



ESA

Directives concernant une utilisation sûre des joints d'étanchéité

- Brides et Joints -

*Partie 1 - Directives destinées
aux opérateurs de maintenance / ingénieurs / installateurs*

Traduction française :
CETIM Département « Etanchéité-Calcul »



Publication ESA / FSA N° 009/98

Septembre 1998

*Directives concernant une utilisation sûre
des joints d'étanchéité*

- Brides et Joints -

Partie 1 - Directives destinées aux opérateurs de maintenance / ingénieurs / installateurs

Le présent document a été présenté par :

Le présent document est la propriété intellectuelle © de l'European Sealing Association (ESA) et la Fluid Sealing Association (FSA).

Tous droits réservés.

Les membres de l'ESA et de la FSA sont autorisés à copier éventuellement le présent document.

Aucune partie de la présente publication ne peut être reproduite sous une forme quelconque par des non-membres sans l'autorisation écrite préalable de l'ESA ou de la FSA.

Traduction française :
CETIM Département « Etanchéité-Calcul »



Fluid Sealing Association
994 Old Eagle School Road
Suite 1019
Wayne, PA 19087 1802
United States of America
Tél. : 610 971 4850
Fax : 610 971 4859

European Sealing Association
Tegfryn
Tregarth
Gwynedd LL57 4PL
United Kingdom
Tél. : +44 1248 600 250
Fax : +44 1248 600 250

Le présent document est publié conjointement par l'European Sealing Association (ESA) et la Fluid Sealing Association (FSA) sous le patronage de la ESA Flange Gasket Division, de la FSA Non metallic Gasketing Division et de la FSA Metallic Gasketing Division au nom des membres de ces deux Associations.

European Sealing Association (ESA) est un organisme pan-européen créé en 1992 qui représente plus de 85% du marché de l'étanchéité industrielle en Europe. Les sociétés membres travaillent dans le domaine de la fabrication, de la fourniture et de l'utilisation des matériaux d'étanchéité qui constituent des éléments indispensables à un confinement sûr des fluides pendant les cycles de production.

Fluid Sealing Association (FSA) est une association commerciale internationale fondée en 1933. Ses membres exercent leur activité dans le domaine de la production et de la commercialisation de pratiquement tous les types de dispositifs d'étanchéité industrielles disponibles actuellement. Les membres de la FSA se composent d'un certain nombre de sociétés basées en Europe ainsi qu'en Amérique Centrale et du Sud mais la plus forte concentration se trouve en Amérique du Nord. Les membres de la FSA représentent près de 90% de la capacité de production des dispositifs d'étanchéité industrielle sur le marché de la NASFTA.

Sommaire

1. SCHEMA DU DOCUMENT	6
2. INTRODUCTION	Erreur! Signet non défini.
2.1. Historique par rapport à la législation sur l'environnement	7
2.2. Le défi de l'étanchéité moderne	8
3. VUE D'ENSEMBLE DU SYSTEME BRIDE / BOULON / JOINT	10
4. ARRANGEMENTS DES BRIDES / JOINTS	12
4.1. Systèmes courants	12
4.2. Etat de surface des brides	14
4.3. Fixations	14
4.4. Ecrous	18
4.5. Rondelles	18
4.6. Chargement d'exploitation	Erreur! Signet non défini.
4.7. Systèmes de protection des brides	20
5. CHOIX DU JOINT	20
5.1. Choix des matériaux	20
5.2. Types de joints	23
5.3. Choix de l'épaisseur	27
5.4. Découpage des joints mous	27
5.5. Stockage des joints et matériaux pour joints	27
5.6. Manipulation des joints et matériaux pour joints	28
5.7. Réutilisation des joints / fixations	28
6. PROCEDURES DE MONTAGE	28
6.1. Outillage nécessaire	28
6.2. Nettoyage	28
6.3. Contrôle de l'aspect	29
6.4. Lubrification	29
6.5. Installation et centrage du joint	30
6.6. Calcul du couple	30

