1:2018

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/aaa2faa9-2a42-4119-9f63-7ada95426eb2/iso-19097-1-2018>



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2018

Tous droits réservés. Sauf prescription différente ou nécessité dans le contexte de sa mise en oeuvre, 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
CP 401 • Ch. de Blandonnet 8
CH-1214 Vernier, Geneva, Switzerland
Tel. +41 22 749 01 11
Fax +41 22 749 09 47
copyright@iso.org
www.iso.org

Publié en Suisse

Sommaire

Page

Avant-propos	iv
Introduction	v
1 Domaine d'application	1
2 Références normatives	1
3 Termes et définitions	1
4 Méthode d'essai	2
4.1 Principe.....	2
4.2 Solutions pour essai.....	2
4.2.1 Généralités.....	2
4.2.2 Solution de chlorure de sodium (NaCl).....	3
4.2.3 Solution d'hydroxyde de sodium (NaOH).....	3
4.2.4 Eau interstitielle simulée dans du sable.....	3
4.2.5 Autres solutions d'essai.....	4
4.3 Appareillage d'essai.....	4
4.4 Éprouvettes.....	5
4.5 Conditions d'essai.....	5
4.6 Continuité des essais.....	8
4.7 Traitement des éprouvettes après essai.....	8
5 Rapport des résultats des essais	9
6 Application des résultats	9
Annexe A (informative) Appareillage type pour essai accéléré de durabilité	10
Annexe B (informative) Résultats d'essais types obtenus sur une anode à oxydes métalliques mixtes	12
Bibliographie	15

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.

(standards.iteh.ai)

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 le lien suivant: www.iso.org/avant-propos.

Le présent document a été élaboré par le comité technique ISO/TC 156, *Corrosion des métaux et alliages*.

Une liste de toutes les parties de la série ISO 19097 peut être consultée sur le site web de l'ISO.

Introduction

La protection cathodique par courant imposé (PCCI) est une méthode efficace pour contrôler la corrosion de structures métalliques immergées dans l'eau de mer, l'eau saumâtre et l'eau douce ou enterrées dans le sol. La PCCI est également largement appliquée à la prévention de la corrosion des armatures en acier dans le béton exposé aux environnements marins ou à d'autres environnements contaminés par des chlorures.

Les anodes à oxydes métalliques mixtes (MMO) sont largement utilisées comme anodes à courant imposé pour les systèmes de PCCI du fait de leur bonne activité électro-catalytique, de leur faible vitesse de consommation, de leur longue durée de vie, de leur poids léger, de leur malléabilité, de leur rapport performance sur coût élevé et de leur large compatibilité d'emploi avec les différents électrolytes.

La durabilité est l'une des propriétés les plus importantes des anodes MMO. La norme ISO 19097 (toutes les parties) traite de la méthode d'essai accéléré de durabilité des anodes de protection cathodique à oxydes métalliques mixtes (MMO) destinée à évaluer leur capacité à atteindre une durée de vie visée. L'essai accéléré de durabilité peut également être utilisé pour comparer la stabilité de différentes anodes MMO. Le présent document est applicable aux anodes MMO destinées à être utilisées dans du béton. La présente méthode n'a pas pour but d'indiquer la durée de vie exacte des anodes dans les applications pratiques, mais de fournir aux utilisateurs et aux fabricants d'anodes MMO un moyen d'évaluer si la durée de vie spécifiée lors des étapes de conception peut être atteinte.

D'importants passages du présent document proviennent de l'International Standard NACE TM0294-2016^[1].

iTeh STANDARD PREVIEW (standards.iteh.ai)

[ISO 19097-1:2018](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/aaa2faa9-2a42-4119-9f63-7ada95426eb2/iso-19097-1-2018)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/aaa2faa9-2a42-4119-9f63-7ada95426eb2/iso-19097-1-2018>

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 19097-1:2018

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/aaa2faa9-2a42-4119-9f63-7ada95426eb2/iso-19097-1-2018>

Méthode d'essai accéléré de durabilité des anodes à oxydes métalliques mixtes pour la protection cathodique —

Partie 1: Application dans le béton

1 Domaine d'application

Le présent document spécifie une méthode d'essai accéléré de durabilité des anodes à oxydes métalliques mixtes pour la protection cathodique par courant imposé utilisées dans le béton. Les résultats de l'essai accéléré de durabilité peuvent être utilisés pour comparer la durabilité des anodes et pour évaluer si elles peuvent satisfaire aux exigences requises concernant la durée de vie de calcul visée au débit d'anode spécifié.

