
**Industries du pétrole, de la
pétrochimie et du gaz naturel —
Réparations en matériau composite
pour canalisations — Qualification
et conception, installation, essai et
inspection**

*Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Composite
repairs for pipework — Qualification and design, installation, testing
and inspection*

Document Preview

ISO 24817:2017

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/71677594-1250-4c3b-a915-d2101820260e/iso-24817-2017>



iTeh Standards
(<https://standards.iteh.ai>)
Document Preview

ISO 24817:2017

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/71677594-1250-4c3b-a915-d2101820260e/iso-24817-2017>



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2017

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 Symboles et abréviations	6
4.1 Symboles	6
4.2 Abréviations	9
5 Applications	10
6 Synthèse des principaux facteurs à considérer	12
7 Qualification et conception	14
7.1 Étude de faisabilité d'une réparation	14
7.2 Classe de réparation	15
7.3 Durée de vie théorique de la réparation	15
7.4 Données requises	16
7.4.1 Informations de base	16
7.4.2 Données de conception initiale des équipements	16
7.4.3 Historiques de suivi et de service	16
7.4.4 Données sur les conditions de service	16
7.4.5 Données de qualification du système de réparation	17
7.5 Méthodologie de conception	18
7.5.1 Vue d'ensemble	18
7.5.2 Compatibilité environnementale	20
7.5.3 Effets de la température de calcul	20
7.5.4 Conception basée sur la répartition des charges dans le substrat (défaut de type A)	22
7.5.5 Dimensionnement basé sur les déformations admissibles du composite de réparation (défaut de type A)	24
7.5.6 Conception basée sur les contraintes admissibles de la réparation déterminées par des essais de performance (défaut de type A)	26
7.5.7 Dimensionnement des réparations pour les défauts traversants (défaut de type B)	27
7.5.8 Étendue axiale de la réparation	29
7.5.9 Autres facteurs à prendre en compte pour le dimensionnement	31
7.5.10 Défauts de type enfoncement et/ou griffure	35
7.5.11 Défauts de type érosion	35
7.5.12 Défaut de type délaminage ou cloque	36
7.5.13 Réparation des autres composants	36
7.5.14 Données de sortie de dimensionnement	39
7.6 Re-qualification du système de réparation	40
7.6.1 Vue d'ensemble	40
7.6.2 Pour les réparations de défauts du type A	40
7.6.3 Pour les réparations de défauts du type B	40
8 Installation	40
8.1 Conditions de stockage	40
8.2 Documentation avant application de la réparation	41
8.2.1 Procédure de mise en œuvre	41
8.2.2 Descriptif des travaux	41
8.3 Qualifications des installateurs	42
8.4 Mode opératoire d'installation	42
8.5 Documentation à fournir après réparation	43

8.6	Réparations en charge	44
8.7	Réparation des colliers, composants de canalisations, réservoirs ou appareils à pression.....	45
8.8	Aspects environnementaux.....	45
9	Essais et contrôle	45
9.1	Généralités.....	45
9.2	Défauts admissibles pour le système de réparation.....	46
9.3	Réparation de défauts dans le système de réparation.....	49
9.4	Méthodes d'inspection.....	49
9.5	Suivi du système de réparation et actions correctives en option.....	49
9.5.1	Vue d'ensemble	49
9.5.2	État de la réparation - contrôle visuel.....	49
9.5.3	État du substrat de tube	50
9.5.4	Actions correctives en option	51
9.5.5	Extension (revalidation) de la durée de vie théorique d'une réparation.....	51
9.5.6	Futures modifications.....	52
10	Essais du système	52
11	Mise hors service.....	52
	Annexe A (normative) Fiche de données de calcul	53
	Annexe B (normative) Données de qualification.....	56
	Annexe C (normative) Essai de survie à court terme d'un tronçon de tube	61
	Annexe D (normative) Mesurage de γ_{LCL} pour le calcul des défauts traversants	63
	Annexe E (normative) Mesurage des données d'essais de performances.....	67
	Annexe F (normative) Mesurage de la résilience (tenue à l'impact).....	71
	Annexe G (normative) Mesurage du facteur de dégradation.....	72
	Annexe H (informative) Table de conversion de l'étendue axiale de la réparation.....	74
	Annexe I (normative) Qualification des installateurs.....	76
	Annexe J (informative) Exigences et lignes directrices pour l'installation.....	79
	Annexe K (informative) Facteurs à prendre en compte pour le dimensionnement.....	81
	Annexe L (informative) Gestion de l'intégrité des systèmes composites de réparation de tuyauteries et d'appareils à pression.....	87
	Bibliographie.....	92

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 6, *Systèmes et équipements de traitement*.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition (ISO 24817:2015), qui a fait l'objet d'une révision technique.

