

---

---

**Industries du pétrole, de la  
pétrochimie et du gaz naturel —  
Matériaux métalliques résistant à la  
fissuration sous contrainte induite  
par les sulfures pour utilisation dans  
des environnements corrosifs de  
raffinage du pétrole**

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

*Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Metallic materials resistant to sulfide stress cracking in corrosive petroleum refining environments*

ISO 17945:2015

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/2650e031-1cb7-4f2c-96e4-c1ea8b6a0e3d/iso-17945-2015>



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

ISO 17945:2015

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/2650e031-1cb7-4f2c-96e4-c1ea8b6a0e3d/iso-17945-2015>



**DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT**

© ISO 2015, Publié en Suisse

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, 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, l'affichage sur l'internet ou sur un Intranet, sans autorisation écrite préalable. Les demandes d'autorisation peuvent être adressées à l'ISO à l'adresse ci-après ou au comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office  
Ch. de Blandonnet 8 • CP 401  
CH-1214 Vernier, Geneva, Switzerland  
Tel. +41 22 749 01 11  
Fax +41 22 749 09 47  
copyright@iso.org  
www.iso.org

## Sommaire

Page

Avant-propos.....	vi
Introduction.....	vii
<b>1</b> <b>Domaine d'application</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b> <b>Références normatives</b> .....	<b>1</b>
<b>3</b> <b>Termes et définitions</b> .....	<b>2</b>
<b>4</b> <b>Symboles et abréviations</b> .....	<b>3</b>
<b>5</b> <b>Responsabilités</b> .....	<b>4</b>
5.1   Responsabilités de l'utilisateur final.....	4
5.2   Responsabilité du fabricant.....	4
<b>6</b> <b>Facteurs contribuant à la fissuration sous contrainte induite par les sulfures (SSC)</b> .....	<b>4</b>
6.1   Paramètres généraux ayant une incidence sur la fissuration sous contrainte induite par les sulfures (SSC).....	4
6.2   Effet de l'état du matériau et du niveau de contrainte sur la sensibilité à la fissuration sous contrainte induite par les sulfures (SSC).....	5
6.3   Effet du flux de perméation d'hydrogène sur la fissuration sous contrainte induite par les sulfures (SSC).....	5
6.4   Effet de l'exposition à des températures élevées sur la fissuration sous contrainte induite par les sulfures (SSC).....	6
6.5   Facteurs ayant une incidence sur la durée de fonctionnement avant défaillance due à la fissuration sous contrainte induite par les sulfures (SSC).....	6
6.6   Bases permettant de déterminer si un équipement relève du domaine d'application de la présente Norme internationale.....	7
<b>7</b> <b>Matériaux inclus dans la présente Norme internationale</b> .....	<b>7</b>
<b>8</b> <b>Exigences de dureté</b> .....	<b>8</b>
<b>9</b> <b>Procédure d'ajout de nouveaux matériaux ou procédés</b> .....	<b>9</b>
9.1   Exigences générales relatives au vote.....	9
9.2   Exigences relatives aux données fondées sur l'expérience acquise sur le terrain.....	9
9.3   Exigences relatives aux données d'essais en laboratoire.....	9
<b>10</b> <b>Nouvelles restrictions et matériaux supprimés</b> .....	<b>10</b>
<b>11</b> <b>Qualification d'alliages, d'états et/ou de procédés non répertoriés pour des applications spécifiques</b> .....	<b>10</b>
<b>12</b> <b>Guide de la norme</b> .....	<b>11</b>
<b>13</b> <b>Matériaux ferreux</b> .....	<b>12</b>
13.1   Aciers au carbone et aciers alliés.....	12
13.1.1   Exigences relatives aux aciers au carbone et aux aciers alliés.....	12
13.1.2   Exigences relatives aux aciers au carbone répertoriés en tant que P-1 Groupe 1 ou 2 dans la section IX du code BPVC de l'ASME.....	13
13.1.3   Exigences relatives aux autres aciers au carbone.....	13
13.1.4   Exigences relatives aux aciers alliés répertoriés avec des numéros P dans la Section IX du code BPVC de l'ASME.....	13
13.1.5   Exigences relatives aux autres aciers alliés.....	13
13.1.6   Exigences relatives aux aciers au carbone et aux aciers alliés formés à froid.....	13
13.1.7   Exigences relatives au soudage des aciers au carbone répertoriés en tant que P-1 dans la Section IX du code BPVC de l'ASME.....	14
13.1.8   Exigences relatives au soudage des aciers alliés répertoriés en tant que P-3, P-4 ou P-5A dans la section IX du code BPVC de l'ASME.....	14
13.1.9   Rechargements par soudage résistant à la corrosion, rechargements par soudage de surfaçage de renfort, placages et revêtements projetés à chaud sur des aciers au carbone et des aciers alliés.....	14

