



Compensateurs de Dilatation – Guide d’Ingénierie

Compensateurs Textiles pour Gaines et Canalisations

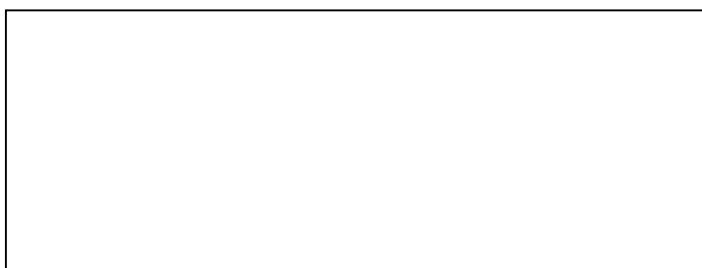
Publication ESA N° 011/01

Janvier 2001

Compensateurs de Dilatation – Guide d’Ingénierie

Compensateurs Textiles pour Gaines et Canalisations

Ce document a été diffusé par :



Ce document est régi par le copyright © de European Sealing Association (ESA)

Tout droits réservés

Les membres de l’ESA peuvent faire des copies de ce document si cela est nécessaire ;.

Aucune partie de ce document ne pourra être reproduit ou copié sous quelque forme que ce soit par des non-Membres sans la permission écrite préalable de l’ESA.

European Sealing Association
Bowerham House
The Grove
Lancaster LA1 3AL
United Kingdom
☎: +44 1524 844 222
☎: +44 1524 844 222
www.europeansealing.com

Ce document est publié par « **European Sealing Association (ESA)** » parrainé et financé par la division de L'ESA concernant les compensateurs de dilatation et pour moitié par les membres de l'Association.

L'**European Sealing Association (ESA)** a été créée en 1992 sous la forme d'une association sans but lucratif, et représente maintenant plus de 85 % de l'industrie de l'étanchéité en Europe. Les entreprises membres opèrent dans la fabrication, la commercialisation et l'utilisation de matériaux d'étanchéité, composants cruciaux dans le contrôle sécurisé des fluides durant les procédés de fabrication et leur utilisation.

Les principaux fabricants se sont associés pour former la Division, Compensateurs de Dilatation, de l'ESA ; ceci dans le but de mieux servir l'industrie et pour développer la technologie d'une façon appropriée dans les domaines d'applications de ces produits. Pour être Membre de la division il faut avoir :

- une bonne expérience professionnelle dans l'industrie (comprenant l'exploitation d'au moins 3 années sous la même identité)
- de bonnes procédures commerciales et une bonne éthique de gestion
- la certification ISO 9000 ou avoir un programme d'assurance qualité équivalent
- obtenu au moins 75 % des votes d'appui des autres membres de la Division

Tous les membres de la Division Compensateurs de Dilatation s'engagent à travailler selon les principes et conditions indiquées dans ce *Guide d'Ingénierie*. Pour obtenir une mise à jour de la liste des membres de la Division de l'ESA concernant les compensateurs de Dilatation, nous vous prions de consulter la page correspondante sur le site Internet www.eurosealing.com (La page de la Division se trouve sous « **Organisation** » puis sous « **Divisions** »).

Remerciements

L'ESA remercie pour leur participation, les Sociétés Membres et d'autres pour la rédaction de ce document. Sans leur soutien ce document n'aurait pas pu voir le jour. Les personnalités qui ont apporté une contribution importante à ce document sont :

Phil Cope	Isolated Systems Ltd
Derek Davidson	James Walker & Co Ltd
Brian S Ellis	European Sealing Association
Bill Evans	Townson Ltd
Hans V Hansen	KE-Burgmann A/S
Mogens Lindholm Hansen	LBH International A/S
Volker Heid	Kempchen & Co GmbH
Mike Ingle	KE-Burgmann A/S
Harald Poppke	Garlock GmbH, Sealing Technologies
Stefan Puchtler	Frenzelit Werke GmbH & Co. KG
Adrian Wakefield	James Walker & Co Ltd

L'ESA remercie spécialement Ben Foulkes (James Walker & Co Ltd) pour avoir fourni tous les diagrammes utilisés dans cette publication. L'ESA est reconnaissant de la collaboration de la Fluid Sealing Association (FSA) et de la RAL Quality Assurance Association au développement de cette publication. Plus particulièrement certaines sections de ce guide ont été adaptées à partir de publications plus anciennes de la FSA et RAL dont les connaissances ont été précieuses. La plupart des défis liés à la technologie de l'étanchéité sont mondiales et ceci est reflété par l'étroite collaboration avec ces organismes.

The Fluid Sealing Association (FSA) est une association de commerce international, fondée en 1933. Ces membres sont impliqués dans la production et la vente de pratiquement chaque type de joints d'étanchéité pour fluides disponible aujourd'hui. Un certain nombre de sociétés Européennes, d'Amérique Centrale et du Sud sont adhérent de la FSA, toutefois la plus fortes concentration de membres est en Amérique du Nord. Les membres de FSA représentent presque 90% de la capacité de production de joints d'étanchéités pour fluides du marché de la NASFTA.

La « **RAL Quality Assurance Association** » a été fondé en Allemagne en 1990 comme "RAL Gütegemeinschaft", signifiant que la marque de qualité est officiellement reconnue par les organismes gouvernementaux et non gouvernementaux impliqués dans la fabrication des compensateurs de dilatation non métallique. La marque de qualité RAL est basée sur un système de contrôle par des tiers, soutenu par un système de qualité certifié selon ISO 9000, pour garantir la qualité de la marque de qualité RAL dans chaque étape de la fabrication. Les activités principales incluent :

- entretien et, si possible, amélioration du standard de qualité de la marque de qualité de RAL selon les règles de l'art et prenant compte des dernières technologies
- création et révision d'information technique afin de fournir des réponses compétentes aux questions cruciales des utilisateurs des compensateurs de dilatation non métallique

Cette publication est prévue pour fournir des informations pour des conseils seulement. L'European Sealing Association a fait des efforts important de s'assurer que les recommandations sont techniquement valables, mais ne justifie pas, expressément ou implicitement, l'exactitude ou l'intégralité de l'information, l'association n'assume pas n'importe quelle responsabilité résultant de la confiance sur n'importe quel détail contenu ci-dessus. Toutefois les lecteurs doivent s'assurer que les produits et les procédures conviennent à leur application spécifique en se référant au fabricant. En outre, le document n'essaye pas d'imposer des conditions de conformité à des règlements spécifiques pour un équipement industriel particulier. Les lecteurs devraient consulter des autorités appropriées locales, régionales, d'état, nationales ou fédérales pour les problèmes précis de conformité.

Table des Matières

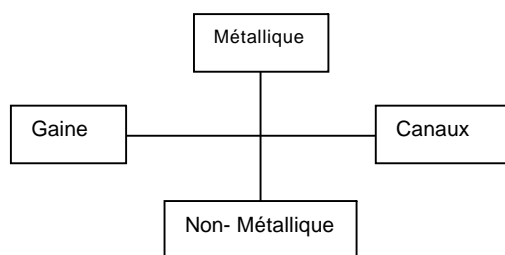
1. Introduction	4
1.1 Définition générale	4
1.2 Compensateurs de dilatation textile	5
1.3 Centre d'intérêt de ce guide	6
1.4 Information générale concernant la Législation de l'Environnement	7
2. Définition des Produits et de la Technologie	8
2.1 Applications Industrielles	8
2.2 Technologie des Compensateurs Textiles	8
3. Construction et configuration des Compensateurs Textiles	9
3.1 Construction	9
3.2 Types de Fixations des Compensateurs Textiles	9
3.3 Élément souple du Compensateur Textile	11
4. Les Composants des Compensateurs Textiles	12
4.1 Composants Majeurs	12
4.2 Autres composants Importants	13
5. Critères de Conception et de Sélection	21
5.1 Conditions Ambiantes	21
5.2 Directives de Boulonnage pour les Compensateurs Textiles Boulonnés	21
5.3 Chargement en Poussière et Vitesse d'Écoulement	22
5.4 Calcul par Éléments Finis	22
5.5 Fuites	22
5.6 Teneur en Humidité, Condensation et Lavage	23
5.7 Déplacement	23
5.8 Bruit	25
5.9 Pression – Pressions Pulsées et Battement(Flottement)	25
5.10 Température	25
5.11 Tolérances	27
6. Matériaux	28
6.1 Élastomères, Plastiques et Polymères Fluorés	28
6.2 Matériaux pour Couches Porteuses, d'Isolation, de Barrière Chimique et Protection Externe	29
6.3 Essai des matériaux	30
7. Salubrité et Sécurité	31
8. Transport, Stockage, Manipulation et montage, Directives après Montage	32
8.1 Emballage	32
8.2 Transport	32
8.3 Stockage	32
8.4 Pré-vérifications avant l'Installation	33
8.5 Manipulations Avant et Lors de l'Installation	33
8.6 Après Installation	33
9. Assurance Qualité	34
9.1 Identification et Contrôle des Matières	34
9.2 Contrôle des Plans et des Documents	34
9.3 Procédés de Fabrication et Contrôles Associés	34
9.4 Inspection, Essais et Documentation	34
9.5 Contrôle Final et Préparation pour Expédition	35
10. Garantie et Responsabilités	36
10.1 Début de la Période de Garantie	36
10.2 Réclamations sous Garantie	36
10.3 Garantie Étendue	36
11. Étanchéité aux Fumées et Étanchéité au Nekal (à la Bulle de Savon)	37
11.1 Compensateurs Textiles étanches à la Fumée	37
11.2 Étanchéité au « Nekal » - à la Bulle de Savon	37
12. Glossaire	38
13. Facteurs de Conversion	43
13.1 Unités SI	43
13.2 Multiples d'Unités SI	43
13.3 Unités communément employées dans les Compensateurs Textiles	44
13.4 Facteurs de conversions (Unités SI)	45
14. Bibliographie	48

1. Introduction

Ce manuel a été rédigé pour être utilisé par les concepteurs, les constructeurs d'unités industrielles, les exploitants d'unités industrielles, leur service entretien, les fabricants des équipements originaux et tous ceux qui sont confrontés à l'utilisation de compensateurs textiles. Le but de cette publication est d'apporter des solutions techniques et originales aux ingénieurs qui sont confrontés à l'utilisation des compensateurs textiles. Les précisions suivantes sont apportées au lecteur :

- **une meilleure compréhension des compensateurs textiles**
- **une évaluation des différentes possibilités d'utilisation des compensateurs textiles**
- **des règles précises à respecter dans l'utilisation des compensateurs textiles** pour garantir une bonne tenue des compensateurs textiles dans les conditions de service.

Ce manuel décrit, d'une façon détaillée, les exigences et les aptitudes des compensateurs textiles. Il donne des informations concernant les exécutions standard et donne un aperçu des règles de bases pour leur conception technique. Il donne aussi bien des informations sur les matériaux utilisés que des aides pour la conception et la rédaction de spécifications pour les compensateurs textiles. Principalement, ce manuel veut également être la base d'échange d'information entre utilisateur et fabricant pour que les deux parties puissent travailler ensemble d'une façon constructive pour pouvoir choisir la meilleure technologie pour un problème bien précis.



1.1 Définition générale

La définition « compensateur de dilatation » couvre différents produits pouvant reprendre des déplacements de gaines ou de tuyauteries dans des unités industrielles. Il y a beaucoup de différentes possibilités d'emploi de ces produits en fonction de leur utilisation et il y a possibilité d'un certain chevauchement entre les divers types de compensateur de dilatation qui peuvent être employés dans un but spécifique. Cependant il y a des regroupements généraux qui aident à définir les types de compensateur de dilatation, et de leurs applications. Les compensateurs de dilatations métalliques et non métalliques peuvent être employés tous les deux dans les gaines ou les tuyauteries :

1.1.1 Compensateurs ou Soufflets Métalliques

Des très fines feuilles métalliques sont façonnées en ondes multiples, qui sont soudées à des embouts ou à des brides. La plupart des compensateurs de dilatations métalliques sont circulaires, toutefois des compensateurs rectangulaires à angles droits ou arrondis sont parfois spécifiés pour utilisations dans des gaines.

Dans certaines applications la force et la robustesse du métal est un avantage, mais ceci est paré par leur rigidité relative, et les problèmes de la fatigue en métal.

1.1.2 Compensateurs en Caoutchouc pour tuyauteries

Les compensateurs en caoutchouc sont utilisés pour des tuyauteries avec des faibles pressions et des températures n'excédant pas les 200°C. Ils sont fabriqués en différentes sortes d'élastomères, totalement vulcanisés et renforcés par des textiles ou du tissu métallique. Ils possèdent un bon pouvoir de reprise de déplacements et peuvent être soumis à un nombre de cycles illimités. Leur durée de vie est toutefois limitée par le vieillissement du caoutchouc ainsi que par les conditions d'utilisation et d'environnement.

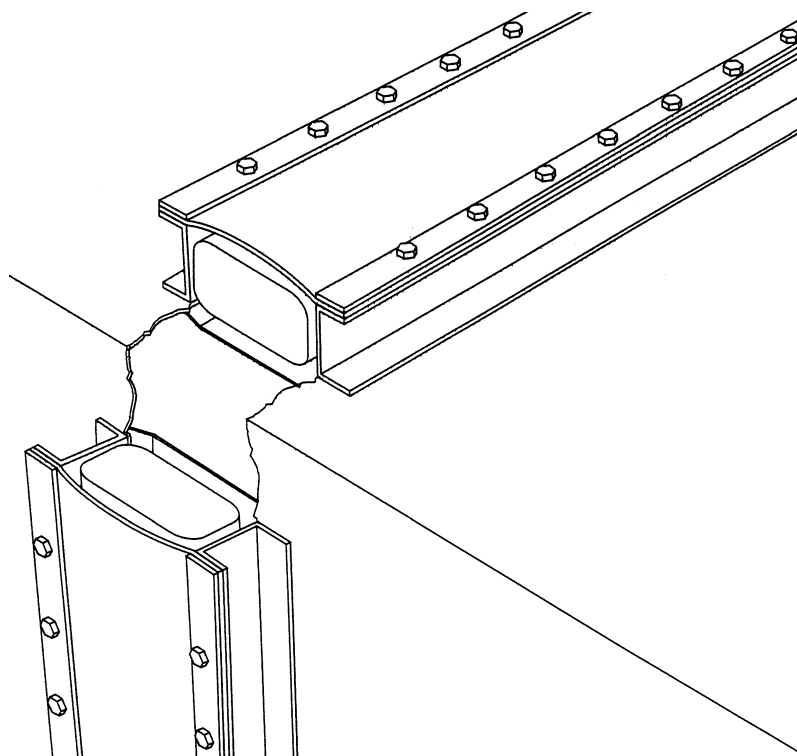
Les compensateurs en caoutchouc sont particulièrement utiles pour l'utilisation avec des produits chimiques agressifs, et pour leur résistance à l'abrasion. Des normes de base pour les compensateurs en caoutchouc sont définies dans le manuel du « Fluid Sealing Association » concernant les compensateurs en caoutchouc, mais la nature même du caoutchouc l'exclut pour beaucoup d'utilisation.

1.1.3 Produits associés

Presque toutes matières ductiles peuvent se laisser former pour obtenir un compensateur de dilatation. Il existe une multitude d'applications spécifiques pour ceux-ci, mais elles dépassent l'objet de ce guide. Comme exemple nous pouvons vous citer les soufflets fabriqués dans les élastomères fluorés tel que le PTFE ayant une très importante résistance aux agents chimiques !

1.2 Compensateurs de dilatation Textile – Compensateurs Textiles

Les directives de ce guide décrivent la conception et l'application des compensateurs de dilatation textile, fabriqués en une seule ou plusieurs couches de tissu ou d'élastomères. Ils sont employés dans les conduits ou comme joint pour contenir des fluides gazeux. Ils seront nommés dans ce guide **Compensateur(s) Textile(s)**



1.2.1 L'utilisation de fibres pour l'étanchéification de gaines

Autrefois on utilisait l'amiante comme couche résistant à la chaleur ou comme couche isolante. Les produits qui ont été développés pour remplacer l'amiante contiennent également inévitablement beaucoup de fibres. Des tissus, des feutres et des tapis d'isolant sont fabriqués en verre, aramide, laine de roche, fibres de silicate et en fibre céramique. Leurs influences sur la santé doivent être examinées et classifiées pour prévenir des risques sanitaires. La directive européenne 97/69 a défini la classification de matériaux fibreux et leurs contraintes d'utilisation. La position de l'ESA concernant cette directive est claire, les fabricants de compensateurs de dilatation, membres de l'ESA, doivent s'engager à respecter les règlements imposés. Les fibres sont classées en fonction de leur longueur et de leur diamètre. Les fibres dangereuses pour la santé ne doivent être utilisées qu'en cas d'absolue nécessité ; Elles doivent être clairement identifiées. Des règles de manutention spécifiques pour ces fibres doivent être respectées. La section 7 – **Santé et Sécurité** – donne plus de détails sur les produits fibreux et leur classification.

1.2.2 Les différents Types de Compensateurs Textiles

La définition « Compensateur Textile » peut porter à confusion car ce terme couvre un éventail de produits autre que des tissus. Toutefois c'est le terme générique de tous les compensateurs de dilatation qui ne sont pas métalliques et sont utilisés dans des canalisations ou gaines à de basses pressions. Les compensateurs textiles sont utilisés essentiellement pour étancher des fluides gazeux.

Par la nature des matériaux il est possible de concevoir des formes et des tailles spécifiques, généralement sans contraintes de l'outillage ou des moules. Il n'existe presque pas de limitation dans les formes des compensateurs textiles, ils peuvent être :

Circulaires ou Rectangulaires

à Bords Droits ou à Bords Rabattus (à Brides)

Les **Compensateurs à Bords droits** sont les plus efficaces du point de vue de la liaison et de la fabrication. Dans ces compensateurs, les matériaux sont soumis à un minimum de contraintes au repos, celles-ci dues aux déplacements, interviennent dans les conditions de fonctionnement. Le flux d'air au-dessus de la couche externe du compensateur est en grande partie non interrompu. Les cadres métalliques pour ce type compensateur de dilatation peuvent être légèrement plus complexes que pour les compensateurs de dilatation à brides, mais ceci est compensé par la facilité de la réparation ou le remplacement de l'élément souple. En général les compensateurs à Bords Droits ont une durée de vie plus longue que ceux à Bords Rabattus.

Les **Compensateur à Bords Rabattus** offrent aux concepteurs la liaison la plus simple. Toutefois la nature de leur composition limite leur emploi surtout à haute température. La bride des compensateurs à compositions multicouches, surtout s'il y a plus de 3 à 4 couches, limite déplacement du compensateur et nécessite de plus larges brides et une longueur accrue (longueur active) entre brides.

Les matériaux suivants sont en général utilisés pour la fabrication des compensateurs textiles :

Élastomères :	Néoprène EPDM Silicone Élastomères fluorés	Matériaux de renfort :	Nylon Tissu en fibre de verre Aramide Tissu métallique
----------------------	---	-------------------------------	---

Pour des **compensateurs multicouches** :

Couches Porteuse :	Tissu métallique Tissu renforcé par un fil métallique
Couches Isolantes :	Tissu en fibre de verre Feutre en fibre de verre Laine minérale Tissu en fibre de silicate Feutre en fibre de silicate Feutre en fibre céramique
Couches d'étanchéités :	Polymères fluorés tel que le PTFE Élastomères fluorés Feuilles métalliques
Couches de protections :	Élastomères renforcés Polymères fluorés renforcés

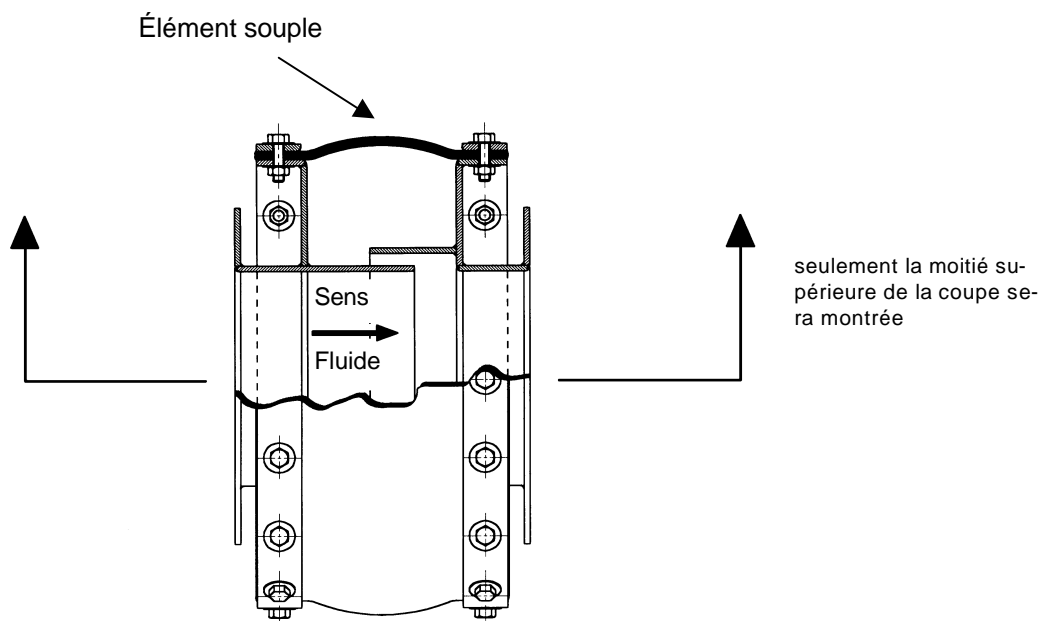
1.3 Centre d'intérêt de ce Guide

Du simple compensateur de dilatation en amiante des années 60 jusqu'au compensateur multicouches sophistiqué des turbines à gaz de ce jour, beaucoup de matériaux différents ont été utilisés ainsi que différentes méthodes d'élaboration. La conception a évolué différemment aux USA qu'en Europe. Les USA ont opté pour une couche externe épaisse en élastomère dans leurs centrales électriques ou par contre en Europe on utilisa couramment une couche externe en tissu renforcé par de la silicone. Il était courant, au début des années 80, de changer de compensateurs à chaque arrêt majeur d'unité. Toutefois les connaissances technologiques nouvelles ont permis de développer de nouveaux matériaux ayant des performances accrues permettant d'augmenter sensiblement la durée de vie de compensateurs textiles.