La présente version française de l'ISO 24817:2017 correspond à la version anglaise publiée le 2017-08 et corrigée le 2018-01.

Introduction

L'objectif du présent document est de s'assurer que les tuyauteries, conduites de transport, réservoirs et appareils à pression réparés en utilisant des systèmes composites qui sont qualifiés, conçus, installés et contrôlés en utilisant le présent document satisferont aux exigences de performance spécifiées. Les systèmes de réparation sont conçus pour être utilisés dans les industries du pétrole, de la pétrochimie et du gaz naturel, ainsi que dans les applications de services généraux. Les principaux utilisateurs du présent document seront les propriétaires/exploitants d'installations et d'équipements des tuyauteries et des appareils à pression, les maîtres d'œuvre chargés de la conception, de l'installation, du suivi et du contrôle, les sous-traitants chargés de la fourniture du système de réparation, et les organismes de certification.

iTeh Standards
(<https://standards.itih.ai>)
Document Preview

[ISO 24817:2017](https://standards.itih.ai/catalog/standards/iso/71677594-1250-4c3b-a915-d2101820260e/iso-24817-2017)

<https://standards.itih.ai/catalog/standards/iso/71677594-1250-4c3b-a915-d2101820260e/iso-24817-2017>

Industries du pétrole, de la pétrochimie et du gaz naturel — Réparations en matériau composite pour canalisations — Qualification et conception, installation, essai et inspection

1 Domaine d'application

Le présent document spécifie les exigences et les recommandations relatives à la qualification, la conception, l'installation, les essais et le contrôle lors de l'application externe de systèmes de réparation composites à des tuyauteries, conduites de transport, réservoirs et appareils à pression corrodés ou endommagés utilisés dans les industries du pétrole, de la pétrochimie et du gaz naturel.

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 75-3, *Plastiques — Détermination de la température de fléchissement sous charge — Partie 3: Stratifiés thermodurcissables à haute résistance et plastiques renforcés de fibres longues*

ISO 527-1, *Plastiques — Détermination des propriétés en traction — Partie 1: Principes généraux*

ISO 527-4, *Plastiques — Détermination des propriétés en traction — Partie 4: Conditions d'essai pour les composites plastiques renforcés de fibres isotropes et orthotropes*

ISO 868, *Plastiques et ébonite — Détermination de la dureté par pénétration au moyen d'un duromètre (dureté Shore)*

ISO 10952, *Systèmes de canalisations en matières plastiques — Tubes et raccords en plastiques thermodurcissables renforcés de verre (PRV) — Détermination de la résistance à une attaque chimique à l'intérieur d'un tronçon de tube soumis à déflexion*

ISO 11357-2, *Plastiques — Analyse calorimétrique différentielle (DSC) — Partie 2: Détermination de la température de transition vitreuse et de la hauteur de palier de transition vitreuse*

ISO 11359-2, *Plastiques — Analyse thermomécanique (TMA) — Partie 2: Détermination du coefficient de dilatation thermique linéique et de la température de transition vitreuse*

ISO 14692, *Industries du pétrole et du gaz naturel — Canalisations en plastique renforcé de verre (PRV)*

ASTM C581, *Standard Practice for Determining Chemical Resistance of Thermosetting Resins Used in Glass-Reinforced Structures Intended for Liquid Service*

ASTM D543, *Standard Practices for Evaluating the Resistance of Plastics to Chemical Reagents*

ASTM D696, *Standard Test Method for Coefficient of Linear Thermal Expansion of Plastics Between Minus 30°C and 30°C with a Vitreous Silica Dilatometer*

ASTM D1598, *Standard Test Method for Time-to-Failure of Plastic Pipe under Constant Internal Pressure*

ASTM D1599, *Standard Test Method for Resistance to Short-Time Hydraulic Pressure of Plastic Pipe, Tubing, and Fittings*

ASTM D2583, *Standard Test Method for Indentation Hardness of Rigid Plastics by Means of a Barcol Impressor*