6.7. Schéma de serrage des boulons / fixations	31
6.8. Etiquetage	33
6.9. Resserrage	33
7. PROCEDURES DE DEMONTAGE	34
7.1. Composés utilisés pour la séparation	34
8. RECOMMANDATIONS CLE	35
9. DIRECTIVES POUR MINIMISER LA DEFAILLANCE DES ASSEMBLAGES	37
9.1. Défaillance due à la fixation	37
9.2. Défaillance due au joint	37
9.3. Défaillance due à la bride	37
9.4. Minimiser les risques de défaillance de l'assemblage	38
10. ASPECTS SANTE ET SECURITE DES MATERIAUX POUR JOINTS	39
11. RESUME SCHEMATIQUE	41

1. SCHEMA DU DOCUMENT

Dans le schéma ci-dessous, la section décrivant chaque branche dans ce document est signalée par (1).

Sélection dépendant sur l'application et les conditions de service	Arrangement des brides (4.1)	Matériaux de base des joints (5.1 - 5.2)	Fixations, écrous et rondelles (4.3 - 4.6)
Préparation initiale	Nettoyage (6.2)	Découpe Stockage Manutention (5.4 - 5.6)	Nettoyage (6.2)
Contrôle visuel (6.3)	Remplacer les éléments défectueux		
Traitement de surface		NE PAS utiliser de pâtes ou graisses sur les joints en feuilles (7.1)	Lubrification (6.4)
Installation	Surfaces de plans de joint ouvertes Aligner les éléments afin d'assurer leur parallélisme	Insérer un nouveau joint (6.5)	
Serrage de l'assemblage (6.6. et 6.7.)			Tourner l'écrou à la main Serrer à l'aide d'une clé dynamométrique Observer un schéma de serrage en croix Procéder en 5 passes au minimum

2. Introduction

Le présent document a été préparé à l'intention des fabricants de matériel à pression, des engineerings et utilisateurs finaux. Il est centré sur des solutions aux problèmes typiques auxquels sont confrontés les ingénieurs et installateurs de maintenance responsables des raccordements entre tuyauterie et matériel comportant des brides et joints d'étanchéité. Ce document est destiné à fournir au lecteur une série de directives en vue d'une utilisation sûre des éléments d'étanchéité afin d'assurer une performance maximale des joints d'étanchéité dans des conditions de service normales. Dans ce document, les recommandations clé sont représentées de la manière suivante :

☑ *recommandation clé*

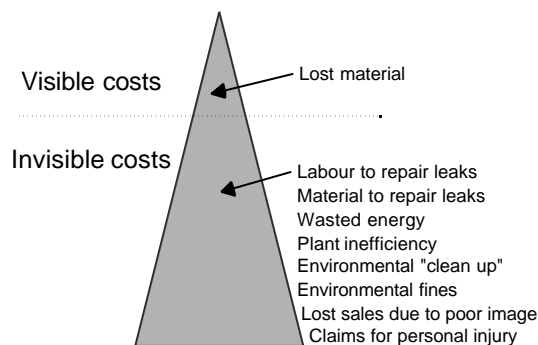
Le but principal d'un joint d'étanchéité est d'assurer le confinement d'un fluide et de protéger ainsi l'environnement immédiat contre une contamination (et *vice-versa*), ce qui peut aller d'une perte de fluide inoffensif (tel que vapeur, eau, etc...) à une perte de fluide nauséabond, toxique ou dangereux. Dans le premier cas, la perte d'un tel fluide inoffensif entraînera principalement une réduction du rendement de l'installation pour l'opérateur bien que de telles fuites puissent cependant présenter des dangers (fuites d'eau ou de vapeur sous haute pression). En clair, dans le second cas, la fuite ne représente pas seulement une baisse de rendement financier mais elle est également dangereuse pour l'environnement : les employés, les membres du public et, plus largement, la nature. Par conséquent, une bonne sélection et une utilisation correcte de la technologie d'étanchéité appropriée pour l'application ne représente qu'une partie de la responsabilité de l'opérateur vis à vis de l'environnement.