Il est possible d'appliquer également le présent document à d'autres systèmes anodiques qui doivent être utilisés en tant qu'anodes à courant imposé noyées dans du béton, avec un appareillage modifié de manière appropriée pour maintenir des anodes de géométries différentes.

2 Références normatives

Les documents suivants cités dans le texte 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 (y compris les éventuels amendements) s'applique.

ISO 679, *Ciment — Méthodes d'essai — Détermination de la résistance mécanique*

ISO 8044, *Corrosion des métaux et alliages — Termes principaux et définitions*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans l'ISO 8044 ainsi que les suivants 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:

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

3.1

anode à oxydes métalliques mixtes

anode de protection cathodique par courant imposé constituée d'un revêtement conducteur à oxydes métalliques mixtes déposé sur un substrat en titane

Note 1 à l'article: Le mélange le plus courant utilisé pour la protection cathodique est composé d'oxyde d'iridium et d'oxyde de tantale. La composition exacte du revêtement peut varier.

3.2

durée de vie en condition d'essai accéléré

durée de vie d'une *anode à oxydes métalliques mixtes* (3.1) mesurée dans les conditions d'un essai accéléré réalisé à une densité de courant élevée, l'anode étant placée dans un électrolyte spécifique

Note 1 à l'article: La durée d'essai totale jusqu'à désactivation de l'anode correspond à la durée de vie en condition d'essai accéléré.

3.3

tension de cellule

tension entre l'anode et la cathode constituant une pile élémentaire

3.4

densité de charge

produit de la densité de courant appliquée par la durée de fonctionnement

3.5

ondulation

composante de courant alternatif (AC) dans la sortie d'une alimentation en courant continu (DC) se produisant en raison d'un filtrage incomplet ou d'une action de commutation dans un générateur DC

4 Méthode d'essai

4.1 Principe

L'essai accéléré de durabilité d'une *anode à oxydes métalliques mixtes* est réalisé dans des environnements spécifiques simulés à une densité de courant beaucoup plus élevée que celle utilisée dans les conditions de travail habituelles. Cela peut raccourcir significativement la durée de désactivation de l'anode.

Le présent document comprend une méthode d'essai en deux parties pour évaluer le matériau constitutif de l'anode.

La partie A de la méthode d'essai vise à évaluer si le matériau constitutif de l'anode à oxydes métalliques mixtes peut satisfaire à un critère de durée de vie visée. Il est possible qu'une anode subisse une inversion du sens de circulation du courant si elle est connectée comme cathode par erreur ou pour toute autre raison lors de la mise en route en pratique. De ce fait, il convient d'effectuer un essai d'inversion du sens du courant pendant une certaine durée avant la poursuite de l'essai de l'anode, afin de contrôler la capacité de cette dernière à supporter une brève inversion du sens de circulation du courant.

La partie B de la méthode d'essai est un essai plus rapide visant à vérifier le caractère approprié d'un échantillon issu d'un lot particulier du matériau constituant l'anode. Cet essai ne doit être réalisé que sur des échantillons d'un produit ayant donné des résultats satisfaisants lors de l'essai conduit selon la partie A de la méthode d'essai se rapportant à la durée de vie exigée.

4.2 Solutions pour essai

4.2.1 Généralités

L'essai accéléré de durabilité ne peut pas être réalisé dans le béton car les essais à courants élevés provoquent une défaillance prématurée du béton lorsque celui-ci est utilisé comme électrolyte pour essai. De ce fait, l'essai accéléré de durabilité doit être réalisé dans une solution aqueuse. Les articles suivants donnent des instructions relatives à la préparation et à l'utilisation d'un électrolyte simulant un béton pour la Partie A de la méthode d'essai, et de solutions d'essai pour la Partie B de la méthode. Tous les produits chimiques utilisés sont de qualité réactif et l'eau doit être distillée ou désionisée. Toutes les solutions doivent être fraîchement préparées pour chaque essai.