ASTM D2992, *Standard Practice for Obtaining Hydrostatic or Pressure Design Basis for Fiberglass (Glass-Fiber-Reinforced Thermosetting-Resin) Pipe and Fittings*

ASTM D3039, *Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials*

ASTM D3165, *Standard Test Method for Strength Properties of Adhesives in Shear by Tension Loading of Single-Lap-Joint Laminated Assemblies*

ASTM D3681, *Standard Test Method for Chemical Resistance of Fiberglass (Glass-Fiber-Reinforced Thermosetting Resin) Pipe in a Deflected Condition*

ASTM D5379, *Standard Test Method for Shear Properties of Composite Materials by the V-Notched Beam Method*

ASTM D6604, *Standard Practice for Glass Transition Temperatures of Hydrocarbon Resins by Differential Scanning Calorimetry*

ASTM E831, *Standard Test Method for Linear Thermal Expansion of Solid Materials by Thermomechanical Analysis*

ASTM E1640, *Standard Test Method for Assignment of the Glass Transition Temperature by Dynamic Mechanical Analysis*

ASTM E2092, *Standard Test Method for Distortion Temperature in Three-Point Bending by Thermomechanical Analysis*

ASTM G8, *Standard Test Methods for Cathodic Disbonding of Pipeline Coatings*

BS 7910, *Guide to methods for assessing the acceptability of flaws in metallic structures*

EN 59, *Méthodes d'essai des matières plastiques — Matières plastiques renforcées de verre — Mesure de la dureté au duromètre Barcol (BS 2782-10, Méthode 1001, Mesure de la dureté au duromètre Barcol)*

EN 1465, *Adhésifs — Détermination de la résistance au cisaillement en traction d'assemblages collés à recouvrement simple*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions 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:

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

3.1 anisotrope

qui présente des propriétés physiques différentes selon la direction considérée

3.2 dureté Barcol

mesurage de la dureté superficielle à l'aide d'une machine d'indentation en surface

3.3 cloque

vide d'air entre les couches d'un composite, apparaissant en surface sous la forme d'une zone surélevée

3.4**composite**

système de résine thermodurcissable renforcé par des fibres

3.5**fissure**

fente s'étendant à travers la paroi du composite (perpendiculairement à la surface) et laissant apparaître une réelle séparation entre les surfaces opposées

3.6**polymériser (ou réticuler)****polymérisation**

solidification d'un système de résine thermodurcissable (polyester ou époxy) par une réaction chimique irréversible

3.7**vitesse de polymérisation**

profil de temps-température qualifié pour générer une T_g ou HDT spécifiée

3.8**défaut de type A**

défaut apparaissant à l'intérieur du substrat, ne traversant pas la paroi et ne devant pas la traverser tout au long de la durée de vie théorique du système de réparation

3.9**défaut de type B**

défaut traversant la paroi ou apparaissant à l'intérieur du substrat lorsque l'épaisseur de paroi subsistant en fin de vie est inférieure à 1 mm

3.10**durée de vie définie**

application effective ou durée de vie nominale de la réparation

3.11**dé laminage**

zone entre le composite de réparation et le substrat qui devrait être assemblée mais où aucune liaison n'existe, ou zone de séparation entre les couches du composite de réparation

3.12**durée de vie théorique**

durée de vie maximale de la réparation appliquée

3.13**analyse calorimétrique différentielle****DSC**

méthode permettant de déterminer la température de transition vitreuse d'une résine thermodurcissable

3.14**zone sèche ou fibre insuffisamment imprégnée/sèche**

zone non imprégnée de résine et laissant apparaître la fibre exposée, à nu

3.15**réparation dimensionnée au cas par cas**

réparation conçue et appliquée dans le cadre d'un processus contrôlé et spécifié de sorte que dans les conditions de la conception, il existe un degré de confiance élevé dans le maintien de l'intégrité de la réparation tout au long de sa durée de vie théorique

3.16**fibre exposée**

zone de fibre non imprégnée de résine qui dépasse du corps de la réparation

3.17

corps étranger

toute substance autre que la fibre de renfort ou d'autres matériaux qui forment une partie du système de réparation

3.18

matériaux de finition

couche finale de matériau pour aider à compacter le composite de réparation (un film polymère ou un tissu, en général)

Note 1 à l'article: Il convient de les ôter entièrement après la polymérisation de la réparation et avant le contrôle de dureté ou la mise en peinture de la réparation.