2.1. Historique par rapport à la législation sur l'environnement

Il est de notoriété publique que l'industrie doit réduire son impact sur l'environnement si l'on doit poursuivre un développement global (appelé option « de développement soutenable ») pour les générations futures. L'un des principaux facteurs y contribuant sera l'abaissement des émissions industrielles pour lesquelles la pression du public jointe à celle de la législation sur l'environnement et les exigences intérieures pour minimiser la perte de matières premières de valeur ont servi de catalyseur. Les sous-produits de la combustion (en particulier les oxydes de carbone, d'azote et de soufre) ainsi que les pertes connues d'hydrocarbures volatils et de vapeur représentent une partie très importante des émissions à l'atmosphère. En général, il s'agit là d'émissions prévisibles provenant d'un procédé industriel sous le contrôle de l'opérateur et dont nous ne tiendrons pas compte ici.

Toutefois, une certaine partie des émissions industrielles est provoquée par des fuites imprévues ou fugitives survenant sur des circuits procédé. Ces fuites sur le matériel sont généralement connues sous le nom d'« *émissions fugitives* » et l'industrie de l'étanchéité joue dans ce domaine un rôle vital grâce à la mise au point et à l'application d'une technologie d'étanchéité innovante adaptée aux exigences d'émissions zéro ou faibles. Une sélection, une installation et une utilisation judicieuses des matériaux d'étanchéité sont tout aussi importantes pour assurer une performance fiable pendant la durée de vie du joint d'étanchéité et ceci constitue le coeur de la présente publication.

Pour donner une idée du défi, on a estimé que les émissions fugitives provenant de vannes, pompes et brides fuyardes aux E.U. dépassaient 300.000 tonnes métriques par an, ce qui représente environ **un tiers des émissions organiques totales provenant des usines chimiques**, émissions reflétées inévitablement en Europe. Quel que soit l'impact sur l'environnement pouvant en résulter, cela constitue une charge financière considérable pour l'industrie en raison de l'énorme perte de matériaux de valeur que cela représente et du manque de rendement des installations. Cependant dans la plupart des cas, le coût réel pour l'industrie n'a pas été évalué étant donné qu'une grande partie du coût lié aux émissions fugitives demeure caché.



Des vannes fuyardes sont souvent les plus grands coupables car on a signalé qu'elles représentent plus de 50% des émissions fugitives dans l'industrie chimique et pétrochimique alors que les pompes et brides ne représentent qu'une proportion moindre bien qu'elle demeure importante.

La mise au point de la législation sur le contrôle des émissions fugitives a fait l'objet de rapports satisfaisants aussi bien pour les marchés américains (E.U. ¹) qu'euro-péens ². Bien que les premières mises au point aient commencé aux E.U., l'Union

Européenne rattrape rapidement son retard et les centres d'intérêt sont maintenant très proches. La législation récente aussi bien aux E.U. qu'en Europe porte sur la réduction des **polluants particuliers provenant d'opérations particulières**. Toutefois, en dépit d'un large éventail de démarches, il n'existe pas de législation harmonisée à l'échelle européenne destinée au contrôle des émissions fugitives. En revanche, les états membres sont en train de mettre au point des mesures de contrôle dans le cadre de leurs propres systèmes législatifs nationaux. Ces limites se rétréciront inévitablement et le rôle joué par une performance satisfaisante des joints d'étanchéité dans l'assurance d'un fonctionnement efficace des installations et du contrôle des émissions prendra une importance croissante.

2.2. Le défi de l'étanchéité moderne

Les feuilles d'amiante comprimé ont constitué de tout temps le matériau de choix pour les joints « mous ». On le considérait comme un matériau facile à utiliser et dont on pouvait abuser, ce qui en faisait un matériau considéré comme très « indulgent ». Par conséquent, on a utilisé ce matériau comme matériau d'étanchéité pour la plupart des applications communes avec une performance généralement raisonnable. Les fabricants aussi bien que les utilisateurs ont acquis au cours des années une vaste expérience de ce matériau.

