
**Industries du pétrole et du gaz
naturel — Opérations en Arctique —
Exigences applicables aux matériaux
pour les opérations en Arctique**

*Petroleum and natural gas industries — Arctic operations — Material
requirements for arctic operations*

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO/TS 35105:2018

[https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/539a73c3-28a8-4c7b-90d6-
bd7670c39c8b/iso-ts-35105-2018](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/539a73c3-28a8-4c7b-90d6-bd7670c39c8b/iso-ts-35105-2018)



iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO/TS 35105:2018

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/539a73c3-28a8-4c7b-90d6-bd7670c39c8b/iso-ts-35105-2018>



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
Case postale 401 • Ch. de Blandonnet 8
CH-1214 Vernier, Geneva
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	v
Introduction	vi
1 Domaine d'application	1
2 Références normatives	1
3 Termes et définitions	2
4 Abréviations	2
5 Symboles	3
6 Base technique	3
6.1 Considérations relatives à la conception.....	3
6.1.1 Applications actuelles et réalisations industrielles.....	3
6.1.2 Développements pour les applications futures.....	4
6.1.3 Domaines de préoccupation dans la conception des structures arctiques.....	4
6.1.4 Évaluation de la rupture.....	5
6.2 Effets des basses températures sur les caractéristiques mécaniques des aciers.....	5
6.2.1 Propriétés en traction.....	5
6.2.2 Ténacité à la rupture.....	8
6.2.3 Ténacité à l'arrêt de la fissuration.....	9
6.2.4 Fatigue.....	10
6.2.5 Contraintes résiduelles et schéma de fissuration.....	11
6.3 Conditions environnementales.....	11
6.3.1 Généralités.....	11
6.3.2 Température et définition de la température LAST.....	12
6.3.3 Conditions de l'eau de mer.....	12
6.4 Principes applicables à la qualification et à l'assurance qualité.....	12
6.4.1 Technologie de production d'acier.....	12
6.4.2 Technique de soudage.....	13
7 Exigences applicables aux matériaux et à la fabrication	13
7.1 Choix et qualification des matériaux.....	13
7.2 Caractéristiques mécaniques.....	13
7.2.1 Propriétés en traction.....	13
7.2.2 Ténacité à la rupture.....	13
7.2.3 Essais de pré-qualification.....	17
7.3 Évaluation de l'arrêt de la fissuration.....	17
7.4 Propriétés de fatigue, autres essais.....	18
7.5 Exigences relatives au soudage et à la fabrication.....	18
7.5.1 Certification du contractant.....	18
7.5.2 Matériau de base.....	19
7.5.3 Produits de soudage.....	19
7.5.4 Qualification des modes opératoires de soudage.....	19
7.6 Exigences relatives aux essais de qualification du mode opératoire de soudage.....	19
7.6.1 Exigences générales.....	19
7.6.2 Essais de qualification du mode opératoire de soudage.....	19
7.6.3 Exigences relatives aux essais.....	20
7.6.4 Soudure à clin sur tôles.....	21
7.7 Protection contre la corrosion et l'usure.....	21
7.7.1 Généralités.....	21
7.7.2 Revêtement de protection contre la corrosion à basse température.....	21
7.7.3 Protection cathodique (PC).....	22
8 Contrôle qualité, assurance qualité et documentation	22
8.1 Exigences applicables à l'acier de construction.....	22
8.2 Exigences relatives au soudage et à la fabrication.....	22

9	Questions opérationnelles	23
9.1	Exigences applicables aux opérations en zones reculées	23
9.1.1	Généralités	23
9.1.2	Opérations à basse température	23
9.1.3	Élimination de la glace et de la neige	23
9.2	Contrôle de la corrosion et de l'usure	23
9.2.1	Généralités	23
9.2.2	Surfaces des zones d'éclaboussure en contact direct avec la glace marine	24
9.2.3	Surfaces immergées et protection cathodique	24
9.2.4	Surfaces des superstructures	24
	Bibliographie	26

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO/TS 35105:2018](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/539a73c3-28a8-4c7b-90d6-bd7670c39c8b/iso-ts-35105-2018)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/539a73c3-28a8-4c7b-90d6-bd7670c39c8b/iso-ts-35105-2018>

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

Le présent document a été élaboré par le comité technique ISO/TC 67, *Matériel, équipement et structures en mer pour les industries pétrolière, pétrochimique et du gaz naturel*, sous-comité SC 8, *Opérations en Arctique*.

