
**Bouteilles à gaz composites —
Spécifications et méthodes d'essai —**

Partie 3:

**Bouteilles à gaz composites entièrement
bobinées renforcées par des liners
métalliques ou des liners non métalliques
ne transmettant pas la charge**

(standards.iteh.ai)

*Gas cylinders of composite construction — Specification and test
methods —*

ISO 11119-3:2002

<https://standards.iteh.ai/en/standards/ISO/11119-3:2002> Part 3: Fully wrapped fibre reinforced composite gas cylinders with non-
load-sharing metallic or non-metallic liners



PDF – Exonération de responsabilité

Le présent fichier PDF peut contenir des polices de caractères intégrées. Conformément aux conditions de licence d'Adobe, ce fichier peut être imprimé ou visualisé, mais ne doit pas être modifié à moins que l'ordinateur employé à cet effet ne bénéficie d'une licence autorisant l'utilisation de ces polices et que celles-ci y soient installées. Lors du téléchargement de ce fichier, les parties concernées acceptent de fait la responsabilité de ne pas enfreindre les conditions de licence d'Adobe. Le Secrétariat central de l'ISO décline toute responsabilité en la matière.

Adobe est une marque déposée d'Adobe Systems Incorporated.

Les détails relatifs aux produits logiciels utilisés pour la création du présent fichier PDF sont disponibles dans la rubrique General Info du fichier; les paramètres de création PDF ont été optimisés pour l'impression. Toutes les mesures ont été prises pour garantir l'exploitation de ce fichier par les comités membres de l'ISO. Dans le cas peu probable où surviendrait un problème d'utilisation, veuillez en informer le Secrétariat central à l'adresse donnée ci-dessous.

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO 11119-3:2002](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/c48064e3-5ac8-4120-a5d5-340a18f57184/iso-11119-3-2002)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/c48064e3-5ac8-4120-a5d5-340a18f57184/iso-11119-3-2002>

© ISO 2002

Droits de reproduction réservés. Sauf prescription différente, 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 et les microfilms, sans l'accord écrit de l'ISO à l'adresse ci-après ou du comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office
Case postale 56 • CH-1211 Geneva 20
Tel. + 41 22 749 01 11
Fax. + 41 22 749 09 47
E-mail copyright@iso.org
Web www.iso.org

Version française parue en 2003

Publié en Suisse

Sommaire

Page

Avant-propos	iv
Introduction	v
1 Domaine d'application	1
2 Références normatives	2
3 Termes et définitions	2
4 Symboles	4
5 Contrôle et essais	4
6 Matériaux	5
6.1 Matériaux des liners	5
6.2 Matériaux composites	5
7 Conception et fabrication	5
7.1 Généralités	5
7.2 Dossier soumettant le prototype	6
7.3 Fabrication	8
8 Procédure d'approbation de prototype	8
8.1 Exigences générales	8
8.2 Essais de prototype	8
8.3 Nouvelle conception	9
8.4 Variantes de conception	10
8.5 Mode opératoire et critères d'essais d'homologation	13
8.6 Non-satisfaction aux essais de qualification	27
9 Contrôle et essai des lots	27
9.1 Liner	27
9.2 Non-satisfaction aux essais de lots de liners	28
9.3 Matériaux de l'enveloppe	28
9.4 Bouteille en matériau composite	28
9.5 Non-satisfaction à la qualification ou aux essais de lot	29
10 Marquage de la bouteille	30
10.1 Généralités	30
10.2 Inscriptions complémentaires	30
Annexe A (informative) Exemples de certificats d'approbation de modèle	31
Annexe B (informative) Rapports d'essai relatifs aux éprouvettes	32
Bibliographie	35

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 (CEI) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les Normes internationales sont rédigées conformément aux règles données dans les Directives ISO/CEI, Partie 3.

La tâche principale des comités techniques est d'élaborer les Normes internationales. Les projets de Normes internationales adoptés par les comités techniques sont soumis aux comités membres pour vote. Leur publication comme Normes internationales requiert l'approbation de 75 % au moins des comités membres votants.