13.2	Fonte et fonte ductile.....	15
13.3	Aciers inoxydables ferritiques.....	15
13.4	Aciers inoxydables martensitiques.....	16
13.4.1	Aciers inoxydables martensitiques conventionnels.....	16
13.4.2	Aciers inoxydables martensitiques à faible teneur en carbone.....	16
13.4.3	Soudage et rechargements d'aciers inoxydables martensitiques.....	16
13.5	Aciers inoxydables austénitiques.....	17
13.6	Nuances spécifiques d'aciers inoxydables austénitiques.....	18
13.7	Aciers inoxydables austénitiques fortement alliés.....	18
13.8	Aciers inoxydables duplex.....	19
13.8.1	Exigences générales relatives aux aciers inoxydables duplex.....	19
13.8.2	Exigences relatives au soudage des aciers inoxydables duplex.....	19
13.9	Aciers inoxydables à durcissement structural.....	19
13.9.1	Acier inoxydable austénitique à durcissement structural.....	19
13.9.2	Aciers inoxydables martensitiques à durcissement structural.....	19
13.9.3	Exigences relatives au soudage des aciers inoxydables à durcissement structural.....	20
<b>14</b>	<b>Matériaux non ferreux.....</b>	<b>21</b>
14.1	Alliages de nickel.....	21
14.1.1	Alliages de nickel en solution solide.....	21
14.1.2	Alliages de nickel à durcissement structural.....	22
14.2	Alliages cobalt-nickel-chrome-molybdène.....	23
14.3	Alliages cobalt-nickel-chrome-tungstène.....	23
14.4	Alliages de titane.....	23
14.5	Alliages d'aluminium.....	24
14.6	Alliages de cuivre.....	24
<b>15</b>	<b>Exigences relatives à la fabrication.....</b>	<b>24</b>
15.1	Exigences générales relatives à la fabrication.....	24
15.2	Rechargements résistant à la corrosion, par surfacage de renfort et placage.....	25
15.3	Soudage.....	25
15.4	Placage sur des aciers au carbone, des aciers alliés et des aciers inoxydables martensitiques.....	25
15.5	Marquage par poinçons.....	26
15.6	Taraudage.....	26
15.6.1	Filets usinés à la machine.....	26
15.6.2	Filets formés à froid (laminés).....	26
15.7	Procédés de déformation à froid.....	27
<b>16</b>	<b>Boulonnerie.....</b>	<b>27</b>
16.1	Exigences générales relatives à la boulonnerie.....	27
16.2	Boulonnerie exposée.....	27
16.3	Boulonnerie non exposée.....	28
<b>17</b>	<b>Placage, revêtements et processus de diffusion.....</b>	<b>28</b>
<b>18</b>	<b>Composants spéciaux.....</b>	<b>28</b>
18.1	Exigences générales relatives aux composants spéciaux.....	28
18.2	Paliers.....	28
18.3	Ressorts.....	29
18.4	Instrumentation et dispositifs de commande.....	29
18.4.1	Exigences générales relatives à l'instrumentation et aux dispositifs de commande.....	29
18.4.2	Membranes, dispositifs de mesurage de la pression et joints de pression.....	29
18.5	Bagues et garnitures d'étanchéité.....	30
18.6	Circlips.....	30
18.7	Pièces subissant un traitement spécial.....	30
<b>19</b>	<b>Vannes.....</b>	<b>30</b>
<b>20</b>	<b>Compresseurs et pompes.....</b>	<b>30</b>

<b>Annexe A</b> (informative) <b>Tracé relatif aux espèces de sulfure</b> .....	<b>32</b>
<b>Annexe B</b> (informative) <b>Informations de base concernant les essais et exigences de dureté</b> .....	<b>33</b>
<b>Annexe C</b> (normative) <b>Dispositions pour le contrôle de la dureté lors de la qualification d'un mode opératoire de soudage</b> .....	<b>38</b>
<b>Bibliographie</b> .....	<b>47</b>

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

[ISO 17945:2015](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/2650e031-1cb7-4f2c-96e4-c1ea8b6a0e3d/iso-17945-2015)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/2650e031-1cb7-4f2c-96e4-c1ea8b6a0e3d/iso-17945-2015>

## 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 appelée 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 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'OMC concernant les obstacles techniques au commerce (OTC), voir le lien suivant: [Avant-propos — Informations supplémentaires](http://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/2650e031-1cb7-442c-96c4-c1ea8b6a0e3d/iso-17945-2015).