À la fin des années 80, le boom des turbines à gaz, a augmenté les exigences de tenue en température des compensateurs textiles et de ce fait rendu commun l'utilisation de composants fluorés pour la couche externe. Ce développement, utilisant des composants fluorés a conduit à des compensateurs textiles multicouches et à des réalisations avec des bandes en biais.

Pour l'uniformité de ce guide de technologie :

- les figures en coupe montreront seulement la moitié supérieure du compensateur textile ainsi que de la gaine
- le sens du fluide sera toujours indiqué allant de la gauche vers la droite
- l'élément souple ne sera représenté que par une simple ligne quelque soit sa composition : mono-couche ou multicouche



1.4 Informations Générales concernant la Législation de l'Environnement

Il est universellement reconnu que l'industrie doit réduire son impact sur l'environnement pour les générations futures (appelé le développement durable). La réduction des émissions industrielles a été obtenue sous la pression de l'opinion publique, des lois sur l'environnement et la nécessité de préserver les réserves des matières premières. La plupart des émissions à l'atmosphère, sont dues à la combustion (notamment des oxydes de carbone, d'azote ou de soufre) ainsi que des émissions d'hydrocarbures volatiles et de vapeurs. Nous n'examinerons pas ici ces émissions puisque celles-ci proviennent de procédés industriels connus et sont maîtrisés par les exploitants.

Cependant, des émissions industrielles se produisent également suite à des fuites imprévues ou insidieuses dans les procédés industriels. Dans ces cas on parle « **d'émissions fugitives** ». C'est dans ce secteur que les industriels de l'étanchéité jouent un rôle essentiel, par le développement et l'application de technologies innovantes, pour obtenir que les émissions soient réduites ou nulles. L'objectif de cette publication est d'apporter une aide dans le juste choix, le bon montage et utilisation des matériaux d'étanchéités pour obtenir une durée de vie optimum des joints d'étanchéités.

L'ESA a publié les différents développements des législations, aussi bien des USA¹ qu'en Europe², concernant les émissions fugitives. Bien que les développements précoces aient commencé aux États-Unis, l'Union Européenne a rapidement rattrapé son retard et travaille actuellement en étroite collaboration avec les États-Unis. La législation récente aux États-Unis et en Europe vise la réduction **d'émission de polluants spécifiques dans des procédés industriels spécifiques**. Cependant, en dépit de nombreuses approches, il n'y a aucune harmonisation de la législation au niveau européen concernant les émissions fugitives. Au lieu de cela, les États membres légifèrent leurs propres lois concernant mesures de contrôle. Inévitablement, ces restrictions renforceront la bonne performance de l'étanchéité et joueront un rôle de plus en plus efficace dans le contrôle d'émissions fugitives des usines.

Par définition, les compensateurs de dilatation de haute qualité, ont un rôle important pour minimiser les émissions fugitives.

¹ **USA Regulation on Fugitive Emissions** (Rapport de l'ESA N° 003/94), publié par L'European Sealing Association en 1994

² **European Emission Legislation** (Publication de l'ESA N° 012/00), publié par L'European Sealing Association en 2000

2. Définition des produits et de la technologie

Les compensateurs textiles sont des connexions flexibles conçues pour réduire les contraintes dans des systèmes de canalisation en absorbant le déplacement dû aux contraintes thermiques. Ils interviennent également comme absorbeurs de vibrations ou amortisseurs de chocs et, dans certains cas, pour reprendre des défauts d'alignement. Ils sont également connus sous la dénomination de Compensateurs de dilatation en tissu.

Ils sont fabriqués, en fonction de la conception, dans de nombreux matériaux. Entre autres en des élastomères synthétiques, des tissus, des matériaux d'isolation et des plastiques fluorés. Cela va de Compensateurs mono-couche à des compensateurs multicouches en combinaison avec des tissus métalliques pour des températures extrêmes ou des problèmes de corrosion.

2.1 Applications Industrielles.

Depuis leur introduction, les compensateurs textiles ont été employés pour résoudre un nombre croissant de défis concernant les connexions flexibles et leur étanchéité. L'utilisation principale est dans les centrales de production d'électricité. Le développement des nouveaux matériaux ainsi que l'amélioration technologie de la conception des compensateurs textiles ont eu comme résultat leur utilisation avec succès dans de nombreuses autres industries notamment dans les industries :

- Cimenteries
- Chimiques
- Chauffage et ventilation
- Marine et l'Offshore
- Fonderies
- Pétrochimie
- Contrôle de la pollution et épurations des fumées
- Production d'électricité
 - co-génération
 - centrale au fuel
 - turbine à gaz
 - nucléaire
- Pâte à papier et papier
- Acier et aluminium
- Incinération d'ordures et déchets

2.2 Technologie des Compensateurs Textile

Les compensateurs textile fournissent de la flexibilité aux gaines et sont utilisés dans ces 4 situations principales :

- Dilatation ou contraction des gaines dues aux fluctuations de la température.
- Isoler des composants pour minimiser les effets de vibrations ou de bruit.
- Mouvements de composants pendant des phases de procès.
- Aide au montage ou démontage de grand composants et reprise de tolérances de montage.

L'utilisation de Compensateurs Textiles offrent les avantages suivants :

Reprises de grand déplacement en un encombrement réduit – nécessitant moins de compensateurs en réduit leur nombre et est donc plus économique.

Aptitude de reprendre simultanément des dilatations dans plusieurs plans – ce qui permet au concepteur des gaines a reprendre plusieurs déplacements composés en utilisant moins de compensateurs (et plus simples).

Besoins de très peu de force pour déplacer le compensateur – leur constante de ressort réduite permet d'isoler des grands équipements des contraintes externes. Un exemple d'utilisation particulier est leur emploi en turbine à gaz. Ils réduisent considérablement les forces, dues à la dilatation de la gaine, sur la bride d'échappement de la turbine.

Utilisation de matériaux résistant à la corrosion – les matériaux modernes utilisés permettent une tenue aux produits chimiques agressifs.

Résistance au bruit et aux vibrations – Les compensateurs textiles offrent une haute résistance à la vibration et ont un haut pouvoir d'atténuation du bruit.

Installation et entretien aisé.

Frais de remplacement réduits – les compensateurs textiles peuvent être facilement remplacés à moindre coût.

Liberté de conception – Les compensateurs textiles peuvent être réalisés sur mesure et peuvent être adaptés à la situation de montage.

Coupures thermiques – les propriétés auto-isolantes des tissus permettent des transitions froides chaud.

3. Construction et configuration des Compensateurs Textiles

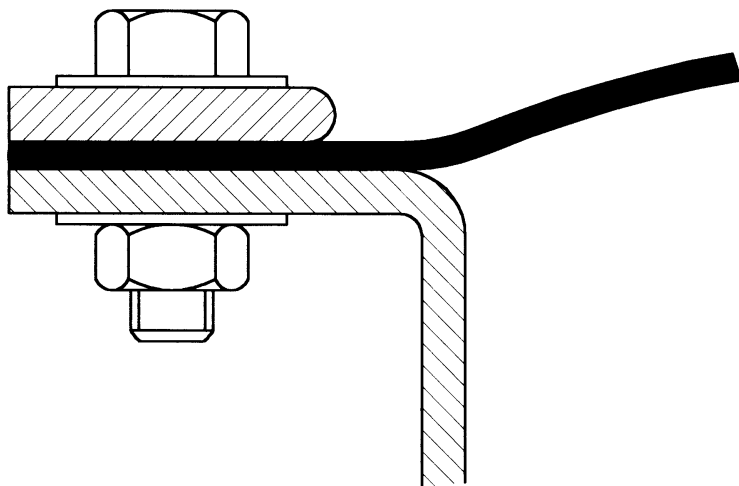
3.1 Construction

Il y a 2 formes de base de construction, dépendent du nombre de couches du compensateur de dilatation :

- Réalisation en mono-couche.
- Réalisation en multicouches.

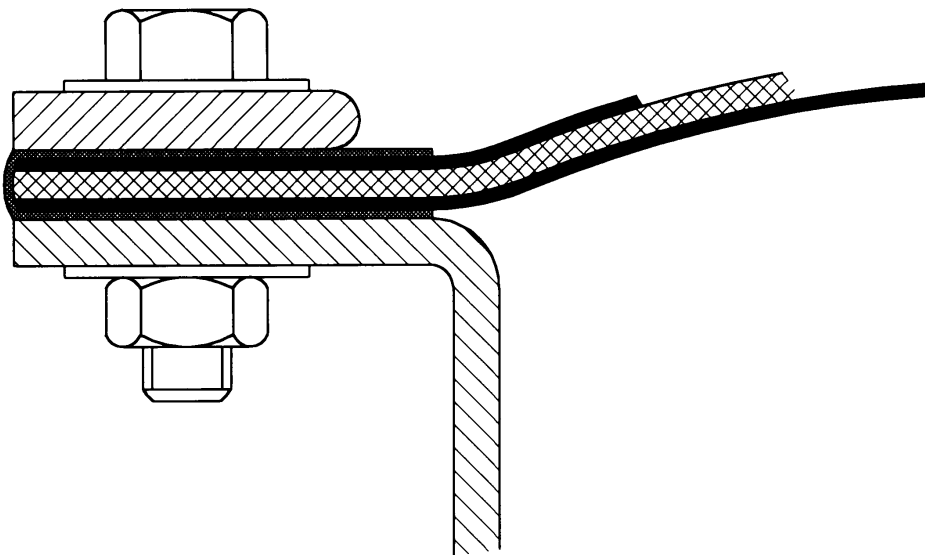
3.1.1 Réalisation Mono-couche

Un compensateur de dilatation formé d'une seule couche renforcée, souvent constitué d' élastomères et des matériaux de renfort ou bien des élastomères fluorés renforcés :



3.1.2 Réalisation Multicouches

Un compensateur de dilatation dans lequel les diverses couches sont constituées de matériaux différents qui ne sont pas intégralement reliés ensemble :



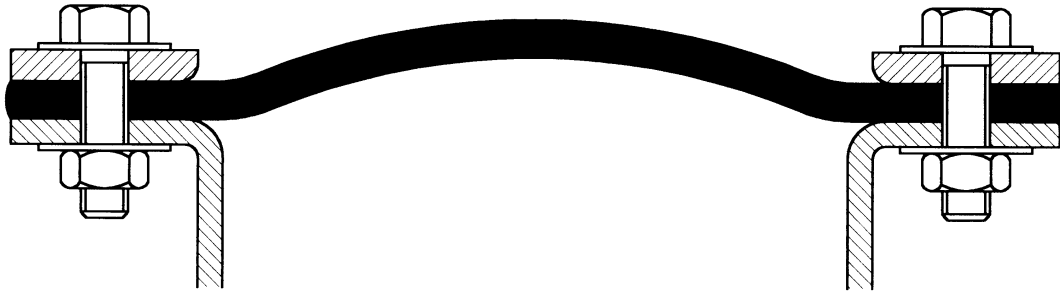
3.2 Types de Fixations des Compensateurs Textiles

Il y a 3 types différents de fixations, pouvant indifféremment être utilisés pour l'un ou l'autre réalisation :

- Compensateur à Bords droits.
- Compensateur à Bords rabattus (à Brides)
- Fixations combinées.

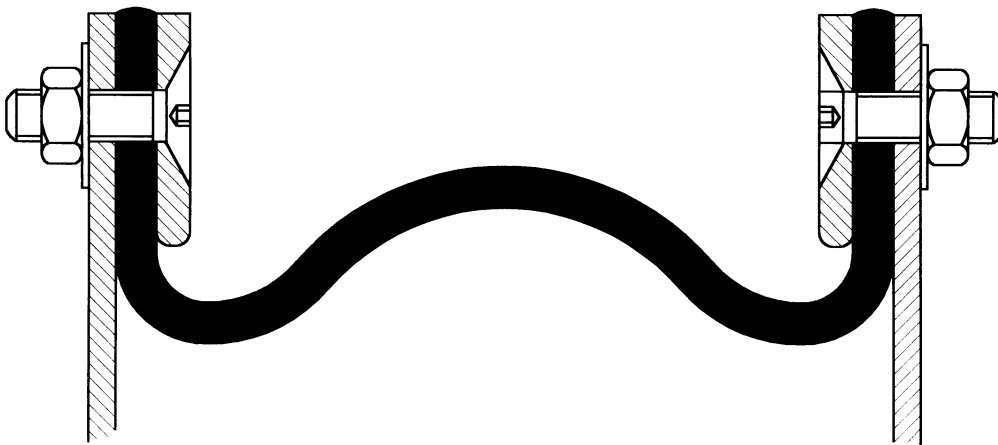
3.2.1 Fixation par Bords droits :

La partie souple du Compensateur est droite et les bords sont dans son prolongement :



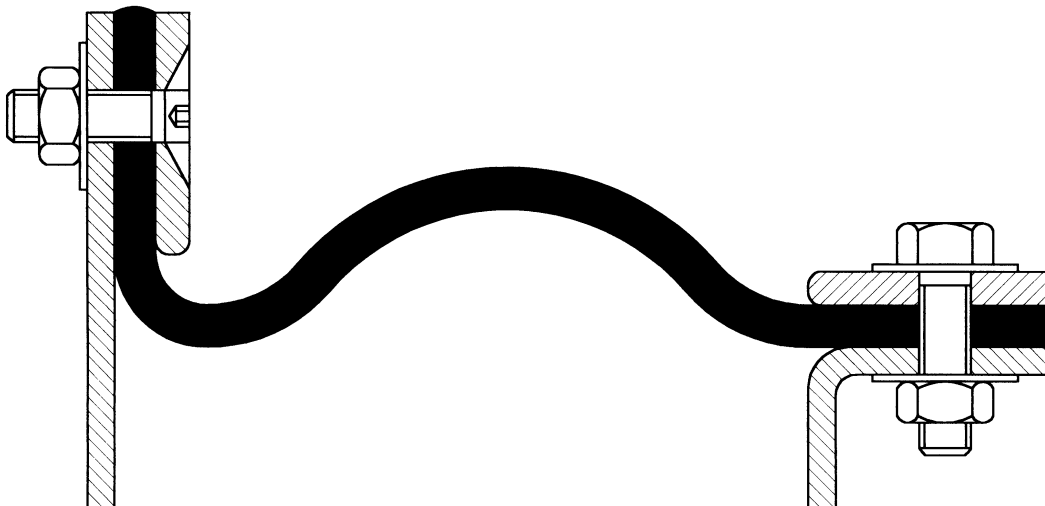
3.2.2 Fixation par Bords rabattus (à brides) :

Les bords du compensateur forment un angle droit avec la partie souple :



3.2.3 Fixation combinée :

Ces compensateurs utilisent les deux versions précédentes :



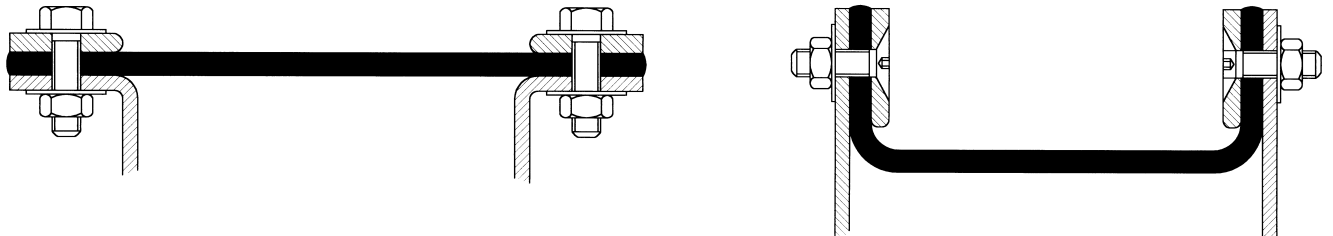
3.3 Élément souple du Compensateur Textile

La partie souple du compensateur peut être fabriquée en différentes formes dépendantes de leurs applications :

- Plat
- Convexe
- Concave
- à Ondes

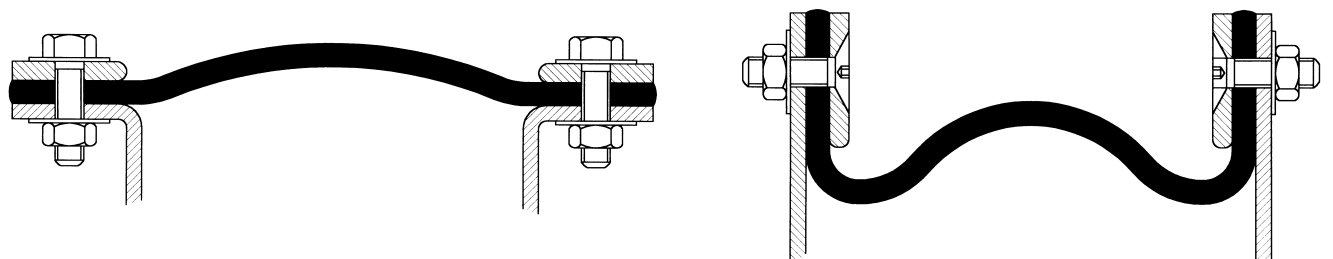
Ci-après représentation de ces différentes possibilités ; à droite fixation par Bords droits et à gauche par Bords rabattus :

3.3.1 Élément souple plat :



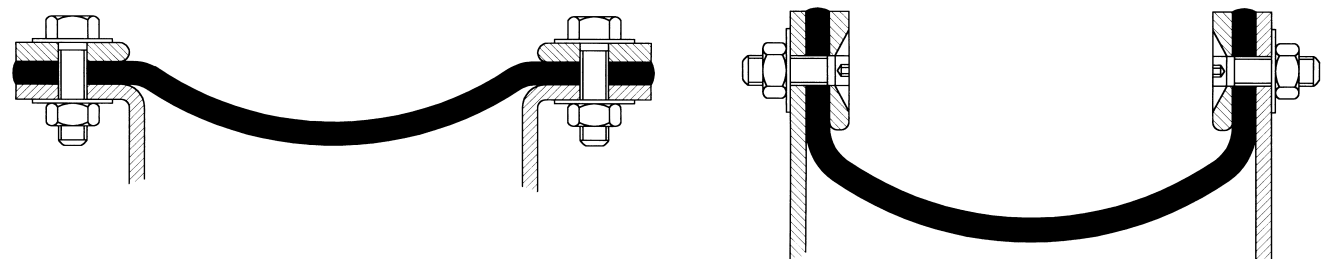
3.3.2 Élément souple Convexe (utilisé pour des surpressions) :

Ce compensateur possède une onde préformée vers l'extérieur pour reprendre de grands déplacements et empêcher la formation de plis de l'élément souple. Plis qui, s'ils se produisent, pourraient causer l'emprisonnement de la chaleur et la défaillance précoce du compensateur.



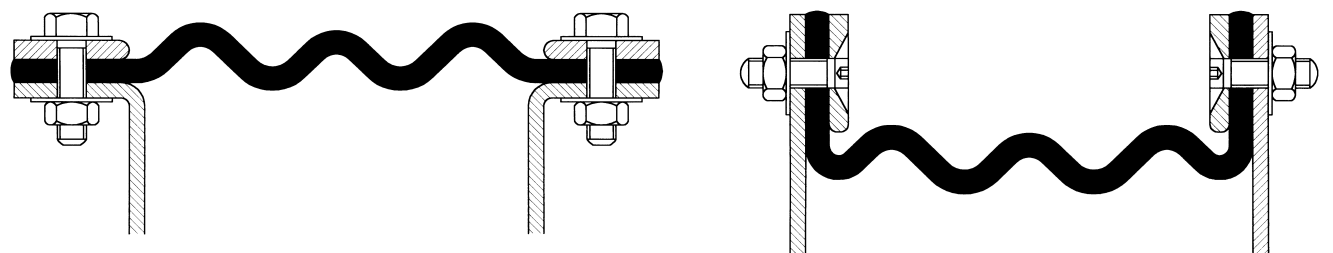
3.3.3 Élément souple Concave (utilisé pour des dépressions) :

Compensateurs textiles dont l'élément souple est d'une forme en U ou d'une forme conique pour la reprise de grands déplacements.



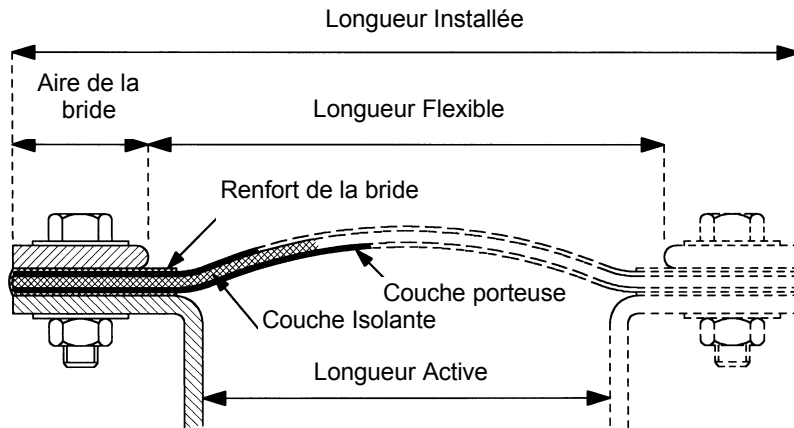
3.3.4 Élément souple à Ondes

Compensateurs textiles dont l'élément souple est constitué de plusieurs ondes pour la reprise de très grands déplacements.