4.2.2 Solution de chlorure de sodium (NaCl)

Une quantité de $40,0 \text{ g} \pm 0,1 \text{ g}$ de chlorure de sodium doit être introduite dans un flacon volumétrique de 1,0 l, puis environ 500 ml d'eau distillée ou désionisée doit être ajoutée. La solution doit être ajoutée dans le flacon jusqu'à dissolution complète des cristaux de NaCl. Un complément d'eau distillée ou désionisée doit être ajouté jusqu'à la marque du niveau de 1,0 l du flacon de façon que la solution de NaCl ainsi obtenue ait une concentration de 40 g/l. La solution doit être homogénéisée.

Pour la protection cathodique de structures de béton armé telles les piles de pont et les rangs de pieux dans les environnements marins ou contaminés par les chlorures, l'anode à oxydes métalliques mixtes est exposée à la solution contenant des ions chlorures. Ainsi la solution de chlorure de sodium est utilisée pour simuler ces environnements et vérifier la capacité des anodes à oxydes métalliques mixtes à supporter le dégagement de chlore.

4.2.3 Solution d'hydroxyde de sodium (NaOH)

Une quantité de $40,0 \text{ g} \pm 0,1 \text{ g}$ d'hydroxyde de sodium doit être introduite lentement dans un flacon volumétrique de 1,0 l contenant approximativement 500 ml d'eau distillée ou désionisée. La solution doit être agitée jusqu'à dissolution complète du NaOH. Cette réaction est exothermique. Un complément d'eau distillée ou désionisée doit être ajouté dans le flacon juste au-dessous du niveau 1,0 l. La solution doit refroidir à température ambiante. Enfin, le flacon doit être rempli avec de l'eau distillée ou désionisée jusqu'au trait de 1,0 l pour obtenir la solution de NaOH à 40 g/l. La solution doit être homogénéisée.

Dans le béton armé fraîchement coulé le pH de la solution électrolytique est élevé avec une faible contamination du milieu environnant par les chlorures. Cette solution est utilisée pour simuler le milieu environnant réel dans le béton frais et pour mesurer l'aptitude de l'anode à supporter un dégagement d'oxygène, situation prépondérante d'autant que le niveau de contamination par les chlorures est faible dans les strates fraîches.

ISO 19097-1:2018

4.2.4 Eau interstitielle simulée dans du sable

Des quantités de $26,3 \text{ g} \pm 0,1 \text{ g}$ d'hydroxyde de sodium, $10,74 \text{ g} \pm 0,1 \text{ g}$ d'hydroxyde de potassium, $34,35 \text{ g} \pm 0,1 \text{ g}$ de chlorure de potassium et $2,15 \text{ g} \pm 0,01 \text{ g}$ d'hydroxyde de calcium doivent être dissoutes, successivement, dans 1,0 l d'eau distillée ou désionisée dans un flacon, en agitant jusqu'à dissolution complète, pour obtenir la solution interstitielle simulée d'un béton. Les pourcentages respectifs en masse des constituants de l'eau interstitielle simulée doivent être les suivants:

- a) 0,20 % de $\text{Ca}(\text{OH})_2$,
- b) 3,20 % de KCl,
- c) 1,00 % de KOH,
- d) 2,45 % de NaOH,
- e) 93,15 % d'eau distillée ou désionisée.

Le sable fin siliceux naturel (de $270 \mu\text{m}$ à $380 \mu\text{m}$) doit être obtenu conformément à l'ISO 679. Tout d'abord, la cellule d'essai doit être remplie avec suffisamment de sable pour recouvrir complètement l'anode, une fois les électrodes et le capillaire de Luggin en place. Ensuite, l'eau interstitielle simulée doit être ajoutée pour chasser l'air et remplir le reste de la cellule.

Pour une anode à oxydes métalliques mixtes noyée dans une structure en béton durci, l'électrolyte est l'eau interstitielle. Cette solution permet de vérifier la capacité de l'anode à supporter d'une part, la concentration réelle des différents constituants de l'eau interstitielle, et d'autre part, les éventuels effets de synergie exercés par lesdits constituants. L'utilisation de sable fin pour envelopper l'électrode, éliminant tout mélange par convection, vise à vérifier l'aptitude de l'anode à supporter les conditions en simulant de très près son fonctionnement dans un béton durci.