Le comité chargé de l'élaboration du présent document est l'ISO/TC 67, *Matériel, équipement et structures en mer pour les industries pétrolière, pétrochimique et du gaz naturel*.

## Introduction

L'expression «fissuration en milieu H<sub>2</sub>S humide», telle qu'elle est utilisée dans l'industrie du raffinage, couvre un éventail de mécanismes d'endommagement pouvant se produire en raison des effets de chargement en hydrogène dans les environnements contenant de l'H<sub>2</sub>S humide associés aux procédés mis en œuvre dans les raffineries et les usines de traitement de gaz. L'un des types d'endommagement des matériaux pouvant se produire sous l'effet du chargement en hydrogène est la fissuration sous contrainte induite par les sulfures (SSC) des soudures et microstructures de forte dureté, qui est traitée dans la présente Norme internationale. Les autres types d'endommagement des matériaux comprennent le cloquage par l'hydrogène, la fissuration induite par l'hydrogène (HIC) et la fissuration induite par l'hydrogène orientée sous contrainte (SOHIC), qui ne sont pas traitées dans la présente Norme internationale.

Dans le passé, de nombreux utilisateurs finaux, organismes industriels (API par exemple) et fabricants qui ont spécifié et fourni à l'industrie du raffinage des équipements et des produits, tels que des machines tournantes et des appareils de robinetterie, ont utilisé la NACE MR0175/ISO 15156 pour établir les exigences relatives aux matériaux visant à prévenir la fissuration sous contrainte induite par les sulfures. Toutefois, il a toujours été admis que les environnements de raffinage ne relèvent pas du domaine d'application de la NACE MR0175/ISO 15156, qui a été spécifiquement élaborée pour l'industrie de production de pétrole et de gaz. En 2003, la première édition de la NACE MR0103 a été publiée en tant que standard relatif aux matériaux métalliques pour service H<sub>2</sub>S spécifique aux raffineries. La présente Norme internationale est fondée sur l'expérience acquise avec la NACE MR0175/ISO 15156, mais adaptée aux environnements et applications de raffinerie. Les autres références pour la présente Norme internationale sont la NACE SP0296, la publication NACE 8X194, la publication NACE 8X294, ainsi que l'expérience en matière de raffinage des membres du groupe de travail qui a élaboré la norme NACE MR0103.

Les exigences relatives aux matériaux, aux traitements thermiques et aux propriétés des matériaux énoncées dans la NACE MR0103 sont fondées sur une vaste expérience dans l'industrie de production de pétrole et de gaz, documentée dans la norme NACE MR0175/ISO 15156, et ont été jugées pertinentes pour l'industrie du raffinage par le groupe de travail.

La présente Norme internationale a été élaborée en se fondant sur la NACE MR0103.

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

ISO 17945:2015

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/2650e031-1cb7-4f2c-96e4-c1ea8b6a0e3d/iso-17945-2015>

# Industries du pétrole, de la pétrochimie et du gaz naturel — Matériaux métalliques résistant à la fissuration sous contrainte induite par les sulfures pour utilisation dans des environnements corrosifs de raffinage du pétrole

## 1 Domaine d'application

La présente Norme internationale établit les exigences relatives aux matériaux pour la résistance à la fissuration sous contrainte induite par les sulfures dans les milieux corrosifs liés au raffinage du pétrole et aux traitements associés contenant du H<sub>2</sub>S soit sous forme de gaz soit dissous dans une phase aqueuse (eau liquide) en présence ou non d'hydrocarbures. La présente Norme internationale ne contient pas (et n'est pas destinée à contenir) des spécifications de conception. Les autres formes de fissuration en milieu H<sub>2</sub>S humide, de fissuration induite par l'environnement, de corrosion et d'autres modes de défaillance ne relèvent pas du domaine d'application de la présente Norme internationale. Elle est destinée à être utilisée par les raffineurs, par les fabricants d'équipements, les entreprises d'ingénierie et les entreprises de construction.