De même, des spécifications d'essai pour des matériaux traditionnels utilisés pour des joints mous ont été destinées à une application sur des matériaux à base d'amiante pour lesquels on disposait d'une large expérience de la part des utilisateurs. Cette expérience indiquait que ces matériaux fonctionneraient de manière satisfaisante en service sous réserve qu'ils aient été fabriqués selon un niveau approprié de contrôle qualité. Peu de propriétés parmi celles mesurées au cours d'essais de contrôle qualité avaient une importance fonctionnelle directe. Plus exactement, elles garantissaient que le lot en cours était similaire aux précédents dans sa composition et donc, par implication, dans sa performance.

Plus récemment, avec la tendance à s'éloigner de l'utilisation de fibres d'amiante, une nouvelle génération de produits de substitution sans amiante a été mise au point par l'industrie de l'étanchéité. Ceci a représenté un énorme défi étant donné que l'on ne dispose que d'une expérience relativement limitée concernant les nouveaux matériaux en service. Une grande partie de ces matériaux assurent un meilleur niveau de performance d'étanchéité bien qu'ils soient généralement davantage réservés à une application particulière que leurs homologues en amiante. De même, la manipulation de ces nouveaux matériaux demande en général plus de soin. Et surtout, la performance de ces nouveaux matériaux peut dépasser celle de leurs homologues en amiante mais ils sont habituellement moins indulgents ; les utilisateurs doivent apporter plus de soin au choix du matériau approprié et au montage du joint d'étanchéité.

Il existe un besoin urgent de directives destinées aux utilisateurs concernant ces nouveaux matériaux et ceci constitue l'élément qui a déterminé la production de la présente publication. On espère que le présent document sera également repris par les organismes intéressés pour servir de base à des programmes de formation d'opérateurs de maintenance.

De nouvelles méthodes d'étanchéité ont été progressivement mises au point, en particulier pour des services plus sévères et cela comprend les matériaux pour joints « durs » réalisés principalement en matériaux métalliques ou semi-métalliques. Ces matériaux offrent aux utilisateurs un choix encore plus grand dans la sélection de la technologie d'étanchéité appropriée et confirme le besoin de directives.

On a observé le même défi dans les normes et méthodes d'essai. On a accordé une attention croissante aux essais de nature plus fonctionnelle, ce qui a entraîné des modifications importantes des types d'essais entrepris. Les spécifications d'essai nationales et internationales incluront de plus en plus d'essais ayant une importance fonctionnelle qui simulent des conditions de service et sont des essais à long terme par rapport aux essais à court terme concernant la compatibilité des produits.

La situation actuelle se trouve encore compliquée du fait des différentes procédures mises au point pour des spécifications nationales à travers l'Europe et les E.U.. Bien qu'il existe de nombreuses méthodes d'essai parallèles, des différences dans la manipulation du protocole et des résultats reflètent la diversité historique des démarches. Heureusement, des avancées récentes dans les spécifications d'essai ont tendu à démontrer une ressemblance croissante, et ceci doit être encouragé afin d'harmoniser les procédures de normalisation dans la mesure du possible.

Des informations sur les méthodes d'essai et les normes sont disponibles dans une publication récente réalisée par l'ESA, **Glossary of Sealing Terms (Flanges and Gaskets)**. Ce document particulier donne également des informations sur :

- les unités et facteurs de conversion applicables
- les normes applicables
- les organismes de normalisation et autres organismes concernés
- les abréviations courantes.

Ainsi, grâce à des exigences croissantes concernant la réduction des émissions industrielles, grâce à de nouvelles technologies d'étanchéité et grâce à de nouveaux matériaux d'étanchéité demandant une sélection, une manipulation et une

installation plus rigoureuses, le présent document a pour objet la fourniture de directives utiles à l'intention des opérateurs de maintenance et des utilisateurs.