L'attention est appelée sur le fait que certains des éléments de la présente partie de l'ISO 11119 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.

L'ISO 11119-3 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 58, *Bouteilles à gaz*, sous-comité SC 3, *Construction des bouteilles*.

L'ISO 11119 comprend les parties suivantes, présentées sous le titre général *Bouteilles à gaz composites — Spécifications et méthodes d'essai*:

- *Partie 1: Bouteilles à gaz frettées en matériau composite*
- *Partie 2: Bouteilles à gaz composites entièrement bobinées renforcées par des liners métalliques transmettant la charge*
- *Partie 3: Bouteilles à gaz composites entièrement bobinées renforcées par des liners métalliques ou des liners non métalliques ne transmettant pas la charge*

Les annexes A et B de la présente partie de l'ISO 11119 sont données uniquement à titre d'information.

Introduction

La présente Norme Internationale a pour objet de présenter une spécification sur la conception, la fabrication, le contrôle et les essais d'une bouteille à usage international. Son objectif est d'équilibrer l'efficacité conceptuelle et économique par rapport aux critères d'acceptation internationaux et d'utilité universelle.

La présente partie de l'ISO 11119 vise à faire abstraction du climat, des contrôles redondants et des restrictions de règles existant actuellement du fait de l'absence de Normes internationales reconnues. Il convient de ne pas considérer la présente Norme internationale comme le reflet des pratiques d'une nation ou d'une région quelconque.

iTeh STANDARD PREVIEW (standards.iteh.ai)

ISO 11119-3:2002

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/c48064e3-5ac8-4120-a5d5-340a18f57184/iso-11119-3-2002>

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 11119-3:2002

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/c48064e3-5ac8-4120-a5d5-340a18f57184/iso-11119-3-2002>

Bouteilles à gaz composites — Spécifications et méthodes d'essai —

Partie 3:

Bouteilles à gaz composites entièrement bobinées renforcées par des liners métalliques ou des liners non métalliques ne transmettant pas la charge

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale spécifie les exigences concernant les bouteilles à gaz composites, d'une contenance en eau inférieure ou égale à 450 l pour le stockage et le transport de gaz comprimés ou liquéfiés à des pressions d'essai inférieures ou égales à 650 bar¹⁾.

La présente partie de l'ISO 11119 s'applique aux

- a) Bouteilles entièrement bobinées, en matériau composite, avec un liner métallique ou non métallique ne transmettant pas la charge (c'est-à-dire un liner qui ne participe pas à la répartition de la charge s'exerçant sur la totalité de la bouteille), d'une durée de vie allant de 10 ans à une période illimitée. Afin que les bouteilles ayant une durée de vie à la conception supérieure à 15 ans puissent rester en circulation au-delà de cette limite, il est recommandé de les soumettre à une requalification.

Les bouteilles sont constituées d'un liner enrobé de fibre de carbone, de fibre d'aramide ou de fibre de verre (ou d'un mélange de ces matériaux) contenu dans une matrice en résine pour obtenir un renfort longitudinal ou circonférentiel.

- b) Bouteilles composites sans liner (y compris les bouteilles sans liner fabriquées en deux parties assemblées) ayant une pression d'épreuve inférieure à 60 bar. Afin que les bouteilles ayant une durée de vie à la conception supérieure à 15 ans puissent rester en circulation au-delà de cette limite, il est recommandé de les soumettre à une requalification.

Les bouteilles sont construites

- 1) par enroulement autour d'un mandrin jetable de fibres de carbone, d'aramide ou de verre (ou d'un mélange de ces fibres) enrobées dans une matrice de résine assurant le renfort longitudinal et circonférentiel;
- 2) par assemblage de deux coques à enroulement filamentaire.

L'ISO 11439 s'applique aux bouteilles destinées à être utilisées comme réservoirs à carburant sur les véhicules fonctionnant au gaz naturel.

L'ISO 11623 traite du contrôle périodique et des réépreuves des bouteilles composites.