4. Les Composants des Compensateurs Textiles

Ce chapitre détaille les composants des Compensateurs textiles qui contribuent à leurs performances.



La figure représente un compensateur multicouche à bords droits.

4.1 Composants Majeurs

La **longueur souple** est la partie du compensateur textile comprise entre les aires des brides (celle-ci peut être différente de la longueur active – voir à ce sujet le § 5.7 Déplacements). Celle-ci est composée d'une membrane étanche au gaz avec facultativement des couches isolantes et des couches porteuses ainsi que le renfort des brides.

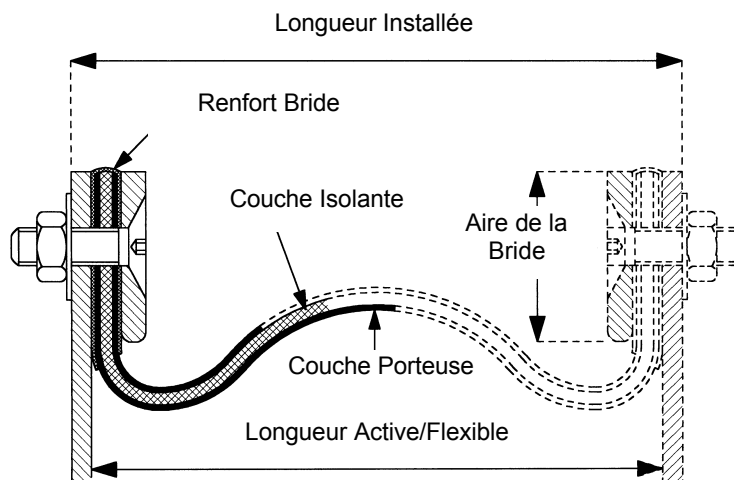
La **membrane d'étanchéité** est la couche spécifique empêchant la pénétration des gaz à travers le corps du compensateur textile. Elle doit être conçue pour faire face à de la pression interne du système et pour résister aux agressions chimiques. Cette membrane doit rester souple et flexible pour permettre les déplacements des gaines. Dans certains cas, la membrane peut être complétée par une **barrière chimique** pour améliorer la résistance chimique.

La **couche extérieure** est la couche du compensateur textile qui doit le protéger des conditions environnementales. Cette couche peut être combinée avec une membrane d'étanchéité ou faire fonction de deuxième membrane d'étanchéité.

La **couche isolante** sert de barrière thermique à la membrane d'étanchéité pour garantir que la température à la surface de cette membrane n'excède pas sa température de tenue. La couche isolante peut également permettre de résoudre ou de minimiser des phénomènes de condensation.

La **couche porteuse** maintient la couche isolante en place et protège le compensateur lors des manipulations de montage. Un choix rigoureux des matériaux appropriés (capables de résister aux températures de fonctionnement et à l'agression chimique) est indispensable pour une conception réussie du compensateur textile. Les couches porteuses peuvent également être utilisées pour aider aux configurations complexes des compensateurs textiles où une forme spécifique est exigée tel que ceux à ondes préformées.

Le **renfort des brides** est constitué d'une couche de tissu complémentaire pour protéger le compensateur textile d'influences thermiques ou mécaniques.



4.2 Autres Composants Importants.

Les autres composants décrits ici sont :

- Le Matelas ou coussin Isolant (Bolster)
- La Fixation
- Les Coins
- Joints contre la poussière
- Cadres, Brides
- Guide(s) Intérieur(s) [Déflecteur(s)]

4.2.1 Matelas Isolant (coussin isolant également appelé "Bolster")

Ce matériel souvent livré en vrac fait partie des compensateurs textiles. Il est souvent utilisé sous forme d'un coussin enrobé et sert à remplir la cavité entre le(s) déflecteur(s) et l'élément flexible.

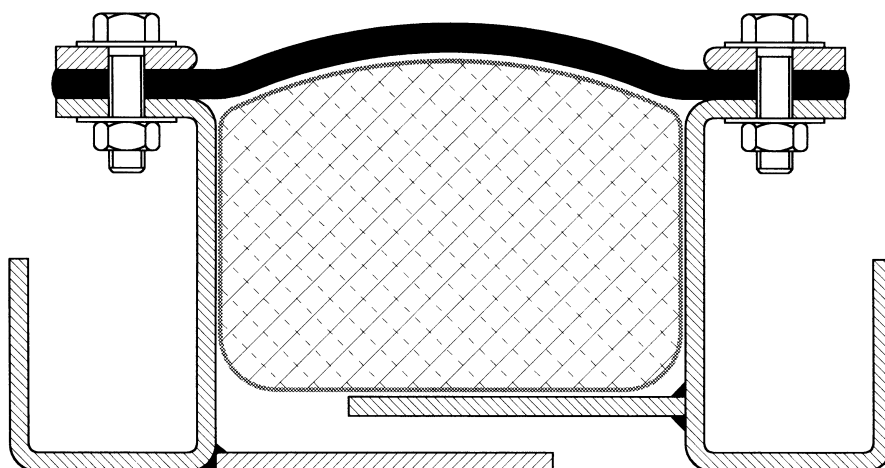
Les principales raisons d'inclure ce matériel dans la composition d'un compensateur textile sont :

- Former une protection thermique complémentaire du compensateur textile en utilisant des matériaux avec de bonnes propriétés thermiques.
- Prévenir l'entrée de particules solide dans la cavité entre déflecteur et compensateur. Pour les fluides chargés d'une haute teneur en poussière ils jouent deux rôles majeurs. Le premier est d'éviter que des particules abrasives endommagent la partie flexible du compensateur textile. La deuxième est d'empêcher l'accumulation de poussière dans cette cavité, poussière qui pourrait s'y agglomérer, y durcir et devenir de ce fait un obstacle à la compression du compensateur textile.
- Atténuer le niveau sonore en utilisant des matériaux ayant de bonne propriété d'atténuation ou d'absorption du bruit.
- Former un support de l'élément flexible lors de pressions pulsées en empêchant la partie flexible de flotter ou de battre.

Les matelas isolants peuvent être réalisés sous différentes formes en fonction des conditions de conceptions. Ceci peut être nécessaire pour différentes raisons :

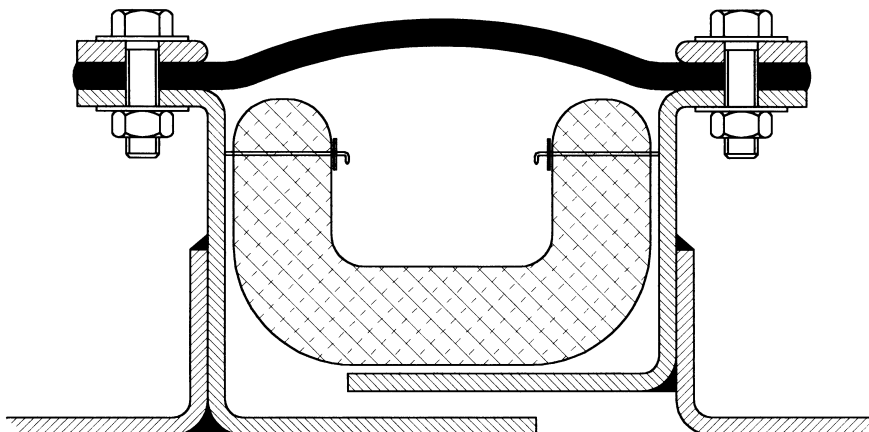
4.2.1.1 Un coussin Isolant est constitué en emballant les matériaux fibreux dans un sac. Ceci peut être exigé pour un certain nombre de raisons :

- Pour limiter l'exposition aux fibres respirables pendant l'installation et l'opération en emballant les matériaux potentiellement nocifs dans un "sac" des matériaux non-respirables
- Pour faciliter la manipulation pendant l'installation et aider à fixer le coussin dans la cavité du compensateur de dilatation
- Pour réduire au minimum des dommages aux matériaux fibreux provoqués par l'abrasion. Dans ces cas, des couches de tissus métalliques peuvent être employées comme sac secondaire pour aider à protéger le sac primaire en tissu maintenant les matériaux en vrac.

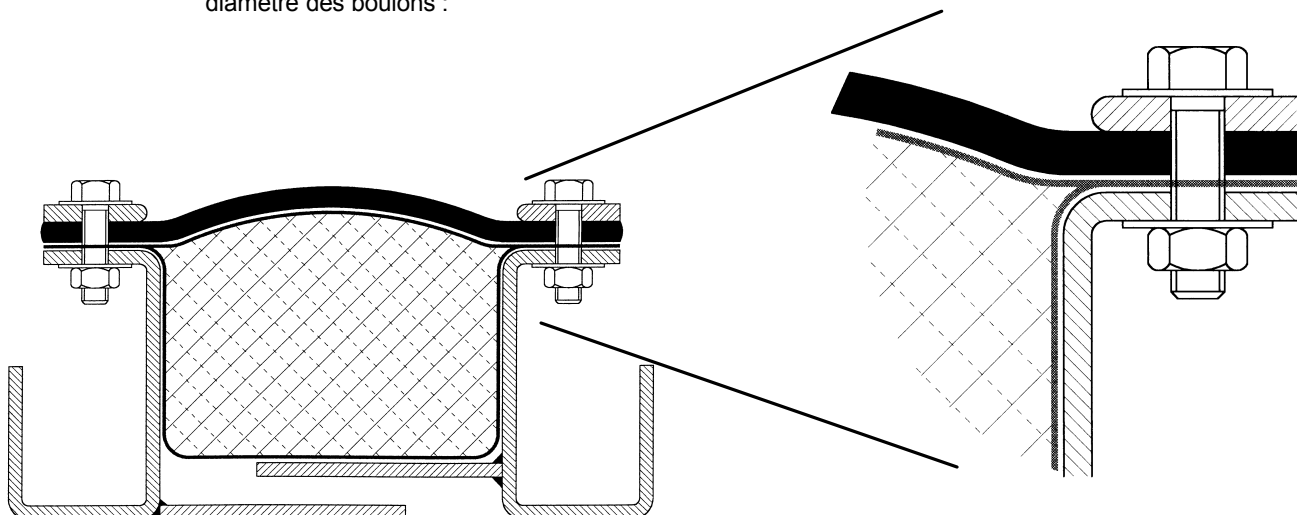


Pour tenir compte des déplacements des compensateurs de dilatation, le coussin isolant emballé est habituellement (a) goupillé ou (b) boulonné :

- (a) Le coussin emballé est fixé par picots aux parties métalliques pour permettre son déplacement simultanément avec le compensateur de dilatation. Les picots sont placés à l'intérieur sur les côtés ou sur les déflecteurs :



- (b) L'emballage du coussin isolant est prolongé pour former une forme de "T" permettant à l'unité d'être boulonnée en même temps que le compensateur de dilatation. Dans ce cas-ci le prolongement est percé au diamètre des boulons :



4.2.1.2 Des matériaux en vrac sont simplement bourrés ou pliés dans la cavité. Dans des circonstances normales, cette méthode n'est pas recommandée pour la bonne conception du compensateur de dilatation et peut réduire la vie de celui-ci de manière significative.

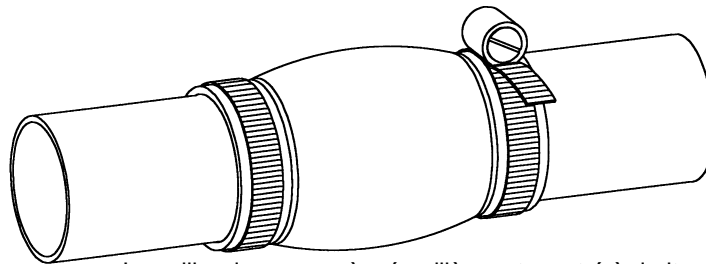
4.2.2 Dispositifs de serrage

Il y a plusieurs méthodes pour fixer les compensateurs de dilatation en tissu, les plus utilisés sont détaillés ci-dessous :

Type de compensateur	Dispositif de serrage	Section de la gaine	Taille de la gaine	Pression de service	Coût du dispositif de serrage	Commentaires
À bords droits	Collier de serrage à crémaillère	Circulaire	Petite	Basse	Réduit	Installation rapide
	Collier de serrage	Circulaire	Petite - grande	Basse	Réduit	Installation rapide. Utiliser des colliers de serrage en secteurs pour de grands diamètres
	Contre bride	Circulaire/rectangulaire	Petite - grande	Basse-haute	Moyen	Possibilités de hautes températures
	Éclisses externes	Circulaire/rectangulaire	Petite - grande	Basse	Élevé	Éclisses serrant la contre bride
À bords rabattus	Contre bride	Circulaire/rectangulaire	Petite - grande	Basse-haute	Moyen	Possibilités de températures moyennes

4.2.2.1 Collier de serrage à crémaillère ou sans

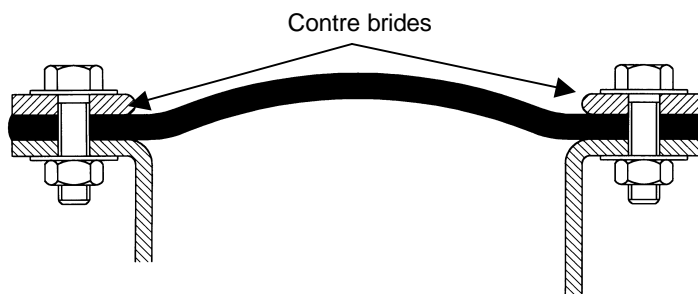
Utilisé pour des compensateurs à bords droits et sur des gaines circulaires de petits diamètres et sont en général fabriqué en bandes d'acier inoxydable.



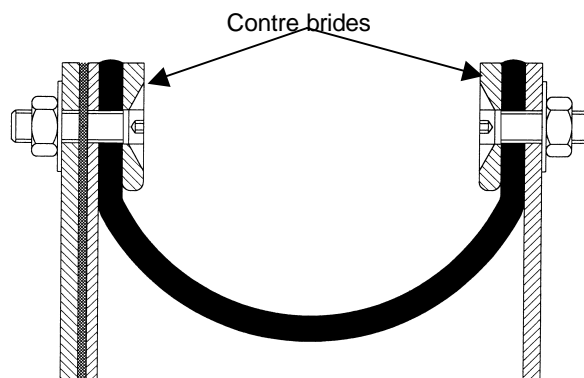
Le collier de serrage à crémaillère est montré à droite

4.2.2.2 Contre brides boulonnées (boulons, écrous et rondelles)

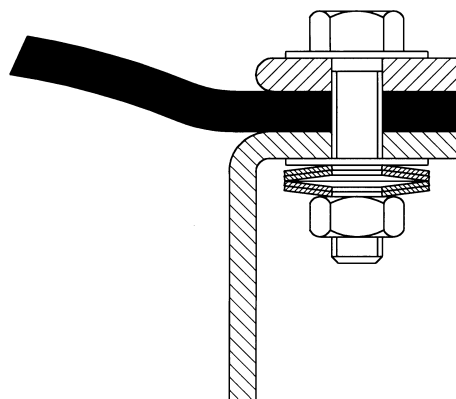
(a) À bords droits :



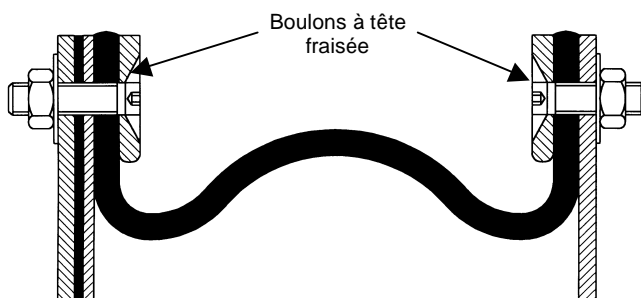
(b) À bords rabattus



Veillez noter qu'on utilise souvent des rondelles ressorts (rondelle Belleville) pour maintenir la pression des boulons :

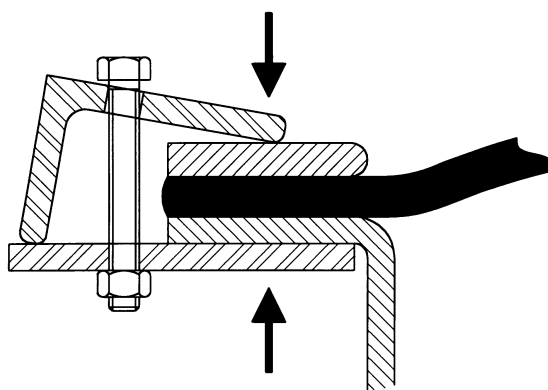


Remarque : Dans le cas où il y a combinaison d'une pression positive avec un déplacement axial élevé, des boulons à têtes fraisées devraient être employés pour empêcher que les têtes des boulons endommagent la couche externe du compensateur de dilatation :



4.2.2.3 Contre brides serrées par des éclisses

Utilisés essentiellement sur des compensateurs de dilatation à bords droits :



4.2.3 Angles

L'élément flexible du compensateur textile exécute la fonction la plus importante parce qu'il absorbe ou permet le déplacement pour lequel le compensateur est conçu. Ce déplacement peut être axial, latéral, angulaire ou n'importe quelle combinaison de ceux-ci. Pour les compensateurs textiles rectangulaires, les coins représentent le plus grand challenge et demandent une conception soignée.

Sans une technique de moulage coûteuse, les coins des compensateurs textiles à bords tombés ne sont généralement pas à rayons. Le déplacement est donc limité par la contrainte sur le matériel en se plissant dans le plan axial, s'étirant sous l'effet du déplacement latéral. Les compensateurs en élastomères avec les coins moulés surmontent certains de ces efforts. Toutefois les compensateurs multicouches ont besoin d'une conception soignée pour éviter la défaillance précoce des tissus employés.

Les compensateurs à bords droits et à rayon dans les angles est la meilleure solution pour les compensateurs rectangulaires. Le matériel du compensateur textile peut se déplacer d'une manière semblable aux compensateurs de dilatation circulaire, et lors de grands déplacements, l'on peut inclure du matériau complémentaire dans les angles pour faciliter les déplacements simultanés en axial et latéral. Le rayon d'angle est également judicieux pour les brides métalliques des compensateurs textile, surtout lorsque ceux-ci sont soumis à de fortes contraintes thermiques.

4.2.4 Joint anti-poussière

Ceux-ci sont utilisés dans des installations ayant des fluides contenant un taux très élevé de particules solides. Ils sont employés pour réduire au minimum l'entrée ces particules dans la cavité du compensateur de dilatation. Il y a plusieurs types de joints anti-poussière ; veuillez consulter le fabricant de compensateurs textiles pour un conseil spécifique. Les joints anti-poussière peuvent inclure l'utilisation d'un joint de type "c" (ainsi appelé en raison de la forme qu'il devrait prendre) ou un bouclier interne approprié à la poussière qui est riveté aux parties métalliques supportant le compensateur de dilatation. Veuillez consulter le fabricant pour les détails spécifiques.

4.2.5 Parties métalliques (Brides - Cadres)

L'efficacité de l'étanchéité dépend de la conception des parties métalliques auxquelles l'élément flexible est attaché. Beaucoup de variantes de parties métalliques sont possibles en fonction de la structure à laquelle les compensateurs textiles sont attachés. Il y a quelques configurations de base, qui couvrent la majorité des applications.

4.2.5.1 **Le compensateur à bords droits**, est le compensateur le plus efficace du point de vue de sa fabrication et de sa fixation. Dans ce type de compensateurs, les matériaux subissent un effort minimum dans les conditions de fonctionnement, et le flux d'air au-dessus de la couche externe du compensateur est en grande partie non interrompu. Les parties métalliques de fixation de ce type de compensateur peuvent être légèrement plus complexes que pour les compensateurs textiles à bords tombés. Toutefois ceci est compensé par la facilité de la réparation ou le remplacement aisé de l'élément flexible. En général, celui-ci a une durée de vie plus longue que le type à bords tombés.

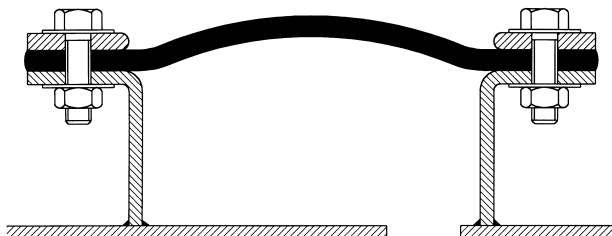
A. Fixation sur la gaine par colliers de serrage

Peut être employé efficacement uniquement pour les gaines circulaires fonctionnant à basse pression. Pour de grands diamètres, les colliers de serrage doivent être à plusieurs sections, afin de garantir de maintenir la même pression de serrage.