La présente Norme internationale concerne spécifiquement la prévention de la fissuration sous contrainte induite par les sulfures des équipements (y compris les appareils à pression, les échangeurs de chaleur, les tuyauteries, les corps de vannes et les carters de pompes et de compresseurs) et des composants utilisés dans l'industrie du raffinage. La prévention de la fissuration sous contrainte induite par les sulfures dans un acier au carbone de catégorie P-1, selon la Section IX du code ASME applicable aux chaudières et aux appareils à pression (BPVC), est traitée par une exigence de conformité à la spécification NACE SP0472.

La présente Norme internationale s'applique à tous les éléments d'équipement exposés aux milieux corrosifs d'une raffinerie (voir [Article 6](#)), dont la défaillance par fissuration sous contrainte induite par les sulfures (1) compromettrait l'intégrité du système de confinement de la pression, (2) empêcherait le fonctionnement de base de l'équipement et/ou (3) empêcherait la remise en état de marche de l'équipement tout en continuant à contenir la pression.

## 2 Références normatives

Les documents ci-après, dans leur intégralité ou non, sont des références normatives indispensables à l'application 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).

NACE Standard TM0177, *Laboratory Testing of Metals for Resistance to Sulfide Stress Cracking and Stress Corrosion Cracking in H<sub>2</sub>S Environments*<sup>1)</sup>

ANSI/NACE MR0175/ISO 15156, *Petroleum and natural gas industries — Materials for use in H<sub>2</sub>S-containing environments in oil and gas production*<sup>1)</sup>

ASTM A833, *Standard Practice for Indentation Hardness of Metallic Materials by Comparison Hardness Testers*

ASTM E384, *Standard Test Method for Knoop and Vickers Hardness of Materials*

ASTM E562, *Standard Test Method for Determining Volume Fraction by Systematic Manual Point Count*

SAE AMS2430, *Shot Peening, Automatic*

1) NACE International, 1440 South Creek Dr., Houston, TX 77084-4906, USA.

### 3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

#### 3.1 température de transformation inférieure

**A<sub>c1</sub>**  
température du début de la formation de l'austénite au chauffage

#### 3.2 température de transformation supérieure

**A<sub>c3</sub>**  
température à laquelle la transformation de la ferrite en austénite est achevée au chauffage

#### 3.3 acier allié

alliage ferreux contenant du carbone (généralement moins de 2,5 %) et du manganèse (généralement au moins 0,25 %), qui contient des quantités minimales spécifiées d'un ou plusieurs éléments d'alliage autres que le manganèse, le silicium et le cuivre, et qui ne spécifie pas une teneur minimale en chrome supérieure ou égale à 10 %

#### 3.4 acier inoxydable austénitique

acier inoxydable dont la microstructure, à température ambiante, est principalement constituée d'austénite

#### 3.5 acier au carbone

alliage ferreux contenant du carbone (généralement moins de 2,0 %) et du manganèse (généralement au moins 0,25 %), sans quantité minimale spécifiée de tout élément d'alliage autre que le manganèse, le silicium et le cuivre, et qui contient seulement une quantité accessoire de tout élément autre que le carbone, le silicium, le manganèse, le cuivre, le soufre et le phosphore

#### 3.6 placage

couche d'un matériau d'alliage (colaminée, plaquée par explosion, ou rechargée par soudage) résistant à la corrosion appliquée sur la totalité de la surface exposée d'un matériau sous-jacent qui est relativement moins résistant à la corrosion et liée métallurgiquement à celui-ci

Note 1 à l'article: Voir également le rechargement par soudage.

#### 3.7 acier inoxydable duplex

acier inoxydable austéno-ferritique  
acier inoxydable dont la microstructure, à température ambiante, est principalement constituée d'un mélange d'austénite et de ferrite

#### 3.8 utilisateur final

entreprise ou intermédiaire qui possède et utilise le composant (par exemple appareil, tuyauterie, pompe, compresseur, etc.)