3.19

température de transition vitreuse

température à laquelle les propriétés physiques d'une résine changent de manière sensible

3.20

durcisseur

composant ajouté à une résine thermodurcissable afin de provoquer sa polymérisation

3.21

température de fléchissement sous charge

HDT

température à laquelle une éprouvette d'essai se déforme d'une ampleur spécifiée sous une charge prescrite

3.22

installateur

personne qualifiée pour mettre en œuvre un système de réparation composite

3.23

matériau de remplissage

matière utilisée pour réparer les imperfections superficielles externes avant l'application du composite

3.24

composite

composite de réparation

partie d'un système de réparation constituée du composite

Note 1 à l'article: La plupart des composites examinés dans le présent document sont constitués de feuilles ou de couches d'enrubannage ou empilées les unes sur les autres. Cette construction empilée forme un stratifié.

3.25

couche

couche individuelle ou enroulement à l'intérieur du composite

3.26

fuite

état de la paroi d'un substrat qui peut mettre en contact le contenu de la canalisation avec le composite de réparation et agir directement sur ce dernier

Note 1 à l'article: Ce terme ne désigne pas un fluide qui s'échappe par un trou ou une brèche dans le substrat.

3.27

charge occasionnelle

charge qui apparaît rarement et sur une courte durée

Note 1 à l'article: Les charges occasionnelles apparaissent généralement moins de 10 fois au cours de la durée de vie du composant et leur durée respective est inférieure à 30 min.

3.28**propriétaire/exploitant**

organisation qui possède ou exploite le substrat à réparer

3.29**piqûre**

trou d'épingle dans la couche de résine superficielle externe, ne se prolongeant pas dans le substrat

3.30**conduite de transport**

tube dont les composants sont soumis aux mêmes conditions de conception que celles utilisées pour transporter les fluides entre les installations

Note 1 à l'article: Les composants incluent par exemple les coudes, les brides et les vannes.

3.31**tuyauterie**

tubes interconnectés soumis à un ou plusieurs ensembles de contraintes de dimensionnement

3.32**canalisation****système de canalisations**

ensembles de composants de canalisation utilisés pour acheminer les fluides dans une installation

Note 1 à l'article: Les composants comprennent le tube, les raccords, les brides, les joints, la boulonnerie et les vannes. Un système de canalisations est souvent au-dessus du sol, mais peut parfois être enterré.

3.33**creux**

sous-épaisseur localisée en surface du composite

3.34**couche**

feuille ou film individuel d'un composite de réparation

3.35**traitement de polymérisation (ou post-cuisson)**

traitement additionnel à température élevée, appliqué après la polymérisation de la résine afin de s'assurer que la température de transition vitreuse requise est atteinte

3.36**mode opératoire d'application pour la qualification**

mode opératoire destiné à appliquer le système de réparation pour les essais de qualification

3.37**température d'essai de qualification**

température à laquelle sont réalisés les essais de qualification du système de réparation

3.38**renfort**

fibre incorporée dans le système de résine

Note 1 à l'article: Les matières de fibre possibles sont l'aramide, le carbone, le verre, les polyesters ou des matériaux similaires. Le renfort accroît les propriétés mécaniques par rapport à la résine de base.

3.39**système de réparation**

système composé du substrat, du matériau composite (de réparation), du matériau de remplissage, de l'adhésif et incluant les méthodes d'installation et de préparation des surfaces utilisées pour la réparation des tuyauteries

3.40

installateur du système de réparation

société qui installe le système de réparation

3.41

fournisseur du système de réparation

société qui conçoit et fournit le système de réparation

3.42

système de résine

tous les composants formant la matrice d'un composite

Note 1 à l'article: Ce terme désigne souvent une résine, un (des) matériau(x) de remplissage, un pigment, des modificateurs de propriétés mécaniques, et un catalyseur ou un durcisseur.

3.43

risque

événement englobant ce qui peut se produire (scénario), sa vraisemblance (probabilité) et son niveau ou degré de dommage (conséquences)

3.44

substrat

surface sur laquelle une réparation est effectuée

Note 1 à l'article: La surface peut faire partie de la tuyauterie, d'un composant de tuyauterie, de la conduite de transport, du réservoir ou de l'appareil à pression.