Introduction

Les opérations dans un environnement arctique se caractérisent par des températures ambiantes basses, par la présence de glace marine et d'icebergs et par le givrage des structures et des composants. Dans de nombreux cas, elles sont également associées à des lieux reculés en termes d'infrastructures et de logistique. Les opérations d'entretien sont donc chères et les accidents entraînant des rejets dans l'environnement peuvent avoir de graves conséquences.

Les défaillances structurelles correspondent dans la plupart des cas à des défaillances des matériaux et sont causées par des mécanismes de dégradation bien connus, tels que la fatigue et la corrosion. Dans des conditions arctiques, il faut porter une attention particulière aux défaillances dues au comportement des éventuels matériaux fragiles.

Le présent document a été élaboré pour combler le fossé entre d'une part les exigences fonctionnelles applicables aux structures en mer dans les environnements arctiques telles que définies dans les normes de conception et d'autre part les exigences applicables aux matériaux telles que définies dans les spécifications relatives aux matériaux et à la fabrication et pour lesquelles les conditions d'exploitation en Arctique n'ont pas été prises en compte de façon suffisamment détaillée.

iTeh STANDARD PREVIEW (standards.iteh.ai)

[ISO/TS 35105:2018](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/539a73c3-28a8-4c7b-90d6-bd7670c39c8b/iso-ts-35105-2018)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/539a73c3-28a8-4c7b-90d6-bd7670c39c8b/iso-ts-35105-2018>

Industries du pétrole et du gaz naturel — Opérations en Arctique — Exigences applicables aux matériaux pour les opérations en Arctique

1 Domaine d'application

Le présent document fournit des recommandations pour le choix des matériaux, les exigences de production et de fabrication, l'essai et la qualification des structures et composants en acier pour les installations pétrolières et de gaz naturel en mer et terrestres exploitées en Arctique et dans les environnements froids.

Le présent document est destiné à être utilisé comme un supplément aux normes existantes relatives aux structures en acier dans lesquelles les conditions particulières d'exploitation régnant dans les régions arctiques ne sont pas suffisamment prises en compte.

Le présent document fournit des exigences particulières afin de garantir un fonctionnement sûr en ce qui concerne le risque de rupture fragile à basses températures. Ces exigences auront une incidence sur le choix de la nuance de matériau et de la classe de conception ainsi que sur les conditions techniques de livraison de l'acier. Elles auront également une incidence sur les exigences relatives à la fabrication ainsi que sur celles relatives aux essais et à la qualification.

Le présent document fournit également des recommandations visant à:

- atténuer les aspects opérationnels et relatifs à l'intégrité liés aux accumulations de neige et de glace sur les superstructures; [ISO/TS 35105:2018](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/539a73c3-28a8-4c7b-90d6-b0706c396630-iso-35105-2018)
- prendre en compte les conditions d'exploitation particulières régnant en Arctique dans les évaluations de la corrosion et les exigences relatives aux systèmes de protection contre la corrosion; <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/539a73c3-28a8-4c7b-90d6-b0706c396630-iso-35105-2018>
- garantir, pour les exigences opérationnelles particulières, un fonctionnement sûr dans les régions arctiques.

Les exigences énoncées dans le présent document s'appliquent à toutes les températures de fonctionnement, mais les exigences particulières liées au déclassement (perte de résistance) à haute température ne sont pas traitées. Des limites à la température de conception minimale applicable dues à la capacité des performances à basse température des matériaux peuvent exister, mais elles ne constituent pas une limite pour le domaine d'application du présent document.