4.2.5 Autres solutions d'essai

La composition de l'électrolyte utilisé pour la partie B de la méthode d'essai doit permettre de provoquer un dégagement d'oxygène à l'anode. Les concentrations ioniques doivent assurer une conductivité suffisante de la solution de manière à éviter de devoir augmenter excessivement la tension de l'alimentation.

Quelques solutions appropriées sont proposées ci-après:

- Acide sulfurique 1 M (H_2SO_4)
- Sulfate de sodium 1 M (Na_2SO_4)
- 180 g/l de sulfate de sodium additionné d'acide sulfurique 0,1 N pour maintenir le pH à 1.

4.3 Appareillage d'essai

NOTE Un schéma de l'appareillage d'essai est présenté en [Annexe A](#).

4.3.1 La cellule d'essai doit être un béccher en verre, de forme haute et d'une contenance de 1.0 l, muni à la partie supérieure d'un bouchon en caoutchouc pour maintenir les électrodes et limiter le contact avec l'air. Il est possible d'utiliser des bécchers en verre ayant d'autres dimensions tant que les électrodes demeurent immergées pendant toute la durée de l'essai. La distance entre l'anode et la cathode doit être d'environ 50 mm. Le bouchon en caoutchouc doit comporter un trou à mi-distance entre les électrodes, débouchant sur une tubulure destinée à évacuer les gaz au niveau des raccordements électriques. Ce trou peut être utilisé pour mettre en place l'anode supplémentaire pour l'inversion du sens de circulation du courant et le capillaire de Luggin. Le bouchon doit comporter un autre orifice suffisamment grand pour permettre le mesurage du pH de la solution d'essai. Une configuration type de cellule d'essai utilisant une électrode de référence et un capillaire de Luggin pour mesurer le potentiel de l'anode est représentée en [Annexe A](#).

ISO 19097-1:2018

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/aaa2faa9-2a42-4119-9f63-7ada95426ab2/iso-19097-1-2018>

4.3.2 Un échantillon de l'anode ayant une aire de surface de 2 000 mm² doit être utilisé. L'aire de surface de l'anode doit être calculée en incluant toutes les surfaces actives qui seront en contact avec le béton, une fois l'anode noyée dans la structure. L'échantillon d'anode doit être soudé à une tige de Ti de 1,6 mm de diamètre x 203 mm de longueur en deux points comme illustré à la [Figure A.1](#). La tige de Ti joue le rôle de conducteur. Pour les autres types d'anode, la connexion de l'anode doit être conforme aux recommandations du fabricant. L'anode doit être connectée au pôle positif (pôle négatif pendant l'essai d'inversion du sens de circulation du courant) de l'alimentation extérieure à la cellule au moyen d'un câble de cuivre isolé de 1 mm de diamètre, à l'aide d'une pince à mâchoires avec ressort en cuivre.

4.3.3 La cathode doit être une tige de Ti de 12,7 mm de diamètre x 200 mm de longueur. Il est également possible d'utiliser une autre forme de cathode, comme une plaque de Ti, d'aire de surface suffisante. Une variante consiste à utiliser des cathodes relativement inertes, en platine, niobium ou zirconium par exemple. La cathode doit être introduite par le bouchon en caoutchouc et poussée jusqu'à environ 10 mm du fond de la cellule. Elle doit être connectée au pôle négatif de l'alimentation extérieure à la cellule (mais pas pendant l'essai d'inversion du sens de circulation du courant), au moyen d'un câble de cuivre isolé de 1 mm de diamètre, à l'aide d'une pince à mâchoires avec ressort en cuivre.