#### 3.9 acier inoxydable ferritique

acier inoxydable dont la microstructure, à température ambiante, est principalement constituée de ferrite

#### 3.10 acier inoxydable

alliage ferreux contenant une fraction massique de 10,5 % ou plus de chrome et éventuellement d'autres éléments ajoutés pour obtenir des propriétés particulières

**3.11****fissuration sous contrainte induite par les sulfures****SSC**

fissuration d'un métal sous l'action combinée d'une contrainte de traction et d'une corrosion en présence d'eau et de H<sub>2</sub>S (forme de rupture induite par l'hydrogène)

**3.12****revêtement projeté à chaud**

traitement thermique à haute température par le biais duquel les inclusions métalliques ou non métalliques finement dispersés sont déposés dans un état de fusion complète ou partielle pour former, une fois refroidis, un revêtement sur une surface

**3.13****rechargement par soudage, résistant à la corrosion**

dépôt d'une ou de plusieurs couches de métal fondu résistant à la corrosion sur la surface d'un matériau de base visant à améliorer les propriétés de résistance à la corrosion de la surface

Note 1 à l'article: Voir également placage.

**3.14****rechargement par soudage, surfacage de renfort**

dépôt d'une ou de plusieurs couches de métal fondu sur la surface d'un matériau visant à améliorer les propriétés de résistance à l'usure de la surface

**4 Symboles et abréviations**

ANSI	American National Standards Institute
API	American Petroleum Institute
ASME	ASME (anciennement American Society of Mechanical Engineers)
AWS	American Welding Society
BPVC	Boiler and Pressure Vessel Code, code applicable aux chaudières et aux appareils à pression
ZAT	zone affectée thermiquement
HI	apport de chaleur
HIC	fissuration induite par l'hydrogène (Hydrogen-Induced Cracking)
NACE	NACE International (anciennement National Association of Corrosion Engineers)
ppmw	parties par million en masse, généralement exprimé en mg/kg en unités SI
PV-QMO	procès-verbal de qualification de mode opératoire
PREN	nombre équivalent de résistance à la corrosion par piqûres (Pitting Resistance Equivalent Number)
PWHT	traitement thermique après soudage (PostWeld Heat Treatment)
SOHIC	fissuration induite par l'hydrogène orientée sous contrainte (Stress-Oriented Hydrogen-Induced Cracking)
SSC	fissuration sous contrainte induite par les sulfures (Sulfide Stress Cracking)

UNS système de numérotation unifié (Unified Numbering System) (pour les métaux et les alliages)

EQ-MOS épreuve de qualification de mode opératoire de soudage

## 5 Responsabilités

### 5.1 Responsabilités de l'utilisateur final

**5.1.1** Il est de la responsabilité de l'utilisateur final (ou de son représentant) de déterminer les conditions de service et de spécifier quand la présente Norme internationale s'applique.

**5.1.2** Il est de la responsabilité de l'utilisateur final (ou de son représentant) de s'assurer qu'un matériau est satisfaisant dans l'environnement prévu. L'utilisateur final (ou son représentant) peut sélectionner des matériaux spécifiques à utiliser en fonction des conditions de service qui comprennent la pression, la température, la corrosivité et les propriétés du fluide. Divers matériaux candidats peuvent être choisis dans la présente Norme internationale pour un composant donné. Des matériaux non énumérés peuvent également être utilisés en se fondant sur l'un des processus suivants:

- a) lorsqu'un examen des analyses métallurgiques basé sur des connaissances scientifiques et/ou empiriques indique que la résistance à la fissuration sous contrainte induite par les sulfures (SSC) sera adéquate. Ces matériaux peuvent alors être proposés en vue de leur inclusion dans la norme en utilisant les méthodes de l'[Article 9](#);
- b) lorsqu'une analyse des risques indique que l'occurrence d'une fissuration sous contrainte induite par les sulfures (SSC) est acceptable dans l'application considérée.

**5.1.3** Bien qu'elles ne relèvent pas du domaine d'application de la présente Norme internationale, il convient, lors de la conception et de l'exploitation des équipements, de tenir compte des autres formes de fissuration en milieu H<sub>2</sub>S humide, de fissuration induite par l'environnement, de corrosion et d'autres modes de défaillance. Des conditions fortement corrosives et/ou de charge d'hydrogène importante peuvent entraîner des défaillances par des mécanismes autres que la fissuration sous contrainte induite par les sulfures (SSC) et il convient de les atténuer par des méthodes ne relevant pas du domaine d'application de la présente Norme internationale.

### 5.2 Responsabilité du fabricant

Le fabricant est responsable de la satisfaction des exigences métallurgiques de la présente Norme internationale.