1) 1 bar = 10⁵ Pa.

La présente partie de l'ISO 11119 ne concerne pas la conception, l'assemblage ou les performances des manchons de protection amovibles. Lorsque ceux-ci sont assemblés, il convient de les considérer séparément.

2 Références normatives

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente partie de l'ISO 11119. Pour les références datées, les amendements ultérieurs ou les révisions de ces publications ne s'appliquent pas. Toutefois, les parties prenantes aux accords fondés sur la présente partie de l'ISO 11119 sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des documents normatifs indiqués ci-après. Pour les références non datées, la dernière édition du document normatif en référence s'applique. Les membres de l'ISO et de la CEI possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

ISO 527-1:1993, *Plastiques — Détermination des propriétés en traction — Partie 1: Principes généraux*

ISO 527-2:1993, *Plastiques — Détermination des propriétés en traction — Partie 2: Conditions d'essai des plastiques pour moulage et extrusion*

ISO 6506-1:1999, *Matériaux métalliques — Essai de dureté Brinell — Partie 1: Méthode d'essai*

ISO 6508-1:1999, *Matériaux métalliques — Essai de dureté Rockwell — Partie 1: Méthode d'essai (échelles A, B, C, D, E, F, G, H, K, N, T)*

ISO 6892:1998, *Matériaux métalliques — Essai de traction à température ambiante*

ISO 7225:1994, *Bouteilles à gaz — Étiquettes de risque*

ISO 11114-1:1997, *Bouteilles à gaz transportables — Compatibilité des matériaux des bouteilles et des robinets avec les contenus gazeux — Partie 1: Matériaux métalliques*

ISO 11114-2:2000, *Bouteilles à gaz transportables — Compatibilité des matériaux des bouteilles et des robinets avec les contenus gazeux — Partie 2: Matériaux non métalliques*

ISO 11439:2000, *Bouteilles à gaz — Bouteilles haute pression pour le stockage de gaz naturel utilisé comme carburant à bord des véhicules automobiles*

ISO 13341:1997, *Bouteilles à gaz transportables — Montage des robinets sur les bouteilles à gaz*

ISO 13769:2002, *Bouteilles à gaz — Marquage*

ASTM D 2343-95, *Standard Test Method for Tensile Properties of Glass Fiber Strands, Yarns and Rovings Used in Reinforced Plastics*

ASTM D 4018-99, *Standard Test Methods for Properties of Continuous Filament Carbon and Graphite Fiber Tows*

SACMA SRM 16R-94, *Recommended Test Method for Tow Tensile Testing of Carbon Fibers*

3 Termes et définitions

Pour les besoins de la présente partie de l'ISO 11119, les termes et définitions suivants s'appliquent.

3.1

fibres d'aramide

filaments continus d'aramide disposés sous forme de filasse, utilisés comme renfort

3.2**lot**

terme collectif désignant un ensemble homogène d'articles ou de matériaux

NOTE Le nombre d'unités d'un lot peut varier selon le contexte d'utilisation du terme.

3.3**lot de liners métalliques**

ensemble de liners de diamètre nominal, de longueur, d'épaisseur et de conception identiques, provenant de la même coulée de matériau et ayant subi le même traitement thermique dans des conditions de température et de durée identiques

3.4**lot de liners non métalliques**

ensemble de liners de diamètre nominal, de longueur, d'épaisseur et de conception identiques, provenant du même lot de matériaux et ayant subi le même procédé de fabrication

3.5**lot de bouteilles finies**

ensemble de fabrication constitué au maximum de 200 bouteilles finies (plus les bouteilles finies requises pour les essais destructifs), de diamètre nominal, de longueur, d'épaisseur et de conception identiques

NOTE Le lot de bouteilles finies peut contenir différents lots de liners, de fibres et de matériaux de matrice.