4.3.4 Une anode supplémentaire est nécessaire pour la partie de l'essai comportant l'inversion du sens de circulation du courant. Cette anode doit être identique à celle soumise à essai accéléré et dénommée anode pour inversion du sens du courant (anode CR). Il convient de positionner l'anode CR à mi-distance entre la tige de la cathode et l'anode devant être soumise à essai accéléré. Pendant l'essai d'inversion du sens de circulation du courant, l'anode CR doit être connectée au pôle positif de l'alimentation extérieure à la cellule au moyen d'un câble de cuivre isolé de 1 mm de diamètre, à l'aide d'une pince à mâchoires avec ressort en cuivre ou d'un dispositif de fixation similaire. Pendant l'essai normal, retirer l'anode CR de la cellule.

4.3.5 L'alimentation électrique DC doit être un équipement à courant constant contrôlé, filtré avec un taux d'ondulation maximal de 5 %. Une seule alimentation peut également alimenter plusieurs cellules électrolytiques connectées en série simultanément. La tension requise dépend du courant d'essai et du nombre de cellules d'essai connectées en série pouvant être utilisées. En général, une tension de 8 volts par cellule multipliée par le nombre de cellules connectées en série est suffisante.

4.3.6 La [Figure A.2](#) illustre une configuration type d'interconnexion en série pour les évaluations en double.

4.3.7 Un voltmètre doit être utilisé pour mesurer le potentiel de l'anode et la tension de chaque cellule aux intervalles spécifiés. Le voltmètre doit avoir une impédance d'entrée élevée de 10 M Ω ou supérieure, et doit pouvoir mesurer une tension de cellule selon une précision de ± 1 %. Il est également possible d'utiliser un voltmètre à enregistrement séquentiel des données.

4.4 Éprouvettes

4.4.1 Choisir le nombre et le type d'éprouvettes en fonction des spécifications relatives au matériau constituant l'anode ou au produit soumis à essai. Pour assurer l'exactitude des données, au moins deux éprouvettes par anode doivent être soumises à essai dans des conditions opératoires identiques mais dans des cellules séparées.

4.4.2 Les éprouvettes doivent être nettoyées avec soin avant l'essai de manière à éliminer les traces (saleté, huile ou autre matière étrangère) susceptibles d'influer sur le résultat. Veiller à ce que les éprouvettes ne soient pas contaminées après nettoyage par une manipulation sans précautions.

4.5 Conditions d'essai

4.5.1 Les conditions d'essai mises en œuvre pour la Partie A et la Partie B de la méthode d'essai sont indiquées dans le [Tableau 1](#).

Tableau 1 — Conditions de l'essai accéléré de durabilité d'une anode à oxydes métalliques mixtes

Méthode d'essai	Électrolytes pour essai	Conditions d'essai
Partie A de la méthode d'essai	Électrolytes de simulation du béton (voir 4.2.2 , 4.2.3 , 4.2.4)	<p>Forme d'anode: en mailles, ruban ou plaque. Aire de surface de l'anode: 2 000 mm²;</p> <p>Forme de cathode: tige ou plaque. Dimensions types de cathode: $\varnothing 12.7$ mm \times 200 mm;</p> <p>Distance entre l'anode et la cathode: 50 mm;</p> <p>Température de l'électrolyte: 20 °C \pm 5 °C;</p> <p>Densité de courant: pour les essais accélérés, l'échantillon d'anode est d'abord alimenté en sens inverse (cathodique) à une densité de courant de 8.9 A/m² pendant 8 h, puis l'essai est poursuivi jusqu'à la fin en polarisation positive à 8.9 A/m² (voir 4.5.2.3).</p>
Partie B de la méthode d'essai	<p>Quelques électrolytes appropriés sont cités ci-après (voir 4.2.5):</p> <p>a) Acide sulfurique 1 M (H₂SO₄);</p> <p>b) Sulfate de sodium 1 M (Na₂SO₄);</p> <p>c) 80 g/l de sulfate de sodium additionné d'acide sulfurique 0,1 N pour maintenir le pH à 1.</p>	<p>Forme d'anode: en mailles, ruban ou plaque. Aire de surface de l'anode: 2 000 mm²;</p> <p>Forme de cathode: tige ou plaque, Dimensions types de cathode: $\varnothing 12.7$ mm \times 200 mm;</p> <p>Distance entre l'anode et la cathode: 50 mm;</p> <p>Température de l'électrolyte: 30 °C \pm 5 °C;</p> <p>Densité de courant: 1,45 kA/m²</p>