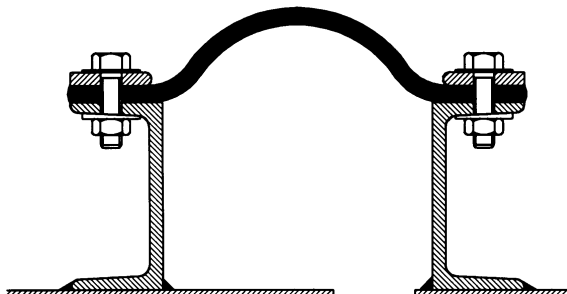
B. Fixation sur Cornière

Une fixation simple pour gaines existantes. Pour des conduits circulaires les cornières sont roulées dans des longueurs appropriées pour la soudure. Pour les conduits rectangulaires l'angle doit être fabriqué avec un rayon pour relier les longueurs droites. Si l'aile de la cornière est oblique, des rondelles biaisées devraient être utilisées sous la bride.



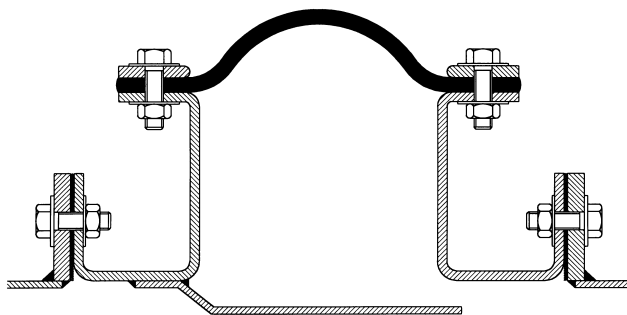
C. Fixation sur Profilé

Une variante simple de bride en utilisant les renforts standard de la gaine. Si les renforts ont des ailes obliques des rondelles biaisées devraient être employées sous la bride. Pour les gaines rectangulaires les angles doivent être fabriqués avec un rayon.



D. Livraison de compensateurs pré-montés sur parties métalliques

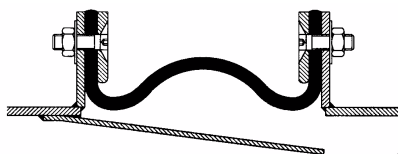
Cette solution est généralement employée quand des compensateurs complets de dilatation sont exigés, souvent pour l'installation dans de nouveaux projets, avec l'avantage supplémentaire d'une installation simplifiée. Ces conceptions donnent la liberté pour installer facilement les compensateurs de dilatation. En outre, la conception peut être adaptée à des épaisseurs variables du calorifuge et à la taille des brides de la gaine.



4.2.5.2 **Les Compensateurs à bords rabattus (à brides)** offrent au concepteur de gaines la méthode de fixation la plus simple, mais la nature de leur construction limite leur utilisation pour des températures élevées. Pour les compensateurs textiles multicouches où il y a plus de 3 ou 4 couches de matériel, la fabrication de la bride limite le déplacement disponible, et rend nécessaire des brides plus profondes et une ouverture entre brides plus grande. La configuration à bords rabattus ne devrait être utilisée que pour de grands déplacements axiaux et des dépressions élevées.

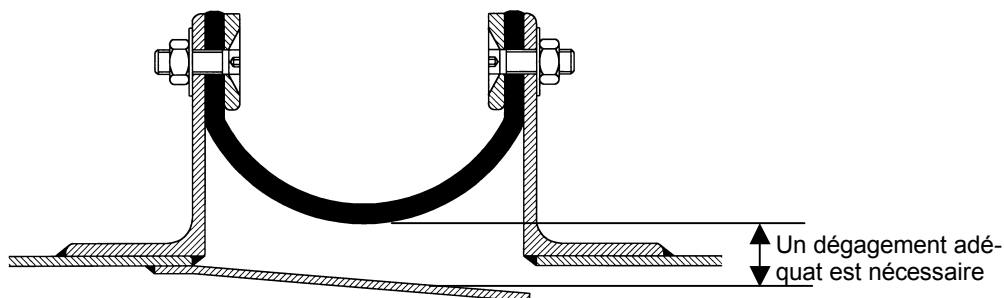
E. Fixation par simples brides pour gaines en pression

Il faut veiller, pour les configurations avec déflecteurs internes, que ceux-ci soient suffisamment écartés des compensateurs surtout des coins des compensateurs angulaires.



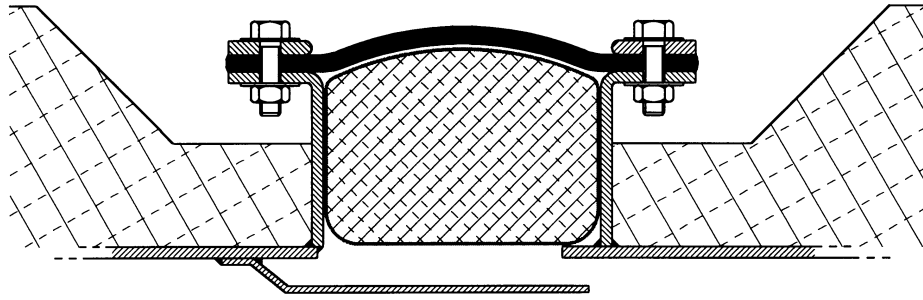
F. Fixation par simples brides pour gaines en dépression

Pour ces compensateurs il faut veiller à éviter les angles pointus dans la partie flexible. Ce type de compensateur textile qui peut être employé avec ce type de fixation a des limites d'emploi en température, en raison du flux d'air restreint au-dessus de la surface du compensateur.

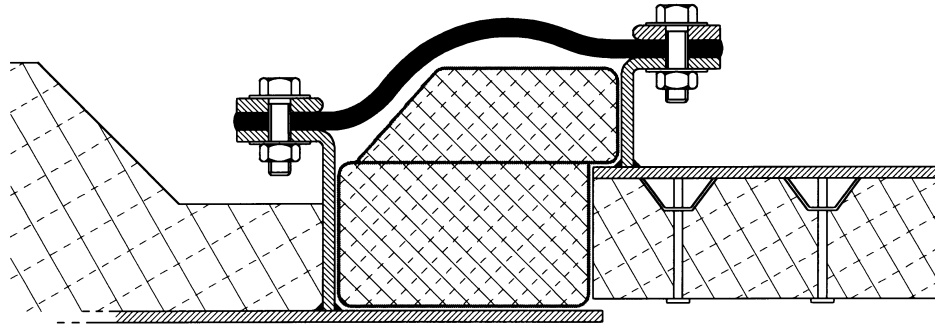


4.2.5.3 **Bride chaude à bride froide / bride froide à bride chaude** : dans des systèmes de turbine à gaz, et d'autres applications à hautes températures, des compensateurs de dilatation sont souvent situés à l'endroit où l'isolation des gaines passe d'une isolation interne à externe ou vice versa. Ceci fournit un point terminal commode pour le concepteur de la gaine, tel que le changement de taille de la gaine et le matériel de la gaine peut être fait sur toute la longueur du compensateur de dilatation.

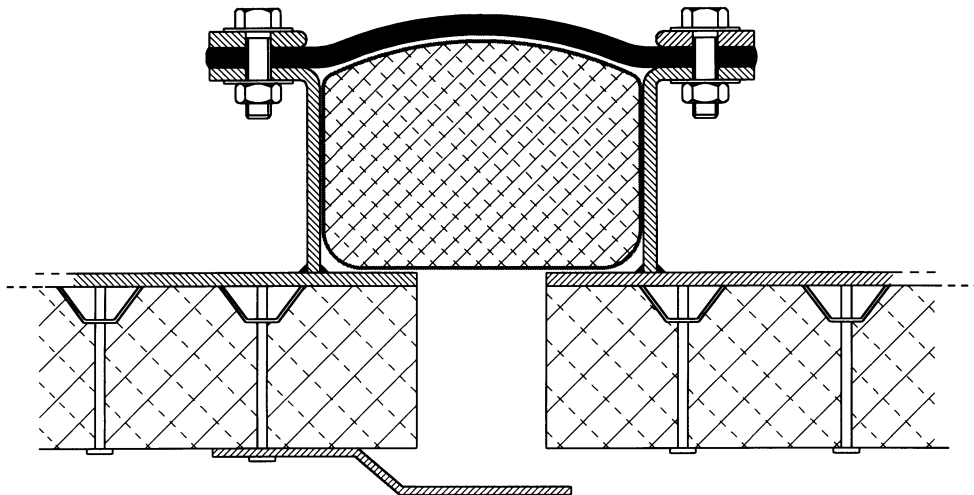
G. Bride chaude vers Bride chaude



H. Bride chaude vers Bride froide



I. Bride froide vers Bride froide



4.2.6 Guides intérieures (Déflecteurs)

La conception des guides intérieurs (également nommés déflecteurs) est liée à la conception des brides des compensateurs textiles. Le guide peut dans certains cas être une continuation de la gaine. D'innombrables variations sont possibles, toutefois nous mentionnons ci-après une gamme de types courants.

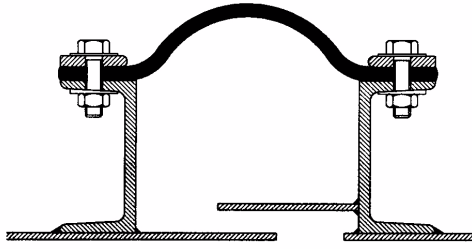
La forme du guide interne est important il ne doit pas restreindre déplacement. La fonction principale est de protéger contre l'érosion les matériaux du compensateur textile ou du calorifuge. Érosion due à des vitesses d'écoulement élevée ou à des particules de poussières. D'autres considérations importantes sont :

- l'épaisseur de la matière en fonction d'une érosion éventuelle
- la longueur de chaque section de déflecteur, considérant la dilatation et la déformation dues à la température. Au-dessus de 500°C une longueur de 1 mètre avec un espace de 3mm serait normalement suffisante pour empêcher la déformation
- lavage de la gaine et nécessité de protéger les compensateur et calorifuges
- les déflecteurs sont normalement soudés par points à la gaine

Les guides internes doivent être conçues de sorte qu'elles ne soient pas des pièges à poussière ou à condensation. Faites vous conseiller par le fabricant.

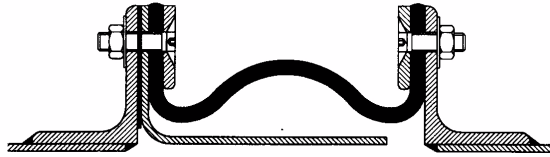
A. Double défecteur

Simple d'installation dans des gaines rectangulaires existantes. Le chevauchement permet, si nécessaire, l'utilisation d'un joint secondaire pour piéger la poussière.



B. Défecteur démontable pour compensateurs à Bords rabattus

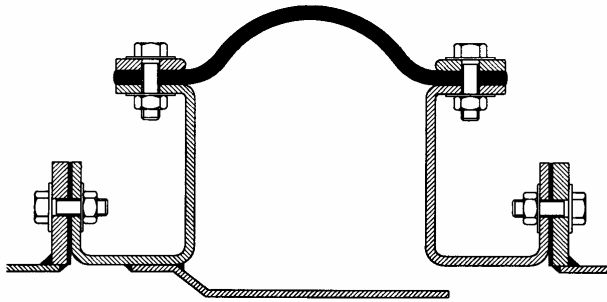
Il faut veiller avec ce type de défecteur de ne pas provoquer des dommages mécaniques à la matière du compensateur.



Utilisé en général pour de faibles déplacements.

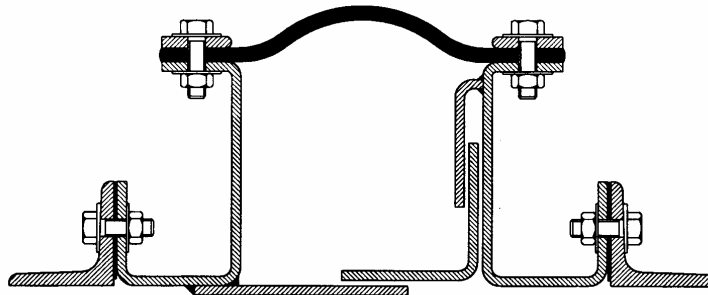
C. Défecteur sur ensemble pré-monté

La conception des brides et les déplacements conditionnent la forme de ce défecteur. Son écartement nécessaire aux déplacements latéraux est limité et l'on doit s'assurer qu'il assure le maintien du calorifuge interne.



D. Défecteur flottant

Celui-ci peut être employé quand il est nécessaire de maintenir un espace minimum entre les deux moitiés d'un double défecteur avec les déplacements latéraux élevés. La section flottante est maintenue par intervalles à l'aide de cornières ou de picots pour permettre son déplacement libre.



5. Critères de Conception et de Sélection

Cette section vise à mettre l'accent sur les importants critères qui déterminent le choix du compensateur textile et ses conditions de conception de technologie. Celles-ci sont :

- Conditions ambiantes
- Directives de boulonnage pour les compensateurs textiles boulonnés
- Taux de poussière et vitesse d'écoulement du fluide
- Analyse par éléments finis
- Fuites
- Humidité, condensation, lavage
- Déplacements
- Bruit
- Pression – pulsations – flottement
- Température
- Tolérances

Les compensateurs textiles doivent être conçus pour absorber les déplacements spécifiés (voir le § 5.7. Déplacements), avec des méthodes appropriées de fixation. Les conditions de fonctionnement telles que la température, pression ainsi que la présence de produits chimiques doivent être prises en considération. La conception du compensateur textile devrait pouvoir être vérifiée par un schéma ou un plan, qui peuvent être étayé à l'aide d'une analyse par éléments finis.

5.1 Conditions Ambiantes

Les conditions ambiantes des compensateurs textiles jouent un rôle important dans leur conception et choix.

5.1.1. Température Ambiante

Un compensateur textile ne devrait pas être situé dans un secteur à faible circulation d'air ou sujet à un rayonnement de hautes températures. Les compensateurs textiles fonctionnant à des températures élevées (au-dessus de 250°C) dépendent du gradient de la température à travers le compensateur. Ce gradient est la différence entre la température interne élevée (face chaude) et la température externe plus froide (face froide) du compensateur. Les températures ambiantes élevées à proximité du compensateur réduiront ce gradient de température réduisant le taux auquel la chaleur peut être rayonnée de la surface externe du compensateur. Ceci à son tour mènera à la détérioration de la couche d'étanchéité primaire (c.-à-d. la membrane de PTFE) et par conséquent du compensateur. De ce fait, il est important de s'assurer que les dispositions appropriées sont prises pour maintenir les températures ambiantes locales aux recommandations du fabricant. En général on ne permet pas l'isolation externe des compensateurs. Là où des conditions ambiantes externes très froides règnent, il faut prendre en considération qu'il y a possibilité de condensation à l'intérieur des tissus des compensateurs textiles. De contre-mesures telles que l'isolation interne ou externe peuvent être prises en considération.

5.1.2. Environnement

Les compensateurs textiles sont très souvent situés dans des environnements industriels pénibles tels que des centrales électriques, des usines chimiques, des cimenteries etc.. Dans de tels endroits, ils peuvent être soumis à des teneurs de polluants plus élevés que la normale, dont certains peuvent contenir les agents agressifs, pouvant éventuellement s'attaquer à la couche externe en élastomère du compensateur. Si le type et la concentration de tels polluants sont connus lors de la conception, il est possible de concevoir un compensateur qui résistera à une telle attaque par choix d'une couche externe appropriée, résistant aux agents spécifiques.

5.1.3. Localisation

Un compensateur textile peut-être installé aussi bien à l'intérieur d'un bâtiment qu'à l'extérieur soumis aux intempéries. La couche externe de ceux installés à l'intérieur ne doit pas nécessairement être étanche à l'eau.

5.2. Directives de Boulonnage pour les Compensateurs Textiles Boulonnés (avec la permission du RAL)

Guide pour le boulonnage (pour boulons lubrifiés au MoS₂) utilisé pour réaliser l'étanchéité à la fumée (TI-002) ou à la bulle de savon (étanchéité au Nekl – TI-003)

Compensateurs de Dilatation Textiles							Compensateurs de dilatation en Élastomères					
Boulon	Largueur de la Bride						Largueur de la Bride					
	30 mm	40 mm	50 mm	60 mm	70 mm	80 mm	30 mm	40 mm	50 mm	60 mm	70 mm	80 mm
M8	20 Nm	-	-	-	-	-	20 Nm	-	-	-	-	-
M10	30 Nm	40 Nm	-	-	-	-	30 Nm	30 Nm	-	-	-	-
M12	-	50 Nm	60 Nm	-	-	-	-	40 Nm	50 Nm	-	-	-
M16	-	65 Nm	80 Nm	100 Nm	115 Nm	130 Nm	-	50 Nm	65 Nm	75 Nm	90 Nm	100 Nm
M20	-	-	100 Nm	120 Nm	140 Nm	160 Nm	-	-	75 Nm	90 Nm	110 Nm	125 Nm
M24	-	-	115 Nm	140 Nm	165 Nm	190 Nm	-	-	85 Nm	105 Nm	125 Nm	145 Nm
M27	-	-	120 Nm	150 Nm	180 Nm	210 Nm	-	-	95 Nm	115 Nm	140 Nm	160 Nm
M30	-	-	-	165 Nm	195 Nm	225 Nm	-	-	-	125 Nm	150 Nm	175 Nm
M33	-	-	-	175 Nm	210 Nm	240 Nm	-	-	-	135 Nm	160 Nm	190 Nm

Ces valeurs sont données seulement comme guide. Consulter le fabricant pour de plus amples détails.

5.2.1 Directives pour le Dimensionnement des Contre-bridés

Largueur	30	40	50	60	70	80	90	100	mm
Épaisseur	6 ou 8	8 ou 10	8 ou 10	10 ou 12	10 ou 12	12	12	12 ou 15	mm
Espacement	60	80	100	100	120	120	120	120	mm
Boulon M	8 ou 10	10 ou 12	10 ou 12	12 ou 16	12 ou 16	16	16	16 ou 20	

5.2.2 Réduction du Couple de Serrage des Boulons à Températures Élevées

Classe	Température				
	+20°C	+100°C	+200°C	+250°C	+300°C
	Module d'élasticité ReL (N/mm ²)				
4.6	240	210	190	170	140
5.6	300	270	230	215	195
8.8	640	590	540	510	408
10.9	940	875	790	745	705
12.9	1100	1020	925	875	825

5.3. Chargement en Poussière et Vitesse d'Écoulement

La teneur de la poussière du fluide peut exiger une conception spécifique de la section du compensateur textile et des déflecteurs internes. En général, on doit éviter :

- l'abrasion due aux particules de poussière
- sédimentation et compression de la poussière dans l'élément flexible

En raison de la grande variété d'applications et de complexités associées adressez-vous au fabricant des compensateurs textiles pour les conseils technologiques spécifiques. **Voir également la section 4.2.4.**

5.4. Calcul par Éléments Finis

Le calcul par éléments finis permet, entre autres, la simulation très précise et réaliste du comportement mécanique (déplacements, contraintes, déformations, tenue à la température ou aux vibrations etc..) de structures complexes. Ainsi, en phase de conception, on peut tirer très avantageusement profit du calcul par éléments finis pour dimensionner, valider ou optimiser des composants d'assemblages complexes.

La méthode d'élément fini consiste à modéliser par maillage un objet et analyser chaque élément du maillage de l'objet dans les conditions de service de l'objet à l'aide d'équations mathématiques. Le logiciel additionne alors tous ces éléments pour pouvoir prédire le comportement de l'objet complet.

Les calculs par éléments finis sont utilisés pour prévoir le comportement des compensateurs de dilatation pour les phénomènes physiques suivants :

- transfert thermique
- contraintes mécaniques
- vibrations

Le calcul par éléments finis est largement appliqué pour vérifier la conception des compensateurs textiles et de leurs brides métalliques des conduites d'échappement des turbines à gaz.

5.5. Fuites

Les compensateurs textiles sont conçus pour être pratiquement étanche aux fuites. Bien qu'il est aisé d'obtenir en laboratoire des compensateurs à fuite zéro ou étanche à la bulle de savon (au nekal) il est nécessaire pour les compensateurs multicouches pour de hautes températures de contrôler leur étanchéité aux conditions de service.

Par le choix et une conception soignée des compensateurs de dilatation mono-couches en élastomères, avec leur élasticité inhérente, il est beaucoup plus facile d'assurer des systèmes à fuite zéro, à condition d'apporter une attention particulière à la qualité des brides métalliques.

On peut être considéré que la grande majorité des compensateurs textiles (mono et multicouche) ne fuient pas à travers le corps du compensateur à condition d'avoir utilisé des matériaux appropriés. Cependant, une attention particulière devrait être accordée à l'état et la conception générale des parties de fixation métalliques tel que les brides et leur état de surface, les renforts des brides et les boulons. C'est dans ce secteur qu'a lieu le plus grand potentiel de fuite. La fourniture par le fabricant de compensateurs textiles pré montés en atelier sur leurs parties métalliques garantit toujours un taux de fuite inférieur que pour les compensateurs montés fermés sur leurs brides ou raboutés sur site.

Il est possible de démontrer l'étanchéité aux fumées³ et l'étanchéité à la bulle de savon⁴ (au nekal) en laboratoire en respectant des méthodes d'essais appropriés⁵.

5.6. Teneur en Humidité, Condensation et Lavage

L'humidité, dans un système de gaines de fumées, peut avoir un effet préjudiciable et néfaste à la durée de vie des compensateurs textiles et doit donc être pris consciencieusement en considération. Aux températures de fonctionnement au-dessus du point de rosée du fluide, l'humidité apparaîtra seulement quand le système se refroidit. Toutefois, cette humidité est souvent un condensât agressif et est un facteur important s'il y a les cycles thermiques fréquents. Aux températures de fonctionnement, au-dessous du point de rosée, les fluides peuvent contenir un degré élevé d'humidité, qui peut être très corrosif et endommager les compensateurs textiles.