À titre de ligne directrice pratique pour l'utilisation du présent document, une basse température est définie comme étant la température en service la plus basse anticipée (LAST) inférieure à -10 °C .

NOTE Pour la détermination de la température LAST, voir [6.3.2](#).

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 s'applique (y compris les éventuels amendements).

ISO 19900, *Industries du pétrole et du gaz naturel — Exigences générales pour les structures en mer*

ISO 19901-1, *Industries du pétrole et du gaz naturel — Exigences spécifiques relatives aux structures en mer — Partie 1: Dispositions océano-météorologiques pour la conception et l'exploitation*

ISO/TS 35105:2018(F)

ISO 19901-2, *Industries du pétrole et du gaz naturel — Exigences spécifiques relatives aux structures en mer — Partie 2: Procédures de conception et critères sismiques*

ISO 19901-4, *Industries du pétrole et du gaz naturel — Exigences spécifiques relatives aux structures en mer — Partie 4: Bases conceptuelles des fondations*

ISO 19902:2007, *Industries du pétrole et du gaz naturel — Structures en mer fixes en acier*

ISO 19906, *Industries du pétrole et du gaz naturel — Structures arctiques en mer*

EN 10225:2009, *Aciers de construction soudables destinés à la fabrication de structures marines fixes — Conditions techniques de livraison*

API RP 2Z, *Preproduction Qualification for Steel Plates for Offshore Structures*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans l'ISO 19900, l'ISO 19901-1, l'ISO 19901-2, l'ISO 19901-4, l'ISO 19902 et l'ISO 19906 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 Abréviations

BCC	cubique centré (body centred cubic)
BM	matériau de base (base material)
DC	classe de conception (design class)
CJP	pleine pénétration de joint (complete joint penetration)
C-Mn	carbone manganèse (carbon manganese)
PC	protection cathodique (cathodic protection)
CTOD	déplacement en fond de fissure (crack-tip opening displacement)
ECA	évaluation technique critique (engineering critical assessment)
ZAT	zone affectée thermiquement (heat affected zone)
LAST	température en service la plus basse anticipée (lowest anticipated service temperature)
PWHT	traitement thermique après soudage (post weld heat treatment)
RT	température ambiante (room temperature)
SAW	processus de soudage à l'arc sous flux en poudre (submerged arc welding)
SENB	coude entaillé à bord unique (single edge notch bend)
SMYS	limite d'élasticité minimale spécifiée (specified minimum yield strength)

SN	approche par le nombre de contraintes pour la conception en fatigue (stress number approach for fatigue design)
UEL	allongement uniforme (uniform elongation)
ULS	état limite ultime (ultimate limit state)
WM	métal soudé (weld metal)
Y/T	rapport entre la limite d'élasticité et la contrainte de traction (yield to tensile stress ratio)

5 Symboles

Un résumé des principaux symboles utilisés dans le présent document est fourni ci-dessous. Les autres symboles sont définis à l'emplacement du document où ils sont utilisés. Cette utilisation comprend des symboles principaux comportant un ou plusieurs indices lorsqu'une utilisation plus spécifique est prévue et qu'une définition associée du symbole est fournie.

a	hauteur du défaut
c	demi-longueur du défaut
h_{char}	hauteur caractéristique
K_{ca}	ténacité à l'arrêt de la fissuration
T	température
t	épaisseur
X_{δ}	coefficient de correction de contrainte pour le CTOD
γ_{CTOD}	coefficient de sécurité sur le CTOD caractéristique
γ_{m}	coefficient de sécurité des matériaux
σ_{b}	contrainte de flexion moyenne s'exerçant sur la hauteur caractéristique
σ_{eff}	contrainte effective
σ_{TS}	résistance à la traction
σ_{t}	contrainte de traction moyenne s'exerçant sur la hauteur caractéristique
σ_{Y}	limite d'élasticité
$\sigma_{0,2}$	limite d'élasticité à 0,2 %
τ_{t}	contrainte de cisaillement moyenne s'exerçant sur la hauteur caractéristique