3.45

superviseur

installateur expérimenté qui est qualifié pour avoir suivi avec succès le stage de formation à la supervision

3.46

dureté Shore

mesurage de la dureté superficielle à l'aide d'une machine d'indentation en surface ou d'un duromètre

3.47

système de résine thermodurcissable

système de résine qui ne peut pas être fondu ou remoulé après la polymérisation

3.48

ride

surface ondulée ou arête distincte apparaissant dans le composite à l'endroit où le tissu de renfort s'est plissé au cours de l'application

4 Symboles et abréviations

4.1 Symboles

α_s	Coefficient de dilatation thermique du substrat
α_c	Coefficient de dilatation thermique du composite de réparation dans la direction circonférentielle ou axiale
c	Longueur de fissure
D	Diamètre externe initial
D_b	Diamètre externe initial de l'embranchement, du té ou de la tubulure

d	Diamètre (ou diamètre du cercle équivalent) du défaut traversant
ΔT	Différence entre les températures de service et d'installation
E_c	Module de traction du composite dans la direction circonférentielle
E_a	Module de traction du composite dans la direction axiale
E_{ac}	Module de traction combiné $\sqrt{E_a E_c}$
E_s	Module de traction du substrat
ε_c	Déformation circonférentielle théorique
ε_{c0}	Déformation circonférentielle admissible
ε_a	Déformation axiale théorique
ε_{a0}	Déformation axiale admissible
σ_{lt}	Limite de confiance inférieure de la déformation à long terme déterminée par les essais de performance
ε_t	Déformation thermique
ε_{ct}	Déformation à court terme engendrant une défaillance du composite
F_{ax}	Charge axiale appliquée
$F_{\text{éq}}$	Charge axiale équivalente
F_{cis}	Charge de cisaillement appliquée
f_c	Facteur de service associé à la fatigue cyclique
f_D	Facteur de dégradation pour les performances à long terme des réparations des défauts traversants
f_{fuites}	Facteur de service associé aux réparations des défauts traversants
f_{perf}	Facteur de service associé aux résultats de performance
$f_{\text{ép.recouvr}}$	Coefficient multiplicateur de l'épaisseur de la réparation en cas de réduction de la longueur d'enrubannage disponible
$f_{\text{ép.contr}}$	Coefficient multiplicateur de l'épaisseur de la réparation du système de canalisations ou du composant d'appareil à pression
f_{T1}	Facteur de réduction de température pour les déformations admissibles des composites
f_{T2}	Facteur de réduction de température pour la conception de la réparation des défauts traversants
ϕ	Angle d'ouverture de la fente axiale
G	Module de cisaillement du paramètre de résilience γ (taux de libération d'énergie) pour le composite, interface d'acier
γ_{sol}	Poids spécifique du sol
h	Profondeur d'enfouissement

I	Second moment d'inertie de la section
l	Longueur axiale totale de la réparation
l_{dispo}	Zone de pose disponible (étendue axiale) du substrat intact
l_{axiale}	Étendue axiale de la réparation, de part et d'autre du défaut, à l'épaisseur calculée de réparation
$l_{\text{défaut}}$	Longueur axiale du défaut
$l_{\text{chanfrein}}$	Longueur axiale du chanfrein de la réparation
N	Nombre de cycles
M_{ax}	Moment axial appliqué
M_{to}	Moment de torsion appliqué
n	Nombre d'épaisseurs ou de couches ou de composites de réparation
p	Pression de calcul interne requise
$p_{\text{post-rép}}$	Pression interne après application du système de réparation
p_e	Pression de calcul externe
$p_{\text{éq}}$	Pression de calcul équivalente
$p_{\text{ext,sol}}$	Pression externe du sol
$p_{\text{rép}}$	Pression interne dans le substrat pendant l'application de la réparation
p_{min}	Charge (ou contrainte) minimale (pression interne) du cycle de charge
p_{max}	Charge (ou contrainte) maximale (pression interne) du cycle de charge
p_{hpmt}	Pression d'essai hydrostatique à moyen terme
p_s	Pression de service maximale admissible (MAWP)
p_{hpct}	Pression d'essai hydrostatique à court terme
p_0	Pression d'essai initiale
p_1	Augmentation linéaire fixe de la pression d'essai
q	Contrainte de traction
R_c	Sévérité des chargements cycliques, définie par: $R_c = \frac{p_{\text{min}}}{p_{\text{max}}}$
s	Contrainte admissible du matériau de substrat
s_a	Limite d'élasticité mesurée du substrat ou limite d'élasticité de certification d'usine
T_d	Température de calcul requise
T_g	température de transition vitreuse
T_m	Température de service maximale du système de réparation