Là où des conditions ambiantes froides règnent, il faut considérer qu'une condensation peut se produire dans les compensateurs textiles. La condensation peut se produire quand un compensateur est situé dans un système de gaines à température relativement basse. Ce compensateur aura dans ce cas une face interne froide sur laquelle la condensation peut se former. Si la face froide est en dessous du point de rosée, provoquant la formation du condensât, celui-ci agressera le compensateur de l'intérieur causant sa détérioration prématurée. L'on peut prévenir cette condensation interne en dotant le compensateur d'une isolation externe (note : l'isolation interne devrait être évitée). L'isolation externe ne peut seulement être installée que si la température de service de la gaine est inférieure à la température maximum que les constituants du compensateur peuvent supporter.

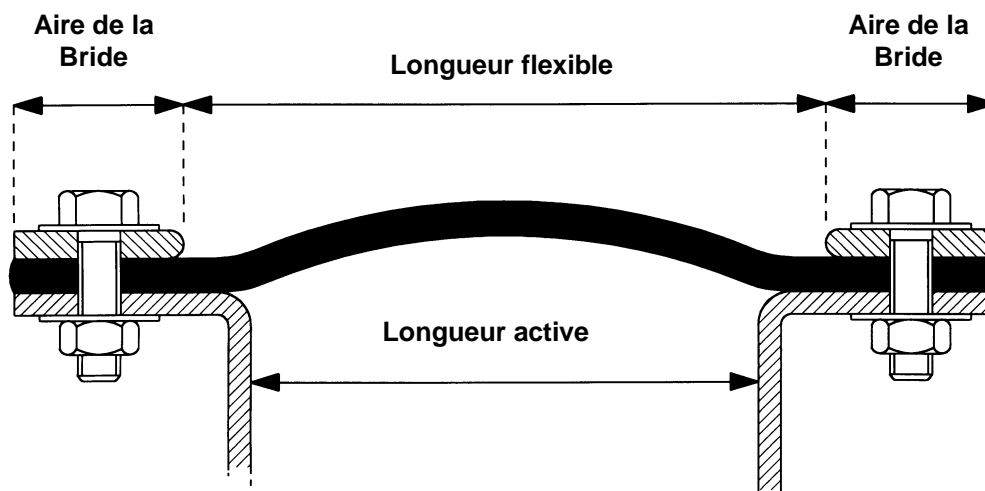
Il faut prendre davantage en considération l'utilisation des matériaux alternatifs qui sont moins sujet à l'agression par du condensât acide.

Comme mentionné sous la section 4.2.6. les déflecteurs internes doivent être conçus de sorte qu'elles ne retiennent pas la poussière ou le condensât ! Veuillez vous faire conseiller par le fabricant.

Lorsqu'il est nécessaire d'effectuer un lavage des gaines ou de la turbine à gaz, il faudrait équiper le compensateur textile d'une purge appropriée, afin d'empêcher l'accumulation de l'humidité dans le matériel du compensateur. Dans la mesure du possible, le compensateur textile ne devrait pas être monté au point le plus bas de l'installation.

5.7. Déplacement

Les compensateurs textiles sont conçus pour absorber les déplacements et les défauts d'alignement dans les gaines et les canalisations. La longueur active du compensateur est la partie qui permet le déplacement. Elle absorbe la vibration et les déplacements thermiques de la gaine, et peut ou peut ne pas être identique que la longueur flexible, qui est cette partie du compensateur textile située entre les brides de fixation :



Les déplacements sont normalement induits par la dilatation thermique de la gaine ou du conduit, mais d'autres types de déplacements sont également possibles, tel que : due au vent, la charge due à la neige, des défauts d'alignement des gaines, la vibration et le tremblement de terre.

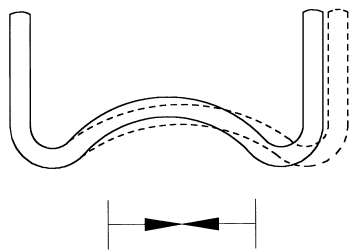
³ Spécification d'essais **RAL TI-002 Rév. 1-06/98** Les compensateurs de dilatation étanches à la fumée sont considéré comme étanche lorsque : "... aucune bulle peut ne pas apparaître dans le secteur de soufflet..." ainsi que : "... l'apparition d'un nombre limité de bulles de mousse dans le secteur de fixation du compensateur est toutefois permise.

⁴ Spécification d'essais **RAL TI-003 Rév. 1-06/98** Les compensateurs de dilatation étanches à la bulle de savon sont considéré comme étanche à la bulle de savon (au nekal) lorsque : "... aucune bulle peut ne pas apparaître dans le secteur de soufflet..." ainsi que : "... ceci concerne les deux aires c.à.d. les soufflet et l'aire de fixation.

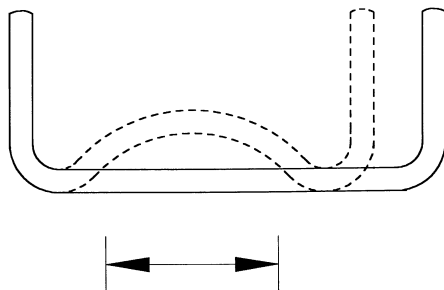
⁵ Méthode d'essais similaire à : DEHEMA **Bulletin d'information ZfP1**, annexe 1 § 2.2 : Méthode de la bulle avec un liquide moussant.

Les compensateurs textiles autorisent 5 déplacements différents :

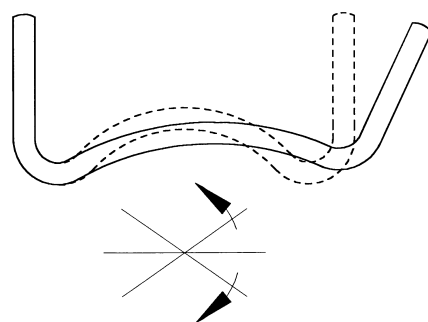
Compression Axiale (-) :



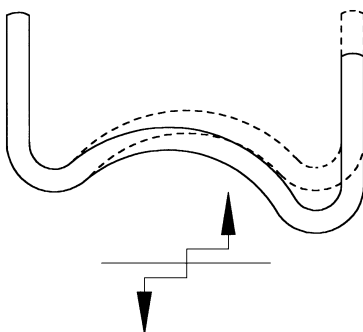
Extension Axiale (+) :



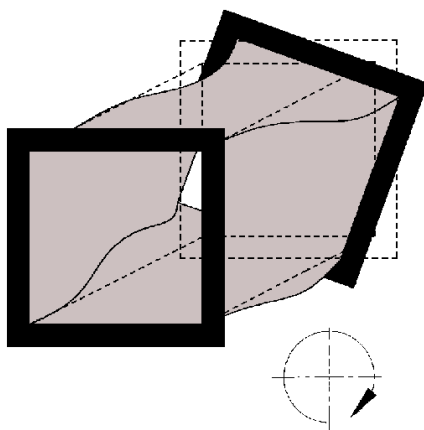
Déplacement Angulaire :



Déplacement Latérale :



Torsion :



La flexibilité dépend du nombre de couches, de la flexibilité des différentes couches, et de la largeur du compensateur textile. La flexibilité spécifique des compensateurs textile peut être obtenue du fabricant.

5.7.1. Vibration et Déplacements Cycliques

Le déplacement provoqué par la vibration ne devrait pas être confondu avec le déplacement dû au cycle thermique, qui est lent et relativement peu fréquent. Les matériaux fibreux ont une résistance faible à de haute fréquence amplitude. **En conséquence, des vibrations doivent être considérées séparément des déplacements thermiques**, afin d'assurer le bon choix de matériau et fournir des recommandations appropriées de conception. **Veillez consulter le fabricant.**

5.8. Bruit

La réduction du bruit peut être d'une considération importante lors de la de conception dans certaines circonstances, et peut être atténué par l'insonorisation de la gaine. Les compensateurs textiles peuvent être la source primaire du bruit dans un système de gaines, un coussin acoustique interne peut être incorporé lors de la conception pour réduire un tel bruit. Le coussin sera normalement fabriqué dans du matériel d'isolation emballé dans un tissu résistant à la température ou un tissu métallique (ou les deux) et est situé entre le compensateur et le déflecteur interne. L'insonorisation externe des compensateurs textiles n'est habituellement pas permise pour des raisons indiquées dans le § 5.1.1. **Température ambiante.** La conception du(des) déflecteur(s) interne peut également jouer un rôle important dans la performance acoustique d'un compensateur.

5.9. Pression – Pressions Pulsées et Battement (Flottement)

La pression de service dans un système est un facteur crucial affectant la conception des compensateurs textiles. La nature très flexible des matériaux pose un nombre de problèmes de conception qui doivent être abordées. Bien que les pressions de service maximum dans des systèmes de gaines soient basses par comparaison avec des systèmes de tuyauteries, de fortes variations de la pression, telles qu'un changement de positif au négatif ou des surpressions brèves peuvent se produire. De telles variations devraient être incluses dans la pression de design indiquée, et la mesure d'étanchéité au gaz prévue par l'utilisateur. Le soin particulier dans le choix et la construction des matériaux doit tenir compte de :

- *Tenue à la pression de conception indiquée, dans toutes les conditions du déplacement et de la température, sans mettre en sur-contrainte quel élément que ce soit du compensateur textile.*
- *Change de pression positive en négative ce qui pourrait piéger des matériaux et les comprimer ou les mettre en contact avec des parties pointues ou chaudes d'une gaine.*
- *La pression élevée et la compression permettant les matériaux de s'user sur les têtes de boulon des contre-bridés.*
- *L'alternance de la pression causant les espaces significatifs entre les couches de matériaux, qui pourraient permettre la circulation du gaz chaud entre les couches des compensateurs multicouches.*
- *Transitoires de pression (coups de bélier) se produisant en lors de l'exploitation.*

5.9.1 Pressions Pulsées

La pression pulsée dans une gaine ou une canalisation peut être nuisible à un compensateur, en particulier à ceux fabriqués en tissu de verre ou de céramique. La variation rapide de la pression cause la fatigue des fibres, et peut mener à la détérioration prématurée du compensateur textile. Une attention particulière est exigée lors de la conception de compensateurs textiles pour les échappements de moteur de combustion. Il faut s'assurer que le compensateur n'est trop près du moteur. Une distance suffisante est nécessaire pour permettre aux fluctuations de pression de s'abaisser.

5.9.2 Battement (Flottement)

Le battement peut être induit par des ventilateurs, en particulier lorsque le système est en déséquilibre et l'on doit en tenir compte lors du choix des matières. Pour surmonter le flottement des matériaux utilisés, qui pourraient mener à une détérioration prématurée, ceux-ci doivent être choisis avec une épaisseur et densité suffisante pour amortir les oscillations. Des matériaux élastomères renforcés sont généralement indiqués pour les compensateurs textiles montés à l'aspiration ou au refoulement de ventilateurs.

Le flottement dans des compensateurs de compensateurs textiles peut être induit par la vitesse élevée des gaz, mais peut être éliminé par une conception soigneuse des déflecteurs. L'insertion d'un coussin isolant peut également aider à réduire le flottement.

5.10. Température

Pour plus d'information concernant la température ambiante, référez-vous au § 5.1.1. **La température ambiante.**

5.10.1 Température de Service

La température de service est la température normale des fluides dans les canalisations, gaines et gaines de cheminée. Elle est normalement indiquée en °C en tant que température de conception ou température de service maximum. Voir également le § 5.6. **Teneur en humidité, condensation et lavage.**

5.10.2 Cycles Thermiques

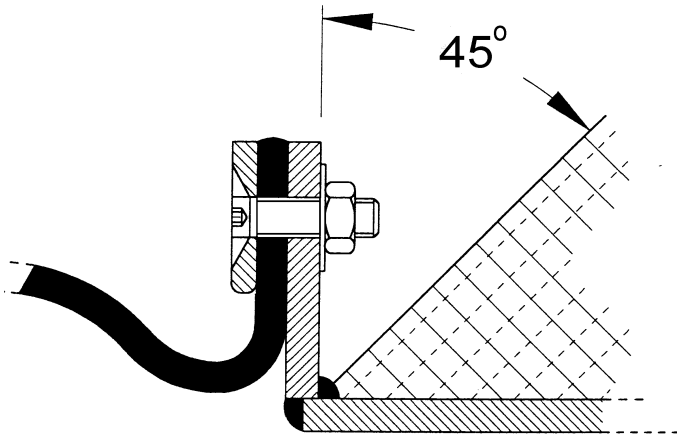
La définition d'un cycle thermique est quand la température dans un système de gaines ou de canalisation va de la température ambiante à la pleine température de service et puis revient à la température ambiante. Le nombre de cycles thermiques est souvent employé pour calculer l'espérance de vie des gaines en acier pour les dispositifs d'échappement de turbine à gaz ou la quantité de fois que pourrait apparaître de la condensation dans le système lors des cycles de refroidissement. Voir également le § 5.6. **Teneur en humidité, condensation et lavage.**

5.10.3 Température Accidentelle - Perturbée

De temps en temps, les systèmes de canalisations ou gaines peuvent avoir des conditions de service perturbées ou accidentelles. C'est une situation quand, pendant une courte période, la température dans le système augmente au-dessus de la température de service normale. Le concepteur des compensateurs textiles doit considérer cet état perturbé en durée et en température pour faire le choix judicieux des matériaux.

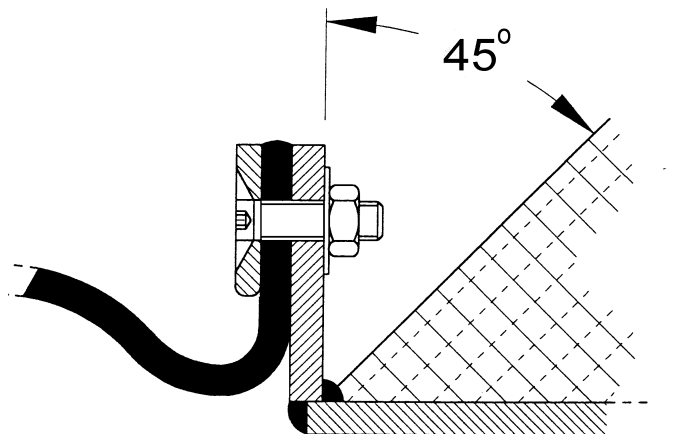
5.10.4 Isolation Externe

Un compensateur textile ne devrait pas être pourvu d'une isolation externe, excepté quand il est nécessaire de maintenir la température du compensateur au-dessus du point de rosée. Il est important de ne pas isoler le compensateur à l'endroit des brides de fixations pour que le flux d'air environnant puisse les refroidir. Nous montrons ci-après comment procéder. L'angle ne doit pas être inférieur à 45°.



Isolation extérieure installée sur un compensateur à bords rabattus

Isolation extérieure installée sur un compensateur à bords droits



5.11. Tolérances

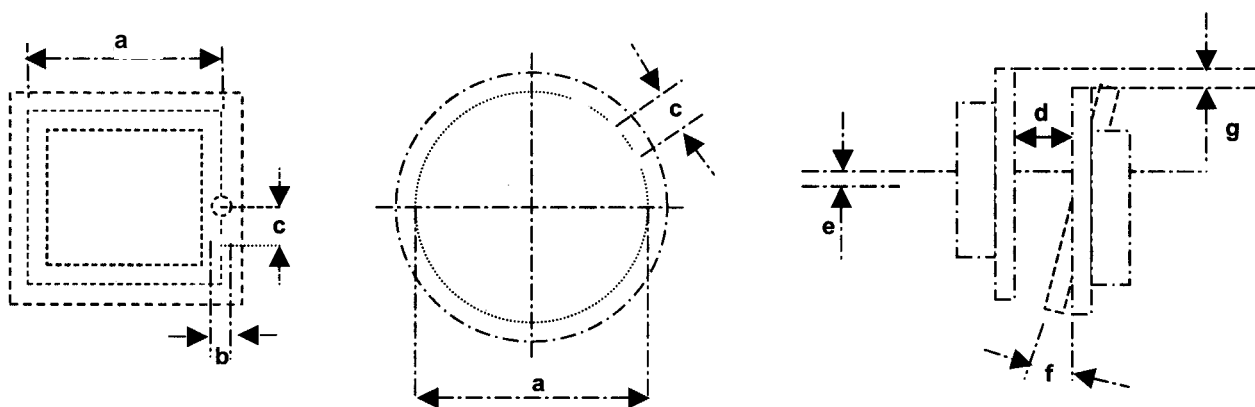
La nature flexible des compensateurs textiles réduit la nécessité d'avoir des tolérances de fabrication très serrées. Cependant, il est nécessaire de définir les tolérances d'interface pour les compensateurs de dilatation et de leurs brides de raccordement aux gaines ou à d'autres composants.

Veillez consulter les standards suivant pour les tolérances générales :

- ISO 2768-1 (1989) Tolérances pour des dimensions linéaires et angulaires sans indications de tolérance
- EN ISO 13920 (1996) Tolérances générales pour constructions mécano-soudées – dimensionnements des longueurs et des angles

5.11.1 Tolérances d'interfaces

Définis les tolérances applicables à la gaine de l'utilisateur et le compensateur de dilatation en tissu. Les tolérances acceptables sont :



a. Cercle de perçage / pour longueur $\leq 1,5$ m	± 3 mm
a. Cercle de perçage / pour longueur $> 1,5$ m	± 6 mm
b. Diamètre des trous	-0, +1 mm
c. Espacement entre les trous (Espacement entre boulons)	$\pm 1,5$ mm
d. Distance de face à face y compris défaut de parallélisme "f"	± 10 mm à n'importe quel point du Comp.
e. Désaxage	± 3 mm
g. Alignement des brides	± 3 mm

5.11.2 Autres tolérances

Diamètre ou dimension intérieur de la gaine	< 2 m	± 5 mm
	≤ 2 m < 5 m	± 8 mm
	> 5 m	± 12 mm

État de surface des Brides

Planéité	$\pm 1,5$ mm par longueur de 1 m
Fléchissement aux angles externes	1,5 mm par 100 mm de largeur

Veillez entrer en contact avec le fabricant des compensateurs de dilatation si aucune des tolérances ci-dessus ne peuvent être respectées.

6. Matériaux

Une grande variété de matériaux peut être utilisée en fonction des conditions en service. Il faut tenir compte des résistances à : l'abrasion, produits chimiques, corrosion, la température et de la matière. La plupart des informations ont été aimablement communiquées par Du Pont, Dow, CICIND et le FSA que nous remercions.

6.1. Élastomères, Plastiques et Polymères Fluorés

Une grande variété peut être employée, avec différentes propriétés. En général, les élastomères devraient toujours inclure des matériaux de renfort, tel que la fibre d'aramide, fibre de verre ou tissu en acier inoxydable.

Pour assurer une durée de vie raisonnable, une isolation appropriée doit être utilisée lorsque les conditions de fonctionnement prévues sont supérieures aux tenues de fonctionnement en continu maximum des matériaux constitutifs du compensateur textile. Dans les cas d'une isolation inadéquate, les excursions de la température au-dessus de la tenue de fonctionnement continue maximum sont susceptibles de réduire la durée de vie du compensateur textile.

Propriétés des principaux élastomères et polymères fluorés :

	Élastomères						Polymères fluorés	
	Néoprène	Hypalon®	EPDM	Chlorure de Butyle	Élastomères fluorés	Silicone @	PTFE (poly tétrafluoréthylène)	FEP (Fluoréthylène propylène)
Plage de Température								
Température de service minimum	-40°C	-40°C	-50°C	-40°C	-40°C	-50°C	-80°C	-80°C
Température de service max. continu	80°C	100°C	150°C	150°C	200°C	230°C	260°C	200°C
Temps intermittent/cumulé (Hrs) #	120°C/464	120°C/2600 180°C/70	180°C/200	180°C/150	290°C/240 310°C/48 340°C/16 (*)370°C/4 (*)400°C/2		370°C	260°C/100
Résistance Chimique								
H ₂ SO ₄ 70°C < 50 %	✘	✓	✓	✓	✓	✘	✓	✓
H ₂ SO ₄ 70°C > 50 %	✘	¿	✘	✘	✓	✘	✓	✓
HCl 70°C < 20 %	✘	¿	¿	¿	✓	✘	✓	✓
HCl 70°C > 20 %	✘	✘	✘	✘	¿	✘	✓	✓
Ammoniac anhydrique	✓		✓	✓	✘	✘		
NaOH < 20 %	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
NaOH > 20 %	✓	✓	✓	✓	¿	¿	✓	✓
Résistance à l'abrasion	✓	✓	✓	✓	✓	✘	✘	✘
Stabilité vis à vis de l'environnement								
Ozone	¿	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Oxidation	¿	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Lumière solaire	¿	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Radiations λ	✓	✓	✓	✘	¿	¿	✘	✘

Légende :

- ✓ = aucune influence ou influence minimale des produits chimiques ou de l'environnement
- ¿ = influence mineure à modérée des produits chimiques ou de l'environnement
- ✘ = influence sévère, aucune tenue à ces produits chimiques ou de l'environnement
- (*) = élastomères fluorés renforcés de matériaux inertes
- # = le dépassement de la température d'utilisation réduit la durée de vie du produit.
- λ = veuillez respecter les consignes du fabricant des compensateurs de dilatations souples pour l'utilisation nucléaire
- @ = La silicone ne doit être utilisée que pour de l'air propre, il n'est pas admis de la mettre en contact avec des fumées

6.2. Matériaux pour Couche Porteuses, d'Isolation, de Barrière Chimique et de Protection Externes

Veillez vous référer à la section **4. 1. Composants majeurs**, pour l'explication concernant l'utilisation de ces matériaux.