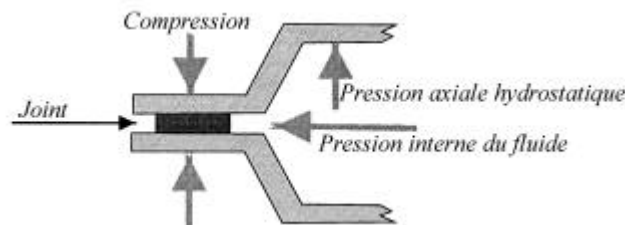
3. Vue d'ensemble du système bride / boulon / joint

Un joint est destiné à créer et maintenir une étanchéité statique entre deux brides fixes qui raccordent des séries d'ensembles mécaniques dans une installation en service renfermant une grande variété de fluides. Ces étanchéités statiques sont destinées à fournir une barrière physique intégrale contre le fluide présent dans l'installation, bloquant ainsi tout chemin de fuite potentiel. Pour y parvenir, le joint doit pouvoir s'introduire dans (et remplir) toutes les irrégularités des plans de joint à étancher tout en étant cependant suffisamment élastique pour résister à l'extrusion et au fluage dans des conditions de service normales. L'étanchéité est réalisée par l'action d'un effort sur la surface du joint, ce qui comprime le joint pour épouser toutes les imperfections de la bride. La combinaison de la pression de contact entre le joint et les brides ainsi que la densification du matériau composant le joint évite que le fluide présent s'échappe de l'ensemble. Ainsi, les joints sont indispensables à un fonctionnement satisfaisant d'une vaste gamme de matériel industriel.

Au montage (à l'assise), un joint doit pouvoir surmonter des imperfections mineures de centrage et de brides telles que :

- brides non parallèles
- cuvettes / rainures dues à la déformation
- ondulations superficielles
- formation de stries superficielles
- autres imperfections superficielles

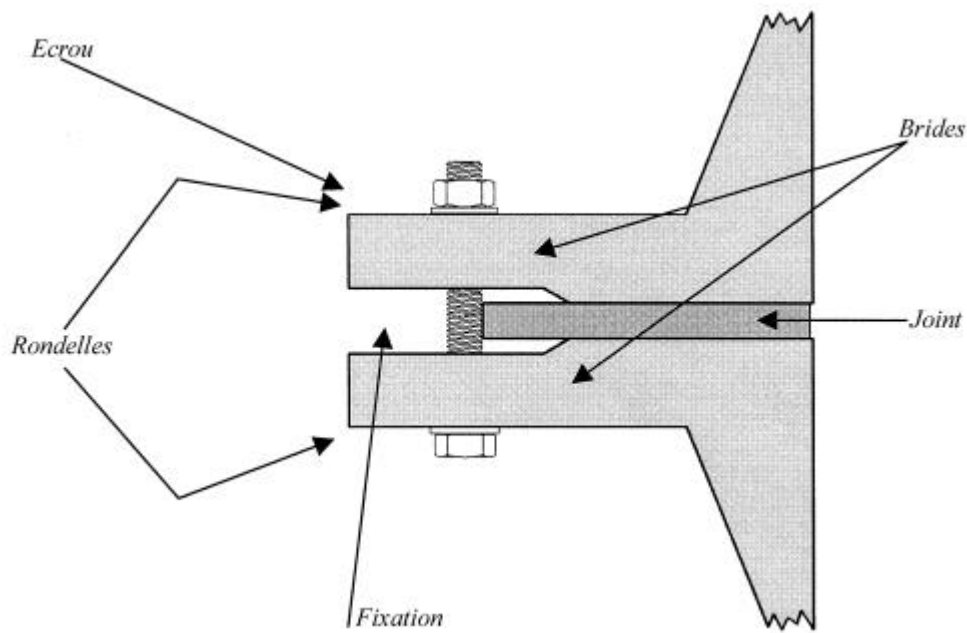
Une fois assemblé, un assemblage à brides avec joint d'étanchéité (joint en anglais) ou « assemblage » est soumis à une compression entre les faces de brides généralement appliquée par des boulons en charge. Afin d'assurer le maintien de l'étanchéité pendant la durée de vie de l'ensemble, la pression doit demeurer suffisamment élevée sur la surface du joint pour éviter les fuites. Dans des conditions de service normales, la pression sera diminuée par la *pression axiale* qui est la force produite par la pression interne qui tend à séparer les brides. Le joint lui-même est alors soumis à une charge latérale appliquée par la pression interne du fluide tendant à extruder le joint entre les brides. Pour maintenir l'intégrité de l'étanchéité, la compression effective du joint (en d'autres termes la charge moins la pression axiale hydrostatique) doit être supérieure de quelques multiples à la pression interne selon le type de joint, le process utilisé et le niveau d'étanchéité requis. Dans le cas de joints mous, il doit aussi exister un certain frottement entre le joint et les faces de joint pour aider à éviter au joint d'être extrudé (rupture) de l'assemblage. Afin de permettre un certain desserrage du joint que l'on ne peut normalement éviter, il est généralement recommandé d'appliquer un facteur au moins égal à deux entre la compression initiale et celle exigée pour maintenir une étanchéité. Un certain nombre de publications ^{3, 4, 5, 6} donnent des détails sur l'interaction bride / joint.