## 6 Facteurs contribuant à la fissuration sous contrainte induite par les sulfures (SSC)

### 6.1 Paramètres généraux ayant une incidence sur la fissuration sous contrainte induite par les sulfures (SSC)

La fissuration sous contrainte induite par les sulfures (SSC) des équipements de raffinage est affectée par des interactions complexes de paramètres comprenant:

- a) la composition chimique, la résistance mécanique (telle qu'indiquée par la dureté), le traitement thermique et la microstructure du matériau exposé au milieu H<sub>2</sub>S;
- b) la contrainte totale de traction présente dans le matériau (appliquée plus résiduelle);

- c) le flux d'hydrogène généré dans le matériau, qui dépend de l'environnement (c'est-à-dire de la présence d'une phase aqueuse, de la concentration en  $H_2S$ , du pH et d'autres paramètres environnementaux tels que la concentration en ion bisulfure et la présence de cyanures libres);
- d) la température;
- e) la durée.

## 6.2 Effet de l'état du matériau et du niveau de contrainte sur la sensibilité à la fissuration sous contrainte induite par les sulfures (SSC)

**6.2.1** La sensibilité d'un matériau à la fissuration sous contrainte induite par les sulfures (SSC) est principalement liée à la résistance mécanique du matériau (telle qu'indiquée par la dureté) qui est affectée par la composition chimique, le traitement thermique et la microstructure. Les matériaux ayant une dureté élevée présentent généralement une sensibilité accrue à la fissuration sous contrainte induite par les sulfures (SSC).

**6.2.2** La fissuration sous contrainte induite par les sulfures (SSC) n'est généralement pas préoccupante pour les aciers au carbone habituellement utilisés pour les appareils à pression et les tuyauteries en service  $H_2S$  humide dans les raffineries parce que ces aciers ont des niveaux de dureté suffisamment faibles.

**6.2.3** Les métaux ayant subi un traitement thermique inapproprié, les dépôts de soudure et les zones affectées thermiquement (ZAT) peuvent toutefois contenir des zones de dureté élevée.

**6.2.4** La sensibilité à la fissuration sous contrainte induite par les sulfures (SSC) d'un matériau donné augmente lorsque la contrainte de traction augmente.

**6.2.5** Les contraintes résiduelles contribuent au niveau global de contrainte de traction. Les contraintes résiduelles élevées associées aux soudures augmentent la sensibilité à la fissuration sous contrainte induite par les sulfures (SSC).

**6.2.6** Le contrôle de la dureté des soudures, avec ou sans réduction des contraintes résiduelles, est une méthode reconnue de prévention de la fissuration sous contrainte induite par les sulfures (SSC), comme décrit dans la spécification NACE SP0472 pour les aciers au carbone P-1.

## 6.3 Effet du flux de perméation d'hydrogène sur la fissuration sous contrainte induite par les sulfures (SSC)

**6.3.1** La sensibilité à la fissuration sous contrainte induite par les sulfures (SSC) est également liée au flux de perméation d'hydrogène dans l'acier, qui est principalement associé à deux paramètres environnementaux: le pH et la teneur totale en sulfures de la phase aqueuse. Dans un système fermé à l'équilibre, l'hydrogène sulfuré dissous ( $H_2S_{aq}$ ), l'ion bisulfure ( $HS^-$ ) et l'ion sulfure ( $S^{2-}$ ) (parfois appelé «sulfure soluble») sont présents dans une solution aqueuse dans différentes gammes de pH.

**6.3.2** Le tracé des espèces de sulfure présenté à la [Figure A.1](#) montre leurs quantités relatives présentes dans une solution aqueuse à 25 °C (77 °F) en fonction du pH. Lorsque le pH est inférieur à 6,  $H_2S_{aq}$  est l'espèce de sulfure dominante (> 90 % du total) dans la phase aqueuse. Lorsque le pH est compris entre 8 et 11, l'espèce de sulfure dominante (> 90 % du total) dans la phase aqueuse est  $HS^-$ . Lorsque le pH est supérieur à 13, l'espèce de sulfure dominante (> 90 % du total) dans la phase aqueuse est  $S^{2-}$ . Lorsque le pH est égal à 7, le système contient 50 % de  $H_2S_{aq}$ , 50 % de  $HS^-$  et pratiquement pas de  $S^{2-}$ . Lorsque le pH est égal à 12, le système contient 50 % de  $HS^-$ , 50 % de  $S^{2-}$  et pratiquement pas de  $H_2S_{aq}$ . La teneur totale en sulfures se rapporte donc à la quantité totale des trois espèces de sulfure présentes dans la phase aqueuse (c'est-à-dire la somme de  $H_2S_{aq}$ ,  $HS^-$ , et  $S^{2-}$ ).