	Température de service maximum en continu (°C)
Matériaux de protection externe	
Néoprène	90
EPDM (Traité au soufre)	120
EPDM (Traité au peroxyde)	150
Élastomères fluorés	205
Silicone	220
Polymères fluorés	260
Matériaux pour Barrière Chimique	
Élastomères fluorés	205
Polymères fluorés	260
Folio en acier inoxydable	450
Matériaux d'isolation	
Tissu en fibre de verre ou feutre aiguilleté	500
Laine minérale	750
Tissu en fibre de verre ou feutre aiguilleté pour haute température	800
Feutre aiguilleté en silicate	1000
Matériaux d'isolation non céramique pour hautes températures	1000
Feutre aiguilleté en céramique	1260
Matériaux pour Couches porteuses	
Tissu en fibre de verre (sans renfort d'un fil métallique)	450
Tissu métallique en acier inoxydable	550
Tissu métallique en aciers alliés	850
Tissu en silicate	1000

6.3. Essai des Matériaux

La qualité des matières utilisées dans la fabrication des compensateurs textiles peut être identifiée par certaines normes internationales, dont beaucoup sont listées ci-après. Vérifiez avec le fabricant du compensateur textile les détails des normes spécifiques appropriées à votre application particulière.

Standard ISO/EN		Équivalents nationaux
A. Caoutchoucs		
ISO 37	Détermination de résistance à la traction, d'effort maximum, d'élongation à la rupture et des valeurs d'effort par un essai de traction	BS 903 Part A2 DIN 53504
ISO 48	Méthode pour la détermination de la dureté	BS 903 Part A26
ISO 132	Détermination des fissures et progression de la fissure	préfixe BS – double numérotation BS903 Part A10 DIN 53522 (Part)
ISO 133	Détermination des fissures et progression de la fissure	BS903 Part A11 DIN 53522 (Part)
ISO 188	Essais accélérés de résistance au vieillissement et de résistance à la chaleur	préfixe BS – double numérotation BS903 Part A19 DIN 53508
ISO 868	Méthode pour déterminer la dureté	BS903 Part A16 DIN 53505
ISO 1817	Détermination de la résistance aux liquides, vapeurs et gaz	préfixe BS – double numérotation BS903 Part A16 DIN 53521
B. Tissus		
ISO 1421	Détermination de la résistance à la traction, à l'élongation et à la rupture	préfixe BS (remplace BS 3424 Part 4)
ISO 4674	Détermination de la résistance au fendillement des tissus enduits de caoutchouc ou d'élastomères par la méthode du pendule balistique	préfixe BS (remplace BS 3424 Part 4)
EN10204	Documents de contrôle	préfixe BS préfixe DIN
EN ISO 13934-1	Essais de traction simplifiée sur des bandes de tissus	Préfixe BS (remplace BS 2576) Préfixe DIN

Voir aussi : Pages d'information ZfP de la DECHEMA⁶ :

Essais non destructifs des industries chimiques

Test d'étanchéité sur des appareils et composants d'industries chimiques

⁶ Deutsche Gesellschaft für Chemisches Apparatewesen, Chemische Technik und Biotechnologie (Société allemande pour appareils chimiques, techniques chimiques et biotechnologie)

7. Salubrité et Sécurité

De nombreuses variétés de fibres, d'élastomères et de polymères fluorées peuvent être employées dans la production des matériaux pour la fabrication de compensateurs textiles.

L'expérience a attribué, un certain nombre de maladies, à l'exposition fréquente à certains de ces matériaux. Par exemple, les effets défavorables sur la santé de l'exposition à un taux élevé de poussière de certaines fibres (notamment amiante) dans l'air ambiant, ont été bien documentés, ce qui a conduit au développement d'un éventail de lois restrictives. Il est évident que les effets sur la santé divergent nettement en fonction des différents types de fibre (même parmi les différentes formes d'amiante) ; Les effets sur la santé de beaucoup de fibres naturelles ou synthétiques de remplacement ont également été étudiés pendant la dernière décennie.

Matériaux de Compensateur Textile

Les compensateurs textiles mono-couche en élastomère ou polymère fluoré renforcé par des fibres, ne présentent aucun risque en matière de sécurité sanitaire. Lors des manipulations et une utilisation normale, il est peu probable que ces produits provoquent un niveau significatif d'exposition aux matériaux de renfort. Les fibres sont enrobées un d'élastomère (ou sont polymérisés), et comme telles, ne peuvent pas pénétrer le corps humain en tant que poussières dans l'air.

Les compensateurs textiles multicouches sont fabriqués à partir de différentes variétés de matériaux fibreux, tissé ou sous forme de feutre. Certains de ces derniers pourraient être irritants ou classifiés comme étant probablement dangereux. Par conséquent, indépendamment des fibres impliquées, il est recommandé que les matériaux fibreux des compensateurs textile devraient être traités avec soin, pour éviter la production inutile de poussière. Les mêmes précautions doivent être prises lors du remplacement du compensateur sur site pour réduire au minimum la poussière. Dans tous les cas, de bonnes normes d'hygiène doivent être appliquées, et les déchets devraient être transférés à un site habilité à recevoir des matériaux industriels de cette nature.

Bien que les matériaux soient en soi ininflammables, la décomposition peut se produire dans certains cas à des températures élevées ou dans brasier, provoquant parfois la production de vapeurs irritantes, nocives ou toxiques.

Matériaux contenant les Fibres en Céramique

Les matériaux de compensateur de dilatation contenant les fibres en céramique peuvent provoquer de la poussière nocive lors de traitement mécanique intensif ou si le produit a été détérioré. Les fibres en céramique ont été classifiées par le Parlement européen et le Conseil de Ministres (Directive **EU 97/69/EC : Classification, Packaging and labelling of Dangerous Substances**⁷ du 5 décembre 1997) comme **Substance Cancérogène de Catégorie 2** (substances qui doivent être considérées comme cancérogènes pour l'homme). L'exposition professionnelle à la poussière de fibre de céramique devrait être réduite au minimum et tenue au-dessous des limites nationales d'exposition. En conséquence, les membres d'ESA éviteront l'utilisation des matériaux en céramique lorsqu'une alternative appropriée est disponible - consultez le fabricant de compensateur de dilatation pour plus de détails.

Matériaux contenant d'autres fibres

Celles-ci peuvent inclure un certain nombre de fibres, tel que l'aramide, le verre et des fibres minérales faite par l'homme (appelé MMMF en anglais). La plupart sont ininflammables. Certaines de ces fibres (habituellement de diamètre spécifique) peuvent causer de l'irritation à ceux qui ont une peau sensible.

Bien que la majorité de ces matériaux soient considérés comme non-dangereux, certains sont soupçonnés ou sont considérés comme probablement dangereux. La directive européenne **EU 97/69/EC**, a classifié la plupart des fibres vitreuses (roche, verre etc..) en tant que **Substance Cancérogène de Catégorie 3** (les substances qui peuvent éventuellement avoir des effets cancérogènes pour l'homme), excepté ceux répondant à certains critères d'exonération, tels que le diamètre de fibre, la longueur ou la solubilité. L'aramide, le verre, et les fibres de basalte utilisées dans des compensateurs textile répondent généralement à ces critères d'exonération. Les fibres minérales ont été classifiées en tant qu'**irritant pour la peau**. La classification des fibres vitreuses en tant que Substance cancérogène catégorie 3 est conforme à la classification déjà en vigueur dans la plupart des règlements nationaux des États membres de l'Union Européenne. L'exposition professionnelle à de telles poussières devrait être réduite au minimum et tenue au-dessous des limites nationales d'exposition.

Matériaux contenant des Élastomères Fluorés et des Polymères Fluorés

Bien que ces matériaux soient généralement ininflammables, leur décomposition peut se produire à des températures élevées ou dans un brasier, provoquant la production de vapeurs irritantes, parfois nocives ou toxiques.

Faites-vous toujours conseiller par le fabricant pour les produits spécifiques !

⁷ Classification, emballage, marquage de substances dangereuses

8. Transport, Stockage, Manipulation et Montage, Directives Après Montage

Une partie de ce chapitre a été adapté à partir des directives du RAL-GZ 719, TI-008 que nous remercions.

Les compensateurs textiles sont des produits de haute technicité qui doivent être manipulés avec soin.

8.1. Emballage

En l'absence d'autres conditions du client, les compensateurs textiles seront emballés dans des caisses cartons-palettes standards ou similaires permettant d'être manutentionné à l'aide de transpalettes ou des chariots élévateurs. Des conditions spéciales devraient être prises en accord avec le fabricant :

- caisses en carton, palettes
- emballage maritime
- emballage en container
- emballages spéciaux

Tous les emballages sont conçus pour être manipulés avec des transpalettes, des chariots élévateurs ou des grues. L'emballage assure la meilleure protection pour les compensateurs textiles (pour le transport et pour le stockage court) et devrait être acheminé à l'endroit réel d'installation, seulement juste avant l'installation.

L'entreposage à long terme peut exiger un emballage spécial ou des règles précises et doit être débattu avec le fabricant.

8.2. Transport

Des compensateurs textile sont emballés pour le transport selon leur taille, la méthode et la durée du transport, la destination finale d'expédition et la durée prévue du stockage. Des dommages ne devraient pas se produire pendant le transport normal.

Les caisses en carton sur palettes, les caisses en bois et les récipients sont conçus/approprié pour être manipulés par des chariots élévateurs ou des grues. Les caisses en carton sur palettes ne peuvent pas être gerbées. La portance maximum (capacité de levage) doit être respectée.

Les compensateurs textiles déballés doivent être déplacés avec un soin extrême. Veuillez noter :

- Les compensateurs textiles déballés doivent être placés sur une base plane et stable (par exemple une palette) et doivent être protégés temporairement pendant le transport (y compris à l'endroit du montage !)
- Les points d'attache pour l'équipement de levage doivent être sur la base (palette)
- Le cas échéant, employez toujours plusieurs personnes pour porter.
- Ne traînez pas les compensateurs textiles par terre ou sur des arrêtes vives.
- Déplier prudemment les compensateurs lors de basses températures, réchauffez-les plutôt.

8.3. Stockage

L'état et la durée du stockage ont une influence sur l'état des compensateurs textiles :

- Stockez les compensateurs textiles dans leur emballage d'origine.
- Stockez les compensateurs textiles au sec. Évitez l'humidité élevée.
- Protégez les compensateurs textiles contre les influences atmosphériques tel que lumière du soleil directe, la pluie etc..
- Stockez les compensateurs textiles si possibles à l'intérieur des bâtiments
- La température recommandée pour le stockage est de + 10°C à + 20°C
- Ne stockez pas d'autres équipements sur les compensateurs textiles
- La pénétration de l'ozone, l'influence chimique et des conditions environnementales agressives doivent être évitées lors de stockage excédent les 6 mois.

8.3.1 Stockage de courte durée avant installation

Tenez comptes de ces recommandations complémentaires :

- Stockez le compensateur textile dans un conteneur imperméable ou maritime.
- Pendant le stockage de courte durée à l'extérieur, le compensateur textile doit être couvert d'une bâche imperméable contre les intempéries être protégés contre l'humidité du sol.
- À des basses températures ambiantes, les compensateurs textiles ont une résistance accrue au dépliement. Dans ces conditions, on recommande que le compensateur textile soit stocké à l'intérieur dans un environnement plus chaud immédiatement avant son installation.

Veuillez contacter le fournisseur de toute façon si l'emballage est endommagé pendant le transport ou le stockage.

8.4. Pré-vérifications avant l'installation

Veillez faire les vérifications suivantes avant d'installer le compensateur textile :

- Les brides de la gaine sont en bon état, soudées entièrement sans interruption et sont exemptes d'arêtes vives, de brames, copeaux etc..
- Les dimensions et les perçages des brides des gaines et des contre-brides sont corrects.
- Les brides des gaines sont correctement alignées.
- L'extrémité des contre-brides en contact avec les tissus doit être pourvue d'un rayon.
- Les déflecteurs internes doivent être en bon état et bien orientés.

Pour les compensateurs à bords rabattus il faut en outre vérifiez que :

- Les têtes de boulon n'endommagent pas les couches externes du compensateur de dilatation lors du déplacement dû à la dilatation thermique.
- Dans des espaces confinés ou quand de grands déplacements sont prévus, que les contre-brides soient équipées de boulons à têtes fraisées.

N'installez jamais les composants endommagés !

8.5. Manipulation avant et lors de l'installation

Pour préserver la durée vie et la fiabilité du compensateur textile, respectez les précautions suivantes :

- Les compensateurs textile grands ou lourds doivent être totalement supportés pendant leur installation à l'aide de grues ou de poulies.
- On ne peut pas fixer le dispositif de levage, pour soulever les compensateurs textiles, directement au tissu. Le compensateur textile devrait être posé sur un support plane, auquel l'attirail de levage peut être attaché.
- Des compensateurs textiles, qui ont été pré-monté par le fabricant, doivent être soulevés par les oeillets de levage et pas par leurs barrettes de blocage pour expédition (à moins que le fabricant ait spécifiquement combiné les deux)
- Aucun dispositif de protection et ou barrette de blocage pour expédition ne doivent pas être enlevés tant que le montage de l'usine n'est pas terminé, mais doivent être ôtées immédiatement avant la mise en service de l'unité.
- Protégez le compensateur textile contre des étincelles de soudure et la chute d'objets pointus.
- Ne vous promenez pas, ni placer pas d'échafaudage sur les compensateurs textiles.
- Toutes les contre-brides, y compris leurs boulons et écrous, doivent être en place, boulons serrés à la main avant de les serrés définitivement au couple de serrage requis.
- Le couple de serrage des boulons dépend du type de compensateur, du pas de perçage, de l'épaisseur de la contre-bride et de la lubrification des boulons. Veuillez voir les directives de boulonnage de la section 5.2 pour les compensateurs textiles boulonnés.

8.6. Après Installation

Quand le compensateur textile est soumis à la température pour la première fois (comme lors du démarrage de l'usine), ses composants subissent un tassement consécutif à leur mise en place. Par conséquent, les boulons des compensateurs textiles devraient être resserrés le plutôt possible après le démarrage et plus tard au premier arrêt. Serrez seulement au couple de serrage recommandé par le fabricant.

Comme n'importe quel autre composant d'une installation industrielle, un compensateur textile exige de la surveillance afin d'assurer sa fiabilité maximum. Les compensateurs textiles devraient être considérés comme des pièces d'usure, ce qui signifie que ces pièces, doivent être remplacées à intervalles réguliers. Des arrêts intempestifs en situation d'urgence peuvent être très coûteux, c'est pour cela qu'il est conseillé de remplacer périodiquement ces pièces d'usure.

Bien que, en général, les compensateurs textiles n'exigent pas d'entretien, ils devraient être inspectés régulièrement pour s'assurer qu'il n'y ait pas des signes de détérioration. Les éventuels premiers signes évident de détérioration se verront sur la surface externe. La couche externe peut commencer à se décolorer ou s'éplucher, selon le type de dommages (thermique ou chimique). Si un quelconque de ces signes apparaît, entrez immédiatement en contact avec le fabricant du compensateur textile.

9. Assurance Qualité

Ce chapitre est adapté à partir du manuel technique⁸ concernant les systèmes de gaines et de canalisation du FSA, avec nos remerciements.

Les normes internationales pour des systèmes de gestion de qualité, tels que la norme ISO 9000, définissent les conditions, démontrant la capacité du fournisseur de concevoir, fournir et documenter des produits conformes. Ces conditions visent la fourniture de produits donnant satisfaction au client en évitant les non-conformités à toutes les étapes de la conception à la livraison à l'aide d'audits internes.

La certification à la norme ISO 9000 assure la vérification et la documentation des procédures pour contrôler la garantie de la qualité dans la fabrication de compensateurs textiles, à partir du choix des matériaux, la fabrication, les essais et contrôles associés jusqu'à la livraison.

9.1. Identification et Contrôle des Matières

Le système sera employé pour s'assurer que les matières employées dans la fabrication du compensateur textile répondent aux exigences du plan qualité, des caractéristiques, etc.. Des procédures documentées existeront pour l'identification et le traçabilité des matières employées dans le produit fini. Pour plus de détails sur les essais de matériaux, référez-vous au **Chapitre 6. Matériaux**.

Les matières premières et les pièces finies seront correctement stockés et protégés pour éviter des dommages.

9.2. Contrôle des Plans et des Documents

Des plans d'ensemble, si nécessaire, sont faits à partir des caractéristiques, des plans, des conditions d'achat ou de toute autre information indiquée par le client. Des procédures documentées seront établies pour contrôler tous les documents et données qui se relient aux documents ci-dessus.

Quand l'acheteur a besoin de plans approuvés, le fabricant soumettra les plans reprenant les dimensions de base, les conditions de fonctionnement, les déplacements, les matériaux et toute autre information relative au produit finis. Le fabricant possédera un enregistrement et un suivi de tous les plans approuvés par le client avec leur révision.

9.3. Procédés de Fabrication et Contrôles Associés

Une procédure sera employée pour s'assurer que seulement les plans approuvés et les procédures de fabrication applicables sont utilisées. Le fabricant documentera des procédures pour que les procédés de production, de contrôle final, d'installation et de maintenance assurent la qualité d'un produit conforme.

9.4. Inspection, Essais et Documentation

Chaque fabricant rédigera et emploiera des procédures écrites couvrant les contrôles en cours de fabrication, les contrôles dimensionnels, les contrôles visuels, les essais non destructifs et d'autres opérations nécessaires pour s'assurer que les compensateurs de dilatation répondent aux caractéristiques demandés. Le procédé indiquera les standards d'acceptation applicables et prévoira des moyens pour documenter toutes ces opérations et certifier qu'elles ont été effectuées et que les résultats sont satisfaisants.

9.4.1 Essai Physique

Vu la très grande taille des compensateurs textiles il est pratiquement impossible de réaliser des essais en usine pour chaque compensateur car le coût d'un tel programme d'essai serait prohibitif comparé à la valeur du compensateur. Une petite fuite est normalement acceptée dans une installation. Des essais de pression structuraux ne sont normalement pas pratiqués et ne sont pas recommandés.

Des matières employées dans la fabrication des compensateurs textiles seront testées pour la garantir leur qualité et des procédures écrites seront établies pour enregistrer les résultats. Le produit sera vérifié à chaque étape de fabrication pour assurer un produit finis répondant aux critères demandés.

Le fabricant établira et archivera des enregistrements, qui documentent que le produit a été, inspecté et/ou examiné, et si le compensateur textile a passé ou n'a pas passé les inspections et/ou des essais.

9.4.2 Essai Thermique

Sur demande, les fabricants peuvent fournir des essais démontrant la capacité de la conception globale et que la combinaison des matériaux proposée est apte à résister à la température maximale pour laquelle le compensateur textile est proposé. L'aire des brides sera prise particulièrement en considération et sera discutée en détail avec le fabricant.

⁸ **Ducting Systems – Technical Handbook** (3^{ème} édition), publié par the Fluid Sealing Association, 1997.

9.4.3 Étanchéité

Pour des recommandations concernant le couple de serrage des boulons, voir le **§ 5.2. Directives de boulonnage pour les compensateurs textiles boulonnés.**

Les informations dans ce paragraphe est spécifique pour l'Allemagne, et est donné seulement comme exemple, avec l'autorisation du RAL (d'autres normes nationales et internationales peuvent s'appliquer dans d'autres pays, voir avec votre fabricant local quelles règles ou normes sont applicables).

En utilisant la méthode d'attache choisie par le fabricant et avec la surface de bride indiquée par lui, le compensateur de dilatation doit être étanche aussi bien au niveau des brides de fixation que dans sa partie flexible. L'étanchéité à la fumée comme défini par la dernière édition de la publication de la « DEHEMA » (le folio ZfP1 et le folio supplémentaire 2 du § 2.2) : Méthode de bulle avec le liquide moussant ("étanche au nekal"). La définition d'étanche au nekal s'applique au compensateur de dilatation en entier et installé.

Pour plus d'information sur les définitions techniques du RAL, voir le **Chapitre 11. Étanchéité aux fumées et étanchéité au nekal (à la bulle de savon)**

9.5. Contrôle Final et Préparation pour Expédition

Avant l'expédition, les points suivants d'un compensateur textile devraient être vérifiés pour s'assurer de l'intégrité du produit fini :

- (a) La conformité dimensionnelle aux plans de fabrication, y compris, si nécessaire, le perçage des brides, ainsi que les dimensions des brides, contre brides et boulons pour les compensateurs livrés pré montés.
- (b) L'intégrité des coutures (si nécessaire) dans la partie flexible.
- (c) La présence d'écrous et de boulons sur les contre-bride et brides, qu'ils soient fournis à la bonne taille, à la bonne quantité et qualité. Vérifiez le bon emplacement des œilletons de levage (pour les compensateurs livrés pré-montés).
- (d) La présence de barrettes d'expédition ou d'installation, des points de levage des compensateurs de dilatation (peint en jaune ou en rouge si l'on doit les enlever après installation) pour les compensateurs livrés pré-montés.
- (e) Pour les compensateurs pré montés s'assurer, lors du transport et du stockage, que l'ouverture du ou des déflecteur(s) se situe vers le bas pour éviter l'accumulation d'eau de pluie.
- (f) La présence du marquage d'identification et pour les compensateur prémontés la présence d'une flèche donnant le sens de l'écoulement du fluide. Le marquage doit être fait d'une façon indélébile et être solidaire du compensateur.
- (g) La présence d'instructions de montage jointe avec chaque ensemble
- (h) Que, pour les compensateurs pré-montés, la peinture des parties métalliques soit conforme aux spécifications du client. Que la composition du compensateur soit également conforme !