3.6**pression de rupture**

pression maximale obtenue à l'intérieur d'une bouteille au cours d'un essai de rupture

3.7**fibre de carbone**

filaments continus de carbone disposés sous forme de filasse, employés comme renfort

3.8**enveloppe composite**

combinaison de fibres et d'une matrice

3.9**service de gaz spécialisé**

utilisation d'une bouteille dédiée à un ou à des gaz spécifiques

3.10**fibre équivalente**

fibre fabriquée à partir du même matériau brut, par le même procédé de fabrication, ayant la même structure et les mêmes propriétés nominales physiques, et dont la résistance moyenne à la traction et le module correspondent à $\pm 5\%$ aux propriétés de la fibre utilisée dans une conception de bouteille approuvée

NOTE Les fibres de carbone faites avec le même prototype peuvent être équivalentes, mais les fibres d'aramide, les fibres de carbone et les fibres de verre ne sont pas équivalentes.

3.11**liner équivalent**

liner équivalent au liner d'une bouteille préalablement soumise à un essai de prototype et qui peut être

- de même conception que le prototype essayé, sauf qu'il est fabriqué dans une usine différente;
- de même conception que le prototype essayé, sauf qu'il est fabriqué selon un procédé très différent de celui utilisé pour le prototype essayé;
- de même conception que le prototype essayé, sauf qu'il a reçu un traitement thermique en dehors des limites spécifiées pour le prototype essayé

3.12

revêtement extérieur

couches de matériaux appliquées sur la bouteille comme protection ou dans un but esthétique

NOTE Le revêtement peut être clair ou pigmenté.

3.13

bouteille entièrement bobinée

bouteille renforcée par des fibres dans une matrice en résine permettant de supporter des contraintes aussi bien longitudinales que circonférentielles

3.14

fibre de verre

filaments de verre continus, disposés sous forme de filasse, utilisés comme renfort

3.15

liner

partie interne de la bouteille composite, constituée d'un récipient métallique ou non métallique et destinée à contenir le gaz et à transmettre la pression du gaz aux fibres

3.16

matrice

matériau utilisé pour lier et maintenir les fibres en place

3.17

liner ne transmettant pas la charge

liner ayant une pression de rupture inférieure à 5 % de la pression de rupture nominale de la bouteille composite finie

ITeH STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

4 Symboles

Voir le Tableau 1.

ISO 11119-3:2002
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/c48064e3-5ac8-4120-a5d5-340a18f57184/iso-11119-3-2002>

Tableau 1 — Les symboles et leurs désignations

Symbole	Désignation	Unité
p_b	Pression de rupture de la bouteille finie	bar
p_h	Pression d'épreuve	bar
p_{max}	Pression maximale développée à 65 °C	bar
p_w	Pression de travail	bar

5 Contrôle et essais

L'évaluation de la conformité doit être effectuée en accord avec les règlements en vigueur des pays dans lesquels les bouteilles sont utilisées.

Afin que les bouteilles soient conformes à la présente partie de l'ISO 11119, elles doivent être contrôlées et soumises à des essais effectués conformément aux articles 6, 7, 8 et 9 par un organisme de contrôle agréé (ci-après dénommé «contrôleur») reconnu dans les pays d'utilisation. Ce contrôleur doit être habilité pour le contrôle des bouteilles.

6 Matériaux

6.1 Matériaux des liners

6.1.1 Les liners (y compris les bossages métalliques) doivent être fabriqués dans un matériau compatible avec le gaz à contenir. Voir ISO 11114-1 et ISO 11114-2. De plus, les matériaux de liner doivent être évalués par le fabricant et approuvés par le contrôleur comme étant adaptés à l'application spécifique. Les bossages métalliques attachés à un liner non métallique doivent satisfaire aux exigences requises dans la présente partie de l'ISO 11119.

6.1.2 Les matériaux utilisés doivent être de qualité uniforme et constante. Le fabricant des bouteilles en matériau composite doit vérifier que chaque nouveau lot de matériaux possède les propriétés voulues et est de qualité satisfaisante. Il doit tenir les registres à partir desquels il est possible d'identifier le lot de matériaux utilisés pour la fabrication de chaque bouteille. Un certificat de conformité délivré par le fabricant de matériau du liner est considéré comme acceptable dans le cadre du contrôle.