6 Base technique

6.1 Considérations relatives à la conception

6.1.1 Applications actuelles et réalisations industrielles

Des développements de champs en mer sont réalisés dans l'Atlantique Nord au large de Terre-Neuve, du Royaume-Uni et de la Norvège, avec une application réussie d'aciers de construction conçus pour une température LAST de -10 °C avec les conditions techniques de livraison spécifiées dans l'EN 10225

et les normes API correspondantes et une qualification de la soudabilité conforme à l'API RP 2Z. La NORSOK N-004 a également étendu la plage d'application des exigences de conception à $-14\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Des développements ont également été réalisés dans des zones plus froides, telles que la mer de Barents, au large de Sakhaline et sur la mer Caspienne. Dans ces cas, des exigences spécifiques au projet applicables à la qualification de l'acier de construction ont été fournies afin de compenser l'absence de normes sectorielles. Après livraison de ces projets, l'industrie sidérurgique a communiqué sur la disponibilité de «nuances d'acier arctiques» pour davantage d'applications industrielles. Toutefois, il manque toujours des exigences unifiées et une documentation des performances.

6.1.2 Développements pour les applications futures

L'industrie offshore se déplaçant vers l'Arctique et d'autres zones froides, des solutions économiques sont nécessaires pour les applications à basse température. Par conséquent, les performances à basse température, les exigences d'essai et les critères d'acceptation ainsi que les autres nuances d'acier ont été étudiés afin d'atteindre cet objectif. Les résultats de ces études forment, avec l'expérience de terrain, la base du présent document. Les études ont été réalisées à des températures pouvant aller jusqu'à $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Une limite de température réaliste à court terme est de $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, sauf si des systèmes d'alliages très spécialisés sont mis en œuvre.

En guise de considération relative à la conception, il convient de tenir compte du fait qu'il ne suffit pas de démontrer des propriétés acceptables à basse température. Il est également recommandé de démontrer que ces propriétés peuvent être associées à des procédures de fabrication efficaces en termes de coûts, y compris, par exemple le débit calorifique, le préchauffage et le traitement thermique après soudage.

6.1.3 Domaines de préoccupation dans la conception des structures arctiques

À basse température, le risque de rupture fragile des aciers de construction sera plus élevé et il est nécessaire d'établir un état limite de rupture spécifique afin de vérifier que la conception est sûre. Le mécanisme de rupture fragile présente comme caractéristique spécifique de pouvoir avoir une incidence sur la redondance de la structure après une surcharge locale, étant donné qu'il est difficile de prédire l'étendue et le trajet de l'extension de la fissure fragile.

L'introduction d'un état limite de rupture comprend une hypothèse préalable qu'une fissure est présente à l'emplacement considéré. La combinaison d'un niveau de contrainte élevé et de la présence d'une fissure étant associée à une certaine probabilité, il s'agit inévitablement d'une question probabiliste, et elle dépend fortement de la qualité de fabrication et du niveau d'inspection de la structure.

Les emplacements de défaillance les plus critiques associés au comportement à basse température des structures en acier soudées sont le WM et les ZAT. En règle générale, le BM est moins critique, car les propriétés sont généralement meilleures et la probabilité de défauts est moindre. Toutefois, dans le cas d'acier forgé et d'acier moulé, il convient également de tenir compte du BM.

La résistance à la rupture fragile est contrôlée par la température de l'acier, tandis que la température LAST est définie sur la base des données de température ambiante en association avec les facteurs opérationnels. Il convient d'estimer la température minimale de l'acier dans le cadre du processus de conception, mais elle peut être estimée de façon conservatrice à partir de la température ambiante.