10. Garantie et Responsabilité

Les compensateurs textiles sont habituellement considérés comme un composant critique des systèmes dans lesquels ils sont installés. En tant que tels, leurs défaillances prématurées ou non planifiées peuvent souvent avoir comme conséquence des perturbations d'exploitation sérieuses ou des fuites dangereuses. Par conséquent, la performance des compensateurs textiles et l'appui des fabricants pour leur élaboration, est à prendre en considération.

Bien qu'élément important, la valeur des compensateurs textiles est souvent une infime partie des coûts globaux de l'installation ou des coûts de pertes d'exploitation, due aux temps d'arrêts, non planifiés, pour le remplacement de ceux-ci. Cependant, il faut souligner que les compensateurs textiles ont une durée de vie limitée et en tant que tels, devraient être soumis à une routine d'inspection périodique. Le risque de défaillance augmente avec la durée de fonctionnement.

Il est toujours préférable que le montage soit réalisé sous la surveillance étroite du fabricant du compensateur textile, pour s'assurer que les procédures de montage correctes sont appliquées. Évidemment ce service a un coût. Non seulement l'installation sera effectuée correctement, mais également la supervision de telles équipes assure habituellement une installation beaucoup plus rapide, avec des coûts inférieurs associés à une durée de vie plus longue pour le client.

Au cas où une garantie de performance serait demandée et le montage ait été fait par des tiers en suivant les instructions écrites fournies par le fabricant, il est important que le montage réalisé, soit inspecté et approuvé par le fabricant ou son représentant, avant que les conditions de garantie soient applicables.

En aucun cas, des dégâts prématurés, dus à une défaillance de l'installation, ne seront reconnus.

Le niveau de la garantie doit être clairement convenu entre le fabricant et le client avant l'exécution du contrat. Indépendamment du niveau de la garantie admise, les deux parties doivent convenir des conditions de fonctionnement en service indiquées. Si ces conditions ne sont pas respectées, pour n'importe quelle raison, la garantie peut être annulée.

Les fabricants des compensateurs textiles garantissent leurs produits pour une période donnée (en général 12 mois), en accord avec le client. Le remplacement ou la réparation (la solution jugée comme appropriée par le fabricant) sera limité aux caractéristiques de l'approvisionnement original.

10.1. Début de la Période de Garantie

Le début de la période de garantie (en général 12 mois) peut être fixé en commun accord avec le client. La garantie peut débuter soit à la livraison sur le site, soit après la première mise en service de l'unité (après le premier feu).

10.2. Réclamations sous Garantie

Les réclamations dépendent de la rapidité le fabricant est informé du problème ; un défaut mineur exigeant une petite réparation peut devenir un remplacement important si une mesure appropriée n'est pas prise à un moment opportun. Une partie de la négociation de garantie peuvent inclure des inspections annuelles payées par le client, permettant au fabricant d'inspecter l'installation.

10.3. Garantie Étendue

Dans les cas quand des garanties étendues couvrant plus de 12 mois, il serait bon d'inclure une graduation de vieillissement dans la clause de garantie à négocier avec le client lors de la revue de contrat.

11. Étanchéité aux Fumées et Étanchéité au Néal (à la Bulle de Savon)

Ce paragraphe reprend sans aucune modification les informations techniques contenues dans les documents TI-002 et TI003, toutes les deux à la révision 1 de 06/1998, du RAL.

11.1. Compensateurs Textiles Étanches à la Fumée (TI-002)

1. Dans les directives du RAL-GZ719 « Essais et Essais de Qualité pour Compensateurs Textiles », mentionne au § 2.1.4 et § 3.1.4 « Étanchéité » que les compensateurs doivent être étanche conforme aux directives du bulletin d'information de la ECHEMA ZfP 1 annexe 2, § 2.2 « méthode de bulle avec le liquide moussant » (étanche au Néal).
2. La méthode de bulle avec liquide moussant d'après le ZfP 1 est une méthode qualitative. Elle sert à la recherche et à prouver une fuite individuelle.
3. Dans le bulletin d'information de la DEHEMA ZfP 1 des rapports sont donnés concernant la précision des méthodes d'essai, à savoir mesuré comme produit PV pour caractériser une quantité de gaz.

- 3.1. La précision de la méthode de bulle avec liquide moussant est de :

$$L = 10^{-2} \text{ à } 10^{-4} \text{ mbar.l.s}^{-1}$$

- 3.2. Cette indication se rapporte à une fuite individuelle et ne peut pas donc être transférée au taux intégral de fuite d'un compensateur textile.
4. L'étanchéité est prouvée sur un banc d'essai au moyen d'un liquide moussant (neal) à la température ambiante.
 - 4.1. En conformité avec les directives du RAL-GZ 719 « Essais et Essais de Qualité pour Compensateurs Textiles », le § 2.2.6 « Étanchéité », précise : aucunes bulles peuvent apparaître dans le secteur du soufflet à la pression d'essai, qui doit être 1,5 fois la pression nominale ou au minimum de 5000 Pa.
 - 4.2. En complément aux directives du RAL-GZ 719 « Essais et Essais de Qualité pour Compensateurs Textiles », le § 2.2.6 « Étanchéité », l'apparition d'un nombre limité de bulles dans le secteur des brides et dans le secteur flexible du compensateur textile est cependant autorisée.
5. Par convenance on juge la formation de bulles au niveau des brides chaque fois sur une longueur déterminée (par exemple de 1m)
 - 5.1. Le diamètre et le nombre de bulles ont formé dans une période de temps déterminé peuvent être employés comme référence pour évaluer le taux de fuite.
 - 5.2. Une bulle sphérique de mousse d'un ϕ de 13.66 mm a un volume d'environ 1 cm³ cela correspond à un volume identique de 100 bulles de ϕ 2.94 mm chacune ou 10.000 bulles de ϕ 0.63 mm ou 1.000.000 bulles de ϕ 0.14 mm.
 - 5.3. Selon la composition, des fuites dans la plage de L.min⁻¹.m⁻¹ sont admissibles.
6. L'étanchéité peut être contrôlé soit sur un modèle de même conception soit sur l'original dans l'installation.

11.2. Étanchéité au « Néal » - à la Bulle de Savon

1. Dans les directives du RAL-GZ719 « Essais et Essais de Qualité pour Compensateurs Textile », mentionne au § 2.1.4 et § 3.1.4 « Étanchéité » que les compensateurs textiles doivent être étanche conforme aux directives du bulletin d'information de la ECHEMA ZfP 1 annexe 2, § 2.2 « méthode de bulle avec liquide moussant » (étanche au Néal).
2. La méthode de bulle avec liquide moussant d'après le ZfP 1 est une méthode qualitative. Elle sert à la recherche et à prouver une fuite individuelle.
3. Dans le bulletin d'information de DEHEMA ZfP 1 des rapports sont donnés concernant la précision des méthodes d'essai, à savoir mesuré comme produit PV pour caractériser une quantité de gaz.

- 3.1. La précision de la méthode de bulle avec liquide moussant est de :

$$L = 10^{-2} \text{ à } 10^{-4} \text{ mbar.l.s}^{-1}$$

- 3.2. Cette indication se rapporte à une fuite individuelle et ne peut pas donc être transférée au taux intégral de fuite d'un compensateur de dilatation.
4. L'étanchéité est prouvée sur un banc d'essai au moyen d'un liquide moussant (neal) à la température ambiante.
 - 4.1. En conformité avec les directives du RAL-GZ 719 « Essais et Essais de Qualité pour Compensateurs Textiles », le § 2.2.6 « Étanchéité », précise : aucunes bulles peuvent apparaître à la pression d'essai, qui doit être de 1,5 fois la pression nominale ou au minimum de 5000 Pa.
 - 4.2. Ceci est valable aussi bien dans le secteur de la bride que dans la partie flexible du compensateur textile.
5. L'étanchéité peut être contrôlé soit sur un modèle de même conception soit sur l'original dans l'installation

12. Glossaire

Cette section comprend les termes techniques et spéciaux principaux, en ordre alphabétique (en anglais), utilisés dans la terminologie des compensateurs textiles. La plupart des informations contenues dans cette section proviennent du manuel du FSA : Manuel technique pour systèmes de canalisations (3^{ème} édition) avec nos remerciements.

<u>Terme</u>	<u>Définition</u>
Aire de la Bride	Partie du compensateur textile recouvert par la contre-bride (voir § 4.2.2.)
Analyse par éléments finis	Étude d'une structure et de ses composants pour s'assurer que la conception répond aux critères exigés de réalisation concernant la tenue thermique, à la vibration, aux chocs et à l'intégrité structurale
Ancrage	Voir point fixe .
Angles	Cornières métallique utilisées pour réaliser les brides de fixation des compensateurs
Angles des compensateurs	voir Coins
Assemblage sur site	Un compensateur est assemblé sur site souvent dû à sa taille (trop grande pour être transporté pré monté) ou bien dû à l'endroit de l'ouverture dans la gaine le rendant plus pratique pour installer en secteurs
Atténuation du bruit	Réduction du bruit due au compensateur textile
Bâche de protection contre les soudures	Une couverture ininflammable qui est placée au-dessus du compensateur textile pour le protéger contre projection de perles de soudure pendant les opérations de soudure
Bâche de protection pour le transport	Couverture externe protégeant le compensateur textile pendant l'expédition et le montage
Bande	L'élément flexible d'un compensateur textile se compose habituellement de tissu enduit d'un élastomère
Bande de frottement	Voir Bande de protection
Bande de protection	Bande de tissu employé parfois entre le bord du compensateur textile et la contre-bride du pour protéger le bord contre le transfert thermique ou l'abrasion
Barrettes	voir barrettes de transport / montage
Barrettes de transport / montage	Barrettes qui sont situés entre les deux brides du compensateur textile pré monté pour empêcher des mouvements ou torsions indésirables lors du transport et le montage
Barrière thermique	Une couche de matériel isolant conçu pour réduire la température, à la surface de la couche d'étanchéité, à un niveau compatible avec sa tenue thermique
Bouclier anti-poussière	voir Défecteur interne
Bouclier cendres volantes	voir Défecteur interne

<u>Terme</u>	<u>Définition</u>
Bride	Le composant, qui est employé pour attacher le compensateur à la canalisation. Peut être en métal ou dans le même matériel que le soufflet
Bride de fixation	Bride se situant sur la gaine sur laquelle se boulonne le compensateur textile
Bride de la gaine	Voir Bride de Fixation
Cadre	L'armature complète métallique ou de cornières à laquelle les bords du compensateur textile sont attachés
Capuchon	voir Renfort des Brides
Changement de longueur	Modification dimensionnelle de la gaine due à la température calculée comme suite: $\Delta L = L \cdot a \cdot \Delta T$ $\Delta L = \text{modification de la longueur (mm)}$ $L = \text{longueur de la gaine entre points fixes (mm)}$ $a = \text{coefficient de dilatation par } ^\circ\text{C}$ $\Delta T = \text{différentiel de Température (} ^\circ\text{C)}$
Chicane	voir défecteur interne
Cloison	voir défecteur interne
Coins	En liaison avec les compensateurs textiles rectangulaires, les coins peuvent être réalisés en tant que coins moulés, préformés ou à rayons, dépendants du type du compensateur textile et de l'application
Coins concaves	Compensateur textile rectangulaire, dont les angles sont concaves, utilisé lors de dépression dans la gaine. Peuvent être moulés.
Coin Convexe - Coin externe avec onde préformée	Compensateurs textiles avec onde préformée extérieurement dans les coins (convexe), conçu principalement pour des surpressions.
Compensateur	voir Compensateur de dilatation textile ou Compensateur textile
Compensateur de dilatation	Appareil métallique ou non métallique formant un composant employé dans un système de canalisation pour reprendre les déplacements axiaux et transversaux dus à la dilatation thermique ou à la vibration
Compensateur de dilatation non métallique	voir Compensateur Textile
Compensateurs en série	Deux compensateur de dilatation ou plus monté en série, dont la combinaison sert à compenser en particulier des déplacements excessifs (voir également guidage par croisillons)
Compensateur textile	Un compensateur de dilatation utilisant des matériaux non-métallique
Compensateur textile à bords rabattus	Compensateur textile dont les bords sont perpendiculaires à la partie flexible on dit qu'il à la forme d'un U
Compensateur textile à bords droits (en bande)	Compensateur textile dont les bords sont dans le prolongement de la partie flexible. Ces bords, souvent renforcés, servent à la fixation du compensateur sur les brides métalliques de la gaine.

<u>Terme</u>	<u>Définition</u>
Compensateur textile à brides	<i>voir</i> Compensateur textile à bords rabattus
Compensateur textile à ondes multiple	Compensateur à ondes multiples pour reprendre de grands déplacements
Compensateur textile combiné	Un compensateur textile ayant un bord tombé et un bord droit
Compensateur textile composite	<i>voir</i> Compensateur textile multicouche
Compensateur textile complet	Le compensateur complet, comprenant l'élément flexible, les brides et contre brides les déflecteurs et éventuellement d'autres éléments auxiliaires
Compensateur textile pour cheminée	Un type spécial de compensateur textile utilisé dans les cheminées ou les gaines de cheminée industrielles
Compensateur textile mono - couche	Compensateur formé d'une seule couche, souvent un élastomère ou un polymère fluoré renforcé
Compensateur Textile moulé	Construit par un processus de moulage spécial, la paroi du compensateur est moulée en "U" ou en plusieurs ondes
Compensateur textile multicouche	Un compensateur textile dans lequel les couches sont en des matériaux différents qui ne sont pas intégralement reliés ensemble
Compensateur Textile pré-assemblé	La combinaison du cadre en métal et d'un compensateur textile assemblé en usine en tant qu'une unité complète
Compression axiale	La réduction de la longueur d'un compensateur textile parallèle à son axe longitudinal, en mm ou en pouces et habituellement provoqué par la dilatation thermique des gaines
Condition Perturbée - Accidentelle	La pression ou la température que le système pourrait atteindre pendant une défaillance de l'installation, tel qu'une défaillance de réchauffeur d'air. Des situations perturbées ou accidentelles devraient être définies par une durée maximum et une température et pression maximum.
Contre-brides	Les plats métalliques utilisés pour fixer le compensateur textile aux brides des gaines sur lesquels le compensateur est monté.
Contrainte	La mesure de la contrainte qui est appliquée à une structure, exprimée en N/mm ² , (<i>voir également limite élastique</i>)
Côte de montage	Distance de montage entre brides du compensateur textile
Couche d'étanchéité	La couche du compensateur textile assurant son étanchéité. Celle-ci peut être la couche d'étanchéité primaire ou secondaire, la couche externe ou un folio mis en sandwich.
Couche d'étanchéité primaire	Le composant principal conçu pour empêcher les fuites du fluide par le compensateur textile
Couche d'étanchéité secondaire	Le composant servant de support à la couche d'étanchéité primaire pour empêcher les fuites

<u>Terme</u>	<u>Définition</u>
Couche externe	La couche extérieure d'un compensateur textile multicouches qui est exposé à l'environnement externe
Couche interne	La couche interne d'un compensateur textile multicouche en contact avec le fluide
Couche porteuse	Maintien l'isolation en place et assure la protection pendant les manipulations et en service
Couple de serrage (boulons)	Le couple avec lequel des boulons doivent être serrés. Celui-ci est fonction des dimensions du boulon, la lubrification du boulon, l'épaisseur de la contre bride, la pression superficielle à exercer etc..
Coussin de cavité	<i>voir</i> Coussin Isolant (Bolster)
Coussin Isolant (Bolster)	Isolant interne livré sous forme de coussin pour remplir la cavité entre le compensateur textile et le déflecteur. Utilisés pour différentes raisons comprenant : protection thermique, protéger contre l'abrasion et améliorer les performances acoustiques
Cristallisation (cristobalite)	Certains matériaux en fibre de forment des cristaux nocifs à des températures supérieur à 800°C (1472°F)
Crochets de levage	<i>voir</i> Oeillets de levage
Cycles de vie	Le nombre de fois où le compensateur textile passe de froid à chaud et puis de nouveau au froid.
Débattement angulaire	Voir déplacement angulaire
Déflecteur	Un bouclier en métal qui est conçu pour protéger le compensateur contre les particules abrasives contenues dans le fluide et/ou pour réduire le flottement causé par des turbulences
Déflecteur à souder	Une cloison qui est conçue pour être soudée aux parois de la gaine. peut être de conception simple ou double
Déflecteur boulonné sur la gaine	Déflecteur conçu pour être boulonné sur la bride de la gaine
Déflecteur boulonné sur la bride du compensateur	Déflecteur conçu pour être boulonné sur la bride du compensateur à bords rabattus, ce type de déflecteur nécessite l'emploi d'un joint plat pour réaliser l'étanchéité.
Déflecteur double	Deux boucliers métalliques, coulissant l'un sur l'autre assurant une protection contre les cendres volantes ou les fluides. Ils sont attachés à chaque côté de la gaine et sont recouverts par le compensateur textile (<i>voir également déflecteur interne</i>)
Déflecteur flottant	Déflecteur ayant une partie flottante <i>voir figure D. du § 4.2.6</i>
Déflecteur simple	Un bouclier en métal, construit d'une seule pièce, attaché d'un seul côté à la gaine et recouvrant le compensateur assurant un bon écoulement des fluides et protégeant celui-ci des cendres ou poussières volantes

<u>Terme</u>	<u>Définition</u>
Défecteurs télescopiques	<i>voir</i> Défecteur double
Déplacements	Les changements dimensionnels que le compensateur est obligé de pouvoir absorber, comme ceux qui résultent de la dilatation ou contraction thermique. <i>voir également</i> déplacements simultanés
Déplacement angulaire	Le déplacement qui se produit quand une bride du compensateur textile est déplacée à une position en dehors de la parallèle avec l'autre bride, un tel mouvement étant mesuré en degrés
Déplacement latéral	Le déplacement relatif des deux extrémités de la perpendiculaire du compensateur à son axe longitudinal
Déplacements simultanés	Combinaison de deux ou plusieurs déplacements (axial, latéral, angulaire)
Déplacement thermique	Mouvements axiaux, latéraux ou de torsion créées, dans le système de canalisation, par dilatation thermique
Désalignement	L'état désaligné qui existe entre les faces adjacentes des brides de la gaine
Dilatation de la gaine	Dilatation thermique d'une gaine due à une augmentation de la température (résultant habituellement d'une augmentation de la température du fluide)
Dimension intérieure gaine	Dimension intérieure de la gaine mesurée à partir de la paroi avant peinture
Distance entre Brides	Espace entre les brides dans lequel est installé le compensateur textile
Distance de face à face	<i>Voir</i> Distance entre Brides
Durée de vie	Temps que tiendra un compensateur textile avant que l'on doive le remplacer
Dureté (shore)	Désignation pour la dureté des matériaux mous, tels que les caoutchoucs
Effet de fond	Force (en N) résultat de la pression régnant dans la gaine donné par : $F_R = A \cdot p$ A = section de la gaine (cm ²) p = pression de service (N.cm ⁻²)
Élastomères	Désignation pour les polymères en caoutchouc synthétiques, d'une grande variété. Fréquemment utilisé en combinaison avec un renfort en tissu métallique ou en tissu en verre pour fabriquer des compensateurs
Élastomères fluorés	<i>Voir</i> Élastomères
Éléments de fixation	Boulons, écrous, goujons, rondelles et d'autres articles pour fixer un compensateur
Élément flexible	La partie du compensateur textile se trouvant entre ces brides de fixation
Épaisseur nominale	L'épaisseur cumulée approximative des différentes couches du compensateur textile
Espérance de vie	<i>voir</i> Fatigue
Extension axiale	L'augmentation de la longueur d'un compensateur textile parallèle à son axe longitudinal, mesuré en mm ou en pouces

<u>Terme</u>	<u>Définition</u>
Excentration latérales des brides	La distance excentrée entre deux faces adjacentes des brides du compensateur textile. Peut être dû à un défaut d'alignement ou, par conception, compenser le déplacement excessif dans la direction opposée pendant le cycle thermique
Fatigue	Somme des contraintes subies par le compensateur. Elles dépendent de la sévérité et de la fréquence des cycles de fonctionnement.
Feutre	Matériel fibreux et non-tissé qui peut être aiguilleté, tricoté ou couché
Feutre aiguilleté	<i>voir</i> Feutre
Fixations	Système mécanique pour maintenir le compensateur textile en place et créer l'étanchéité entre le compensateur et la gaine.
Folio d'étanchéité	<i>voir</i> Couche d'étanchéité au gaz
Flottement	L'action qui se produit sur la partie flexible due à des variations alternées de pression dans la gaine, provoquée par la turbulence des fluides ou de la vibration. C'est un facteur important pour la conception et la composition des compensateurs textiles.
Gabarit de perçage	La ligne de centrage du perçage de la bride du compensateur textile
Gaine de fumée	Canalisation conduisant la fumée vers la cheminée
Guide à croisillons	Une construction spéciale en métal en utilisant le principe de "ciseaux", qui est employé pour distribuer de grands déplacements uniformément entre deux (ou plusieurs) compensateurs textiles installés en série.
Influences externes	Forces ou environnement agissant de l'extérieur sur le compensateur textile
Insonorisation	La capacité d'un compensateur textile à absorber le bruit (<i>voir également</i> l'atténuation de bruit)
Isolation	Matériaux ayant un pouvoir d'isolant thermique (<i>voir également</i> coussin isolant)
Isolation externe	Matériaux d'isolation appliqués à l'extérieur de la gaine ou du compensateur
Joint anti-poussière	Un élément flexible qui est installé entre le(s) déflecteur(s) et la paroi de la gaine pour limiter l'accumulation de la poussière entre le déflecteur et le corps du compensateur. Cet élément n'est pas étanche au gaz
Joint de cendres volantes	<i>Voir</i> Joint anti-poussière
Joint de dilatation	<i>Voir</i> Compensateur de dilatation
Joint d'étanchéité	<i>Voir</i> Joint plat
Joint d'étanchéité secondaire	<i>Voir</i> Couche d'étanchéité secondaire
Joint plat	Joint assurant l'étanchéité entre deux brides métalliques, pouvant être en différentes matières ductiles