**6.3.3** Habituellement, le flux d'hydrogène dans les aciers s'est avéré être le plus bas dans des solutions de pH proche du neutre, le flux augmentant à des valeurs de pH inférieures et supérieures. À de faibles valeurs de pH, la corrosion est habituellement provoquée par  $H_2S_{aq}$ , alors qu'à des valeurs élevées de pH, la corrosion est habituellement provoquée par de fortes concentrations de  $HS^-$ .

**6.3.4** Dans les nombreux milieux aqueux acides des raffineries, la présence d'ammoniac dissous ( $NH_3$ ) augmente le pH, ce qui a pour effet d'augmenter la solubilité du  $H_2S$  et d'aboutir à une concentration élevée en  $HS^-$ . Lorsque le pH est élevé, la présence de cyanures libres, qui comprennent le cyanure d'hydrogène ( $H_2CN_{aq}$ ) et l'ion cyanure ( $CN^-$ ), peut aggraver encore le degré de charge d'hydrogène atomique dans l'acier. Bien que la sensibilité à la fissuration sous contrainte induite par les sulfures (SSC) soit connue pour augmenter avec la teneur totale en sulfures de la phase aqueuse, une teneur totale en sulfures aussi faible que 1 ppmw dans la phase aqueuse peut provoquer une fissuration sous contrainte induite par les sulfures (SSC) dans des conditions favorisant la charge d'hydrogène agressive.

**6.3.5** Pour les aciers au carbone, les conditions environnementales connues pour provoquer une fissuration sous contrainte induite par les sulfures (SSC) sont celles associant une phase aqueuse à:

- a) une teneur totale en sulfures > 50 ppmw dans la phase aqueuse;
- b) une teneur totale en sulfures  $\geq 1$  ppmw dans la phase aqueuse et un pH < 4;
- c) une teneur totale en sulfures  $\geq 1$  ppmw et une teneur en cyanures libres  $\geq 20$  ppmw dans la phase aqueuse, et un pH > 7,6;
- d) une pression partielle absolue de  $H_2S > 0,3$  kPa (0,05 psia) dans la phase gazeuse associée à la phase aqueuse d'un procédé.

ITEH STANDARD PREVIEW  
(standards.iteh.ai)

**6.3.6** Les milieux- $H_2S$  à pH élevé distinguent le service  $H_2S$  des raffineries des milieux  $H_2S$  de production de pétrole et de gaz couverts par la NACE MR0175/ISO 15156, parce que de nombreux effluents acides humides en production de pétrole et de gaz contiennent également du dioxyde de carbone et présentent donc un pH plus faible. Une autre différence majeure est que les concentrations en ion chlorure tendent à être nettement plus faibles dans les services  $H_2S$  des raffineries que dans les services  $H_2S$  de production de pétrole.

## **6.4 Effet de l'exposition à des températures élevées sur la fissuration sous contrainte induite par les sulfures (SSC)**

Le pouvoir de chargement en hydrogène augmente lorsque la température augmente à condition que la phase aqueuse ne soit pas éliminée par la température élevée. Une température élevée favorise la dissociation du  $H_2S$  (produisant ainsi davantage d'hydrogène monoatomique) et augmente les vitesses de diffusion de l'hydrogène monoatomique dans les métaux, favorisant ainsi le chargement en hydrogène. Néanmoins, le pouvoir de fissuration est maximal à une température proche de la température ambiante. Cette distinction est importante parce que les métaux peuvent se charger pendant l'exposition à des températures élevées, puis se fissurer pendant leur refroidissement (par exemple pendant les arrêts).