Il convient de clarifier les principaux effets des basses températures sur les caractéristiques mécaniques des aciers afin de documenter la faisabilité de l'acier et du mode opératoire de soudage en termes de ténacité du WM et des ZAT (voir l'ISO 19902:2007, Annexe F) ou d'établir s'il convient de fournir d'autres exigences. En ce qui concerne les «basses températures», l'accent sera mis sur les températures comprises entre $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ et $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pour les essais, des températures allant jusqu'à $-90\text{ }^{\circ}\text{C}$ peuvent être nécessaires. La température aura un effet sur les propriétés tant élastiques que plastiques et de rupture des aciers. L'effet sur les propriétés élastiques semble moins important dans la plage de températures considérée, et n'est pas traité de façon détaillée. En ce qui concerne les propriétés plastiques et de rupture, les grandes catégories suivantes sont prises en compte:

- propriétés en traction;

- ténacité à la rupture;
- ténacité à l'arrêt de la fissuration;
- fatigue.

6.1.4 Évaluation de la rupture

La résistance à la déformation et à la séparation en réseaux atomiques est intimement liée aux énergies qui représentent des obstacles à ces caractéristiques. En général, l'énergie thermique dans le matériau aura une incidence sur l'énergie disponible pour surmonter les obstacles pour ces mécanismes. Pour la déformation plastique, il a été observé que la résistance augmente avec la diminution de la température en raison de la baisse de l'énergie thermique disponible dans le système pour aider à surmonter, par exemple, les obstacles aux mouvements de dislocation. Cela entraîne une augmentation observée de la limite d'élasticité avec la diminution de la température. La résistance à l'initiation d'une rupture par clivage est étroitement liée au niveau de contrainte qu'il est possible d'atteindre dans le matériau. Ce niveau de contrainte est à son tour corrélé aux propriétés du matériau en traction. La limite d'élasticité augmentant avec la diminution de la température, le niveau de contrainte local dans le matériau augmente, et la probabilité d'initiation d'une rupture augmente en conséquence.

L'évaluation des ruptures couvre en général les considérations relatives à l'initiation de la propagation d'une fissure et à l'arrêt éventuel des fissures se propageant. De plus, la distinction entre l'initiation de la propagation de la fissure et l'arrêt dépendra de l'agrandissement utilisé pour étudier le phénomène. La rupture est un phénomène fortement multi-échelle, qui va des détails relatifs à la séparation des atomes jusqu'aux observations au niveau du milieu continu. Dans le présent document, la classification est liée au niveau du milieu continu. Par conséquent, le terme «ténacité à la rupture» est entendu comme représentant la résistance à l'initiation de la propagation d'une fissure entraînant une extension de la fissure généralement de l'ordre de 1 mm ou plus (c'est-à-dire beaucoup plus longue que les échelles de longueur de microstructure types). De la même façon, la «ténacité à l'arrêt de la fissuration» est entendue comme représentant la résistance nécessaire pour arrêter les fissures s'étant étendues de 1 mm ou plus.

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/539a73c3-28a8-4c7b-90d6-bd7670c39c8b/iso-ts-35105-2018>