Terme	Définition
Kit de raboutage	Tous les matériaux et outils requis pour rabouter un compensateur textile sur site.
Limite élastique	Limite de contrainte à ne pas dépasser lors de l'allongement d'un matériau (<i>voir également</i> Contrainte)
Longueur effective	<i>voir</i> Longueur active
Longueur entre brides	La longueur de la partie flexible d'un compensateur textile mesurée entre les brides de fixation.
Longueur Installée	La longueur flexible + 2 fois la longueur des brides.
Longueur flexible	Partie du compensateur textile comprise entre les aires des brides.
Longueur libre	<i>voir</i> Longueur Active
Matériaux pour le raboutage	Matériaux utilisés pour rabouter un compensateur textile.
Mécanisme de contrôle à pantographe	<i>Voir</i> Guide à croisillons
Membrane	<i>Voir</i> Couche externe
Montage en retrait	La nécessité de monter la compensateur textile en retrait de l'intérieur de la gaine ou du déflecteur pour éviter que sa partie flexible, lors des compression thermiques ou déplacements latéraux, vienne, soit en contact avec le fluide, pouvant être chargé de poussières abrasives, soit frotte sur le déflecteur.
Polymères Fluorés	Famille d'hydrocarbures thermoplastiques fluorés ayant généralement des caractéristiques exceptionnelles de tenues aux agents chimiques et à l'abrasion
Parties métalliques du compensateur textile	Ensemble de pièces métalliques sur lesquels le compensateur textile est monté avant que l'ensemble soit attaché au système de gaines. L'ensemble métallique peut incorporer les déflecteurs internes
Point fixe	Les points fixes sont des points de blocage de la gaine ne pouvant bouger entre lesquels est monté le compensateur textile pour reprendre les déplacements dus à la dilatation thermique. Il est également essentiel que les compensateurs textiles ne soient pas utilisés en tant qu'éléments de support.
Point de Rosée	La température à laquelle les fluides condensent pour former un liquide. Particulièrement important pour les acides ; le point de rosée acide change avec la composition du fluide et est une température plus élevée que le point de rosée de l'eau
Purge	Purge pour éliminer la condensation pouvant s'accumuler dans le compensateur montés au point bas du compensateur.
Points de levage	Les attaches pour matériel de levage prévues sur les parties métalliques des compensateurs textiles pré assemblés marquée en rouge ou jaune

Terme	Définition
Pression de service normale	<i>Voir</i> Pression de service
Pression de service	La pression du fluide à laquelle le compensateur textile est exposé pendant le fonctionnement normal. Celle-ci peut être positive ou négative.
Pré-compression	L'action de comprimer le compensateur textile à froid lors de l'installation. Ce procédé est employé quand le compensateur doit compenser un important déplacement latéral et/ou une considérable extension axiale.
Pré-tension	L'action de monter à froid les compensateurs textiles soit avec un déport latéral soit prétendu pour reprendre de grands déplacements.
Pulsation	<i>Voir</i> Flottement
Rabouillage - Épaisseur	Procédé qui consiste à fermer sur site des compensateurs textiles livrés ouverts. Le rabouillage peut être réalisé de différentes façons : collage, thermocollage, agrafes métalliques, couture ou vulcanisation.
Rabouillage par vulcanisation	Un procédé de rabouillage basé sur un procédé chimique de polymérisation sous chaleur et pression.
Raideur	Contrairement aux compensateurs de dilatations métalliques, les compensateurs textiles n'engendrent que de faibles forces réactives sur les points de fixation de la gaine. Ceci signifie que les systèmes de fixation et de supports de la gaine peuvent être allégés.
Résistance à la rupture	La capacité d'un matériel de résister aux charges jusqu'à la rupture
Résultante de déplacement	La résultante de différents déplacements
Schéma de perçage	<i>voir</i> gabarit de perçage
Résistance à l'usure	La capacité d'un matériel de résister aux particules abrasives sans se détériorer
Température ambiante	La température externe ambiante en contact avec la face externe du compensateur de dilatation textile
Température de conception maximum	La température maximale que le système peut atteindre en fonctionnement normal. Ne pas confondre avec la température perturbée ou accidentelle
Test à la bulle de savon (Nekal)	L'essai d'étanchéité effectué avec un liquide moussant est appliqué au compensateur textile installé sous pression. Il indique si le compensateur textile est étanche et tout particulièrement si le secteur de la bride est « étanche à la Bulle de savon (au Nekal) »
Test de bulles	<i>Voir</i> Étanchéité à la bulle de savon (au Nekal)
Torsion	Le vrillage d'une extrémité d'un compensateur textile en vis à vis de l'autre extrémité, autour de son axe longitudinal, un tel mouvement étant mesuré en degrés

<u>Terme</u>	<u>Définition</u>
Vitesse d'écoulement des fluides	La vitesse d'écoulement du fluide à travers la gaine et le compensateur textile
Vitesse du fluide	<i>voir</i> Vitesse d'écoulement des fluides
Valeur de la Température permanente	Température à laquelle le compensateur textile peut fonctionner en permanence sans problème

13. Facteurs de Conversion

Le Système Internationale d'Unités ou Unités SI a été adopté la première fois lors de la 11^{ème} Conférence des Poids et mesures de 1960. La liste ci-dessous n'est pas exhaustive. Vous pouvez trouver plus de détails dans les normes suivantes : ISO 31, ISO 1000, DIN 1301, BS 5555, BS 5775.

13.1. Unités SI

<u>Définition</u>	<u>Nom de l'unité</u>	<u>Symbole</u>	<u>Exprimé en d'autre Unités SI</u>
Énergie (Travail)	joule	J	$J = N.m = kg.m^2.s^{-2}$
Force	newton	N	$N = kg.m.s^{-2}$
Longueur	mètre	m	
Masse	kilogramme	kg	
Pression	pascal	Pa	$Pa = N.m^{-2} = MN.mm^{-2}$
Energie	watt	W	$W = kg.m^2.s^{-3}$
Température (thermodynamique)	kelvin	K	$K = ^\circ C + 273.15$
Temps	seconde	s	

13.2. Multiples d'unités SI

Les multiples sont donnés dans l'ordre de leur ampleur, laquelle donne le préfixe à l'Unité SI :

<u>Préfixe</u>	<u>Symbole</u>	<u>Facteur multiplicateur par laquelle l'unité est multipliée</u>	
exa	E	10^{18}	1 000 000 000 000 000 000
peta	P	10^{15}	1 000 000 000 000 000
tera	T	10^{12}	1 000 000 000 000
giga	G	10^9	1 000 000 000
mega	M	10^6	1 000 000
kilo	k	10^3	1 000
hecto	h	10^2	100
deca	da	10^1	10
deci	d	10^{-1}	0.1
centi	c	10^{-2}	0.01
mili	m	10^{-3}	0.001
micro	μ	10^{-6}	0.000 001
nano	n	10^{-9}	0.000 000 001
pico	p	10^{-12}	0.000 000 000 001
femto	f	10^{-15}	0.000 000 000 000 001
atto	a	10^{-18}	0.000 000 000 000 000 001

Un exemple, le multiple Mpa (megaPascal = 10^6 Pa) est souvent utilisé pour référencés les pressions des fluides dans les unités industrielles.

13.3. Unités communément employées dans les compensateurs de dilatation textile

La liste ci-après

Unité	Équivalent SI	Autres équivalences non-SI				Diverses autres unités ou conversions
		<i>bar</i>	<i>kp.cm⁻²</i>	<i>N.mm⁻²</i>	<i>psi</i>	
1 at	0.1013 MPa	1.013 bar	1.033 kp.cm ⁻²	0.1013 N.mm ⁻²	14.695 psi	
1 bar	0.1 MPa			0.10 N.mm ⁻²	14.504 psi	0.987 atmospheres
°C	-273.15 K					
°F						(°C x 1.8) + 32
1 ft (foot)	0.305 m					
1 in (inch)	0.025 m					
1 in ²	645.2 mm ²					
1 kgf	9.81 N					2.2046 lbf
1 kg/cm ²	0.098 MPa	0.981 bar	1 kp.cm ⁻²	0.098 N.mm ⁻²	14.223 psi	
1 N/mm ²	1 MPa	10.0 bar	10.197 kp.cm ⁻²	1 N.mm ⁻²	145.038 psi	
1 lb (pound)	4.45 N					0.4536 kp
1 lbf. ft	1.355 N.m					
1 lbf.in	0.113 N.m					
1 mm Hg	0.133322 kPa					
1 ppm	35.92 ^{-0.733} g.h ⁻¹					#
1 psi	6.895 kPa	0.0689 bar	0.0703 kp.cm ⁻²	0.00689 N.mm ⁻²		

13.4. Facteurs de conversions (Unités SI)

Quantité	Unité SI	Unité non-SI	Conversions
Accélération	$m.s^{-2}$	$ft.s^{-2}$	$1 m.s^{-2} = 3.281 ft.s^{-2}$ $1 ft.s^{-2} = 0.305 m.s^{-2}$
	$9.806 m.s^{-2}$	$32.174 ft.s^{-2}$	= Standard acceleration of gravity
Aire	ha (Hectare)	are	$1 ha = 10,000 m^2 = 2.471 acres = 3.86 \times 10^{-3} mile^2$ $1 acre = 0.405 ha = 4046.86 m^2$
	m^2	ft^2	$1 m^2 = 10.764 ft^2$ $1 ft^2 = 9.290 \times 10^{-2} m^2$
	m^2	in^2	$1 m^2 = 1.550 \times 10^3 in^2$ $1 mm^2 = 1.550 \times 10^{-3} in^2$ $1 in^2 = 6.452 \times 10^{-4} m^2 = 645.2 mm^2$
	m^2	$mile^2$	$1 m^2 = 3.861 \times 10^{-7} mile^2$ $1 mile^2 = 2.589 \times 10^6 m^2 = 259 ha$
	m^2	yd^2	$1 m^2 = 1.196 yd^2$ $1 yd^2 = 0.836 m^2$
Densité	$kg.m^{-3}$	$lb.ft^{-3}$	$1 kg.m^{-3} = 6.243 \times 10^{-2} lb.ft^{-3}$ $1 lb.ft^{-3} = 16.018 kg.m^{-3}$
	$kg.m^{-3}$	$lb.gal^{-1}$	$1 lb.gal^{-1} = 0.099 kg.dm^{-3}$
	$kg.m^{-3}$	$lb.in^{-3}$	$1 lb.in^{-3} = 27.679 g.cm^{-3}$
Énergie (travail)	J	Btu	$1 J = 9.478 \times 10^{-4} Btu$ $1 Btu = 1.055 \times 10^3 J$
	J	ft.lbf	$1 J = 0.738 ft.lbf$ $1 ft.lbf = 1.356 J$
	J	kcal	$1 J = 0.238 \times 10^{-3} kcal$ $1 kcal = 4.19 \times 10^3 J$
	J	kgf.m	$1 J = 0.102 kgf.m$ $1 kgf.m = 9.810 J$
	J	kWh	$1 J = 0.278 \times 10^{-6} kWh$ $1 kWh = 3.6 \times 10^6 J$
Force	N	kgf	$1 N = 0.102 kgf$ $1 kgf = 9.81 N = 2.205 lbf$
	N	lbf	$1 N = 0.225 lbf$ $1 lbf = 4.448 N$
	N	tonf	$1 N = 1.003 \times 10^{-4} tonf$ $1 tonf = 9964 N$
Longueur	m	ft	$1 m = 3.281 ft$ $1 ft = 0.305 m$
	m	in (1")	$1 m = 39.37 in$ $1 in = 0.025 m$
	m	mile	$1 m = 6.214 \times 10^{-4} mile$ $1 mile = 1.609 \times 10^3 m$
	m	milli-inch ("thou")	$1 "thou" = 25.4 \mu m$
	m	yd	$1 m = 1.094 yd$ $1 yd = 0.914 m$

Quantité	Unité SI	Unité non-SI	Conversions
Masse	kg	cwt	1 kg = 1.968 x 10 ⁻² cwt 1 cwt = 50.802 kg
	kg	oz	1 kg = 35.274 oz 1 oz = 28.349 g
	kg	pound (lb)	1 kg = 2.203 lb 1 lb = 0.454 kg
	kg	ton	1 kg = 9.842 x 10 ⁻⁴ ton 1 ton = 1.016 x 10 ³ kg = 1.016 tonne 1 tonne (= 1 metric tonne) = 1000 kg
Couple	N.m	kgf.m	1 N.m = 0.102 kgf.m 1 kgf.m = 9.807 N.m
	N.m	ozf.in	1 ozf.in = 7061.55 µN.m
	N.m	lbf.ft	1 N.m = 0.738 lbf.ft 1 lbf.ft = 1.356 N.m
	N.m	lbf.in	1 N.m = 8.85 lbf.in 1 lbf.in = 0.113 N.m
	N.m	tonf.ft	1 kN.m = 0.329 tonf.ft 1 tonf.ft = 3.037 kN.m
Couple d'inertie	kg.m ²	oz.in ²	1 kg.m ² = 5.464 x 10 ³ oz.in ² 1 oz.in ² = 0.183 x 10 ⁻⁴ kg.m ²
	kg.m ²	lb.ft ²	1 kg.m ² = 23.730 lb.ft ² 1 lb.ft ² = 0.042 kg.m ²
	kg.m ²	lb.in ²	1 kg.m ² = 3.417 x 10 ³ lb.in ² 1 lb.in ² = 2.926 x 10 ⁻⁴ kg.m ²
Energie	W	ft.lbf.s ⁻¹	1 W = 0.738 ft.lbf.s ⁻¹ 1 ft.lbf.s ⁻¹ = 1.356 W
	W	hp	1 W = 1.341 x 10 ⁻³ hp 1 hp = 7.457 x 10 ² W
	W	kgf.m.s ⁻¹	1 W = 0.102 kgf.m.s ⁻¹ 1 kgf.m.s ⁻¹ = 9.81 W
Pression	Pa	bar	10 ⁶ Pa = 1 MPa = 10 bar = 1 N.mm ⁻² 1 bar = 0.10 MPa = 14.504 psi
	Pa	ft H ₂ O (pied de colonne d'eau)	1 kPa = 0.335 ft H ₂ O 1 ft H ₂ O = 2.989 kPa
	Pa	in Hg (pouce de co- lonne de mercure)	1 kPa = 0.295 in Hg 1 in Hg = 3.386 kPa
	Pa	kgf.m ⁻²	1 Pa = 0.102 kgf.m ⁻² 1 kgf.m ⁻² = 9.81 Pa
	Pa	kp.cm ⁻²	1 MPa = 10.194 kp.cm ⁻² 1 kp.cm ⁻² = 0.0981 MPa = 0.981 bar = 14.223 psi
	Pa	N.mm ⁻²	1 MPa = 1 N.mm ⁻² = 1 MN.m ⁻² = 10.197 kp.cm ⁻²
	Pa	lbf. ft ⁻²	1 kPa = 20.885 lbf. ft ⁻² 1 lbf. ft ⁻² = 47.880 Pa
	Pa	psi (lbf.in ⁻²)	1 Pa = 1.450 x 10 ⁻⁴ lbf.in ⁻² 1 lbf.in ⁻² = 6.895 kPa = 0.0703 kp.cm ⁻² = 0.689 bar
	Pa	ton.in ⁻²	1 MPa = 6.477 x 10 ⁻² ton.in ⁻² 1 ton.in ⁻² = 15.44 MPa = 15.44 N.mm ⁻²
	1.013 x 10 ⁵ Pa	14.696 lbf.in ⁻²	atmosphère standard = 1.013 bar = 1.033 kp.cm ⁻²

Quantité	Unité SI	Unité non-SI	Conversions
Débit	$m^3 \cdot s^{-1}$	$ft^3 \cdot s^{-1}$ (cusec)	$1 m^3 \cdot s^{-1} = 35.314 ft^3 \cdot s^{-1}$ $1 ft^3 \cdot s^{-1} = 0.028 m^3 \cdot s^{-1} = 28.317 dm^3 \cdot s^{-1}$
	$m^3 \cdot s^{-1}$	imperial gal.h ⁻¹	$1 m^3 \cdot s^{-1} = 7.919 \times 10^5 \text{ imp gal.h}^{-1}$ $1 \text{ imp gal.h}^{-1} = 1.263 \times 10^{-6} m^3 \cdot s^{-1} = 4.546 dm^3 \cdot h^{-1}$
	$m^3 \cdot s^{-1}$	$in^3 \cdot \text{min}^{-1}$	$1 m^3 \cdot s^{-1} = 0.366 in^3 \cdot \text{min}^{-1}$ $1 in^3 \cdot \text{min}^{-1} = 2.731 \times 10^{-7} m^3 \cdot s^{-1}$
	$m^3 \cdot s^{-1}$	US gal. min ⁻¹	$1 m^3 \cdot s^{-1} = 1.585 \times 10^4 \text{ US gal. min}^{-1}$ $1 \text{ US gal. min}^{-1} = 6.309 \times 10^{-5} m^3 \cdot s^{-1}$
Température	K	°C	$K = °C + 273.15$ $°C = K - 273.15$
		°F	$°C = (°F - 32) \times 0.556$ $°F = (°C \times 1.8) + 32$
Vitesse	$m \cdot s^{-1}$	$ft \cdot s^{-1}$	$1 m \cdot s^{-1} = 3.281 ft \cdot s^{-1}$ $1 ft \cdot s^{-1} = 0.305 m \cdot s^{-1}$
	$m \cdot s^{-1}$	km.h ⁻¹	$1 m \cdot s^{-1} = 3.6 km \cdot h^{-1}$ $1 km \cdot h^{-1} = 0.278 m \cdot s^{-1}$
	$m \cdot s^{-1}$	mile.h ⁻¹	$1 m \cdot s^{-1} = 2.237 \text{ mile.h}^{-1}$ $1 \text{ mile.h}^{-1} = 0.447 m \cdot s^{-1} = 1.467 ft \cdot s^{-1}$
Viscosité (dynamique)	Pa.s	P (poise)	$1 Pa \cdot s = 10 P$ $1 P = 0.1 Pa \cdot s$
	Pa.s	lbf.s.ft ⁻²	$1 Pa \cdot s = 2.089 \times 10^{-2} \text{ lbf.s.ft}^{-2}$ $1 \text{ lbf.s.ft}^{-2} = 47.880 Pa \cdot s$
Viscosité (cinématique)	$m^2 \cdot s^{-1}$	$ft^2 \cdot s^{-1}$	$1 m^2 \cdot s^{-1} = 10.764 ft^2 \cdot s^{-1}$ $1 ft^2 \cdot s^{-1} = 9.290 \times 10^{-2} m^2 \cdot s^{-1}$
	$m^2 \cdot s^{-1}$	$in^2 \cdot s^{-1}$	$1 in^2 \cdot s^{-1} = 6.452 cm^2 \cdot s^{-1} = 645.16 \text{ cSt}$
	$m^2 \cdot s^{-1}$	St (stokes)	$1 m^2 \cdot s^{-1} = 10^4 \text{ St}$ $1 \text{ St} = 10^{-4} m^2 \cdot s^{-1}$
Volume (capacité)	m^3	ft^3	$1 m^3 = 35.315 ft^3$ $1 ft^3 = 0.028 m^3$
	m^3	imperial fl oz	$1 \text{ fl oz} = 28.413 cm^3$
	m^3	imperial gal	$1 m^3 = 2.199 \times 10^2 \text{ imp gal}$ $1 \text{ imp gal} = 4.546 \times 10^{-3} m^3$
	m^3	imperial pt (pint)	$1 \text{ pt} = 0.568 dm^3$
	m^3	in^3	$1 m^3 = 6.102 \times 10^4 in^3$ $1 in^3 = 1.639 \times 10^{-5} m^3$
	m^3	litre (L)	$1 L = 10^{-3} m^3 = 0.220 \text{ imp gal} = 0.264 \text{ US gal}$
	m^3	US gal	$1 m^3 = 2.642 \times 10^2 \text{ US gal}$ $1 \text{ US gal} = 3.785 \times 10^{-3} m^3$

14. Bibliographie

1. **USA Regulations on Fugitive Emissions** (ESA Report N° 003/94), published by the European Sealing Association, 1994.
2. **European Emission Legislation** (ESA Publication N° 012/00), published by the European Sealing Association, 2000.
3. Test specification **RAL TI-002 Rev. 1 – 06/98** Flue-Gas Tight Fabric Expansion Joints refers to leak tight as “...no bubbles may appear in the bellows area...” and that “...the occurrence of a limited number of foam bubbles in the clamping area and joint area of the bellows is however permitted...”.
4. Test specification **RAL TI-003 Rev. 1 – 06/98** Nekal Tight Fabric Expansion Joints refers to nekal tight as “...no bubbles may appear in the bellows area...” and that “...this refers to both the bellows area and to the clamping area...”.
5. Test methods similar to DECHEMA **Information Bulletin ZfP 1**, annex 2 Item 2.2 “Bubble method with foaming liquid”.
6. **Ducting Systems - Technical Handbook** (3rd edition), published by the Fluid Sealing Association, 1997.