6.2 Matériaux composites

6.2.1 Les matériaux des filaments de l'enveloppe doivent être en fibres de carbone, d'aramide ou de verre ou un mélange de ces matériaux.

6.2.2 La matrice en résine et, dans le cas de bouteilles en deux parties, l'adhésif doivent être un polymère adapté à l'application, à l'environnement et à la durée de vie prévue du produit, par exemple un époxy ou un époxy modifié par un agent durcisseur à l'amine ou à l'anhydride, des esters de vinyle et des polyesters.

6.2.3 Les fournisseurs du matériau du filament, du constituant de la matrice en résine et, le cas échéant, du matériau constitutif de l'adhésif doivent mettre à la disposition du fabricant de bouteilles composites une documentation suffisamment complète pour qu'il soit en mesure d'identifier entièrement le lot des matériaux utilisés pour la fabrication de chaque bouteille.

6.2.4 Les matériaux utilisés doivent être de qualité uniforme et logique. Le fabricant des bouteilles composites doit vérifier que chaque nouveau lot de matériaux possède les propriétés voulues et qu'il est de qualité satisfaisante. De plus, il doit tenir des registres à partir desquels il est possible d'identifier le lot des matériaux utilisés pour la fabrication de chaque bouteille. Un certificat de conformité délivré par le fabricant du matériau est considéré comme acceptable dans le cadre du contrôle.

6.2.5 Les lots des matériaux doivent être identifiés et leur traçabilité doit être trouvée à la demande du contrôleur.

6.2.6 Le fabricant doit s'assurer qu'il n'y a aucune réaction défavorable entre le liner et la fibre de renforcement par application d'un revêtement de protection adapté sur le liner, avant de procéder à l'enroulement (si nécessaire).

7 Conception et fabrication

7.1 Généralités

7.1.1 Une bouteille à gaz composite entièrement bobinée avec un liner métallique ou un liner non métallique ne transmettant pas la charge ou sans liner doit comporter les parties suivantes:

- pour les bouteilles avec un liner, un liner métallique ou non métallique interne ne transmettant aucune charge significative;
- un (des) bossage(s) métallique(s) pour les raccords filetés, lorsque cela est prévu dans la conception;

- une enveloppe composite constituée de couches de fibres continues dans une matrice; si aucun liner n'est utilisé, cette enveloppe peut être constituée de deux parties réunies ultérieurement;
- un revêtement extérieur facultatif conférant une protection externe; ce revêtement doit être permanent lorsqu'il fait partie intégrante de la conception.

NOTE La bouteille peut également inclure des pièces complémentaires telles que bagues, socles, etc.

7.1.2 Les bouteilles peuvent être conçues avec une ou deux ouvertures le long de l'axe central uniquement. Des filetages cylindriques doivent se prolonger complètement dans la collerette ou avoir suffisamment de filets pour permettre un engagement total du robinet.

7.1.3 La bouteille composite doit être certifiée par le contrôleur. Ce dernier doit garantir que la conception, la fabrication, le contrôle et les essais ont été exécutés conformément à la présente partie de l'ISO 11119. Des exemples de certificats sont présentés à titre d'exemple dans les annexes A et B.

7.1.4 Les bouteilles doivent être conçues pour garantir une fiabilité élevée dans des conditions de charges de longue durée et sous effort cyclique. Par conséquent, il est nécessaire de tenir compte des propriétés des différentes fibres composites et d'établir leur taux minimal de contrainte par fibre.

Le taux de contrainte de la fibre se définit comme le rapport de la contrainte qui s'exerce dans la fibre à la pression de rupture minimale de conception calculée à celle qui s'exerce aux 2/3 de la pression d'épreuve.