## **6.5 Facteurs ayant une incidence sur la durée de fonctionnement avant défaillance due à la fissuration sous contrainte induite par les sulfures (SSC)**

La durée de fonctionnement avant défaillance diminue lorsque la résistance mécanique du matériau, la contrainte de traction totale et le pouvoir de chargement de l'environnement augmentent. La durée d'exposition provoquant une fissuration sous contrainte induite par les sulfures (SSC) peut être très courte si les autres facteurs de fissuration sous contrainte induite par les sulfures (SSC) augmentent la sensibilité. Certains équipements sensibles peuvent subir une défaillance même pendant de courtes excursions d'exposition en eau acide telles que celles rencontrées pendant les arrêts de l'équipement.

## 6.6 Bases permettant de déterminer si un équipement relève du domaine d'application de la présente Norme internationale

L'utilisateur final (ou son représentant) doit déterminer si les paramètres nécessaires pour provoquer une fissuration sous contrainte induite par les sulfures (SSC) existent dans l'environnement du procédé et si l'équipement relève du domaine d'application de la présente Norme internationale. Pour cette détermination, l'utilisateur final (ou son représentant) peut s'appuyer sur l'expérience, sur une analyse des risques ou sur les lignes directrices ci-dessus (notamment celles relatives aux conditions environnementales données en [6.3](#) et [6.4](#)). Pour déterminer si l'équipement relève du domaine d'application de la présente Norme internationale, il convient de tenir compte de tous les scénarios d'exploitation de l'installation et de l'impact probable sur les matériaux de construction, c'est-à-dire opérations normales, conditions de fonctionnement perturbées, autres opérations (futures éventuellement) et conditions de démarrage/arrêt (par exemple sulfuration préalable de catalyseurs).

## 7 Matériaux inclus dans la présente Norme internationale

**7.1** Les matériaux inclus dans la présente Norme internationale sont résistants, mais pas nécessairement insensibles, à la fissuration sous contrainte induite par les sulfures (SSC). Les matériaux ont été inclus en se fondant sur leur résistance à la fissuration sous contrainte induite par les sulfures (SSC) démontrée dans des applications sur le terrain et/ou lors d'essais de fissuration sous contrainte induite par les sulfures (SSC) réalisés en laboratoire.

**7.2** Les matériaux énumérés ne présentent pas le même niveau de résistance à la fissuration sous contrainte induite par les sulfures (SSC). Les essais normalisés de fissuration sous contrainte induite par les sulfures (SSC) réalisés en laboratoire, tels que ceux traités dans la NACE/TM 0177, sont des essais accélérés et sévères. Les matériaux qui passent avec succès ces essais sont généralement plus résistants à la fissuration en service H<sub>2</sub>S que les matériaux qui échouent à ces essais. De nombreux alliages inclus dans la présente Norme internationale se comportent de façon satisfaisante en service H<sub>2</sub>S, même s'ils peuvent se fissurer lors des essais en laboratoire.

**7.3** Une conception, un traitement, une installation ou une manutention inapproprié(e) peut rendre des matériaux résistants sensibles à la fissuration sous contrainte induite par les sulfures (SSC).

**7.4** Aucune tentative n'a été faite dans la présente Norme internationale pour classer les matériaux en fonction de leur résistance relative à la fissuration sous contrainte induite par les sulfures (SSC). Le choix du matériau approprié pour une application donnée dépend d'un certain nombre de facteurs, notamment les propriétés mécaniques, la résistance à la corrosion et la résistance relative à la fissuration sous contrainte induite par les sulfures (SSC), et ne relève pas du domaine d'application de la présente Norme internationale.

**7.5** Dans un certain nombre de cas, la présente Norme internationale fait spécifiquement référence au code BPVC de l'ASME. Dans d'autres cas, la présente Norme internationale fait référence à des standards industriels spécifiques et/ou à des désignations de grades de matériau, des conditions et des exigences d'essai (par exemple ASTM, NACE, API et numéros UNS). Dans ces cas, l'utilisation d'autres standards, désignations de grades, désignations de conditions ou méthodes d'essai « équivalents » ne doit être autorisée qu'avec l'approbation de l'utilisateur final. Il est de la responsabilité d'un intermédiaire demandant la substitution de fournir à l'utilisateur final suffisamment d'informations, de données, etc. pour démontrer « l'équivalence ». S'il n'est pas évident que le standard, la désignation de grade et/ou la désignation de condition proposée en alternative est identique au standard, à la désignation de grade et/ou à la désignation de condition spécifiée dans la présente Norme internationale, il est fortement conseillé à l'utilisateur final de respecter les exigences stipulées à [l'Article 11](#) pour évaluer l'acceptabilité du matériau de substitution.