6.2 Effets des basses températures sur les caractéristiques mécaniques des aciers

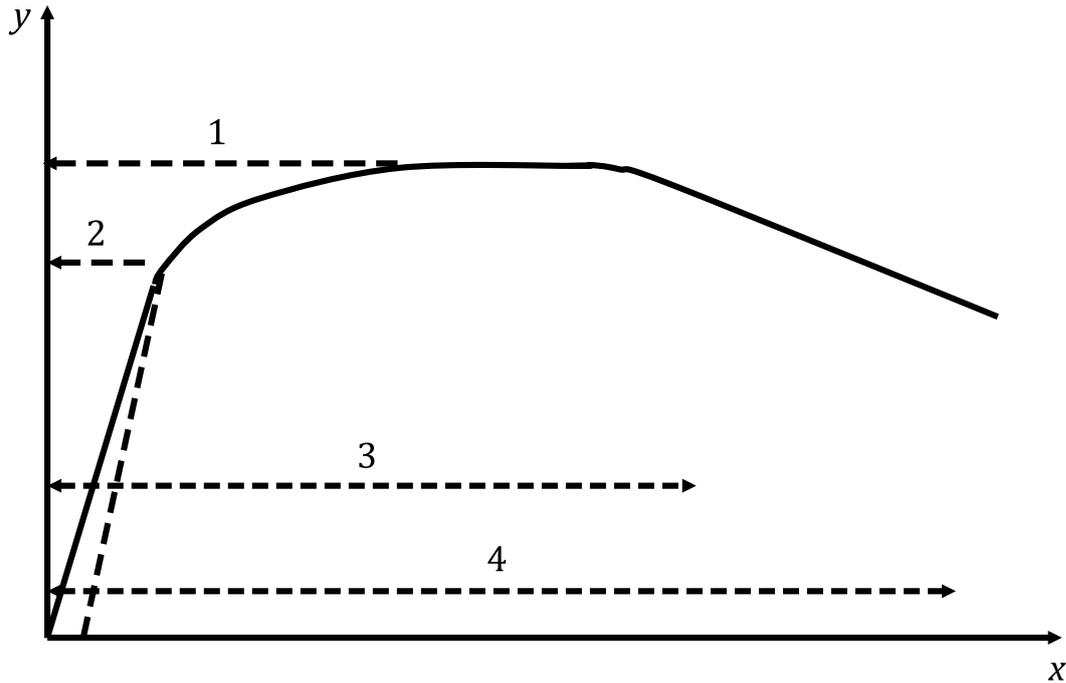
6.2.1 Propriétés en traction

Les effets des propriétés en traction sur le comportement des aciers à basse température peuvent être classés en effets explicites et implicites. Les effets explicites tiennent compte de la résistance à la déformation plastique dans le matériau et de la disparité des niveaux dans les systèmes de matériaux non homogènes (par exemple soudures). Les effets implicites couvrent la rupture et la fatigue par le biais de l'influence de la grandeur des niveaux de contrainte et de la taille des zones plastiques locales.

Les principales propriétés techniques en traction sont:

- la limite d'élasticité;
- la résistance à la traction;
- l'allongement uniforme (UEL);
- la déformation à la rupture.

Les paramètres sont illustrés à la [Figure 1](#). En ce qui concerne la limite d'élasticité, différentes définitions sont appliquées; toutefois, la plus courante est le niveau de contrainte correspondant à 0,2 % de déformation permanente du matériau. En outre, certains aciers présenteront un écoulement plastique discontinu, appelé formation de lignes de Lüders.



Légende

- 1 résistance à la traction x déformation conventionnelle
- 2 limite d'élasticité y contrainte conventionnelle
- 3 UEL
- 4 déformation à la rupture

iTeH STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO/TS 35105:2018
Figure 1 — Paramètres des propriétés en traction
https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/35105-2018/35105-2018-4c7b-90d6-bd7670c39c8b/iso-ts-35105-2018

En écartant les scénarios où la vitesse de déformation est très élevée, où les effets d'inertie commencent à jouer un rôle important, les effets de la température et de la vitesse de déformation sur les propriétés plastiques sont revendiqués comme étant de même nature. Cela repose sur le fait qu'ils affectent l'énergie d'activation pour le mouvement de dislocation de la même manière. Pour décrire ce phénomène, Zener et Hollomon ont proposé la relation générale suivante:

$$\sigma_y = f \left[T \log \left(\frac{A}{\dot{\epsilon}} \right) \right] \tag{1}$$

où

- σ_y est la limite d'élasticité;
- T est la température;
- A est une constante liée à l'énergie d'activation;
- ϵ est la vitesse de déformation.

Il convient que la nature détaillée de la fonction soit déterminée par des essais expérimentaux, car il n'existe aucun modèle théorique permettant de la déduire directement. La [Figure 2](#) fournit des exemples d'évolution de la limite d'élasticité et de la résistance à la traction en fonction de la température pour deux matériaux différents qui ne sont normalement pas utilisés pour les applications structurales.