Les taux minimaux de contrainte des fibres doivent être les suivants:

- pour le verre: 3,4
- pour l'aramide: 3,1
- pour le carbone: 2,4

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO 11119-3:2002](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/c48064e3-5ac8-4120-a5d5-340286571678/ISO-11119-3-2002)

7.1.5 Les bouteilles sans liner fabriquées par l'assemblage de deux parties séparées doivent être conformes aux exigences de conception minimales suivantes:

- l'angle de ligne de jointage doit être inférieur à 10°;
- l'épaisseur de l'adhésif doit être inférieure à 0,25 mm;
- la longueur (largeur) du joint adhésif doit être égale ou supérieure à 10 fois l'épaisseur minimale de paroi de la partie cylindrique de la bouteille.

7.2 Dossier soumettant le prototype

7.2.1 Pour chaque nouveau prototype de bouteille, le dossier doit inclure un schéma détaillé et la documentation relative au prototype comprenant l'analyse des contraintes, les renseignements concernant la fabrication et le contrôle, comme détaillé en 7.2.2, en 7.2.3, en 7.2.4 et en 7.2.5.

7.2.2 La documentation relative au liner et au(x) bossage(s) métallique(s) doit inclure:

- le(s) matériau(x), y compris les limites de l'analyse chimique;
- les dimensions, l'épaisseur minimale et les tolérances de rectitude et d'ovalisation;
- le procédé et la spécification de fabrication;
- le traitement thermique, les températures, la durée et les tolérances;
- les modes opératoires de contrôle (exigences minimales);

- f) les propriétés du matériau;
- g) les détails dimensionnels des filetages de robinet et toutes les autres caractéristiques permanentes;
- h) la méthode d'étanchéité du bossage au liner pour les bossages collés.

7.2.3 La documentation relative à l'enveloppe composite doit inclure:

- a) le matériau constitutif des fibres, la spécification et les exigences en matière de propriétés mécaniques;
- b) la construction des fibres, la géométrie des brins et le traitement;
- c) le système de résine, les principaux composants et la température du bain de résine le cas échéant;
- d) le système de résine, l'agent de traitement, les matériaux et les spécifications le cas échéant;
- e) le système de résine, l'accélérateur, les matériaux et les spécifications le cas échéant;
- f) la construction de l'enveloppe y compris le nombre de brins employés et le détail des précontraintes le cas échéant;
- g) la méthode de traitement, les températures, la durée et les tolérances;
- h) le système adhésif, les principaux composants et les spécifications le cas échéant;
- i) le système adhésif, l'agent de traitement, les matériaux et les spécifications le cas échéant;
- j) le système adhésif, l'accélérateur, les matériaux et les spécifications le cas échéant;
- k) les dimensions du joint adhésif (la longueur, l'angle de jointage et l'épaisseur de l'adhésif) pour les bouteilles sans liner faites de deux coques assemblées.

7.2.4 La documentation des bouteilles en matériau composite doit inclure:

- a) la contenance en eau, exprimée en litres;
- b) la liste des contenus prévus dans les cas de bouteilles dédiées à un service de gaz spécialisé;
- c) la pression d'épreuve, p_T , de la bouteille composite;
- d) la pression de travail, p_W (le cas échéant) qui ne doit pas dépasser les 2/3 de la pression d'épreuve;
- e) la pression maximale développée à 65 °C dans le cas de bouteilles dédiées à des gaz spécialisés, p_{max} ;
- f) la pression de rupture minimale de conception (voir 8.5.3.2);
- g) la mise en tension de la fibre lors de l'enroulement filamentaire (le cas échéant);
- h) la durée de vie théorique en années;
- i) la méthode d'étanchéité du bossage pour les bouteilles sans liner (le cas échéant).

7.2.5 L'analyse des contraintes doit être exécutée et la documentation fournie conformément à ce qui suit.

Les contraintes dans le ou les matériaux en composite et dans le liner doivent être calculées d'après une analyse appropriée des contraintes, selon la méthode des éléments finis, ou en utilisant d'autres programmes d'analyse des contraintes qui tiennent compte du comportement non linéaire du matériau du liner. Les épaisseurs et propriétés nominales des matériaux respectifs doivent être prises en compte pour les calculs.