Ainsi, la fonction primaire d'un joint consiste à créer et à maintenir une étanchéité entre les brides dans des conditions qui peuvent varier sensiblement d'un assemblage à l'autre selon la nature et le type de l'application. Afin de satisfaire ces conditions variables, on a mis au point un certain nombre de systèmes de brides / fixations / joint et l'on doit tenir compte de nombreux facteurs lors de la sélection de l'ensemble le mieux approprié y compris :

<u>Application</u>	<u>Arrangement des brides</u>	<u>Joint</u>
Pression du milieu	Configuration / type	Résistance à la rupture
Température du milieu	Etat de surface	Résistance au fluage
Réactivité chimique du milieu	Matériau	Relaxation
Nature corrosive	Charge disponible des boulons	Capacité de reprise élastique
Recherche de la capacité du milieu	Probabilité de corrosion / d'érosion	Durée de vie prévue
Viscosité	Résistance des brides / rigidité	Coût comparatif
pH du milieu (acidité)	Tolérance d'alignement	Compatibilité chimique
Concentration		Facilité de manutention / d'installation / de dépose
		Tenue au feu
		Etanchéité
		Résistance combinée à la pression / température

Pour tous ces systèmes, il importe de noter que la performance de l'étanchéité dépend de l'interaction des divers composants du système :



On ne peut espérer une performance satisfaisante de l'étanchéité sur une durée de vie raisonnable que si tous les composants du système travaillent ensemble en harmonie. L'intégrité d'une étanchéité sûre est liée à :

- ☑ *la sélection de composants corrects appropriés à l'application*
- ☑ *une préparation, un nettoyage, une installation et un montage soignés*
- ☑ *un serrage et un chargement corrects des boulons*

Le comportement d'un assemblage à brides en service dépend de l'aptitude de la tension créée dans les fixations à bloquer ensemble ou non les composants de l'assemblage avec une force suffisante pour résister à une défaillance de l'étanchéité mais assez faible pour éviter d'endommager les fixations, les composants de l'assemblage, le joint, etc ... La charge sur le joint est créée, à l'assise, par le serrage de la boulonnerie. Ceci crée une tension dans la fixation (à laquelle on fait souvent référence comme l'*effort de serrage*⁵). Bien qu'il puisse exister une certaine déformation plastique dans les filets lorsque l'on serre une fixation normalement, particulièrement lors du serrage initial, la plupart des composants de l'assemblage présentent une réponse élastique au fur et à mesure que l'on serre les écrous. Effectivement, le système tout entier fonctionne comme un ressort, les fixations étant étirées et les autres composants de l'assemblage comprimés.

Ce ne sont pas seulement les joints qui connaissent des défaillances mais aussi les assemblages ! De faibles couples de serrage, des charges de serrage excessives des boulons, des boulons réalisés en matériaux peu performants, une lubrification non appropriée des boulons / rondelles / écrous, une mauvaise conception des brides ou de mauvais matériaux, une mauvaise découpe ou un mauvais stockage des joints, des modes d'installation inadaptés peuvent contribuer ensemble ou séparément à une défaillance de l'étanchéité même si le matériau utilisé pour le joint lui-même a été correctement spécifié ! La présente publication va essayer d'apporter des solutions à l'ensemble de ces défis.

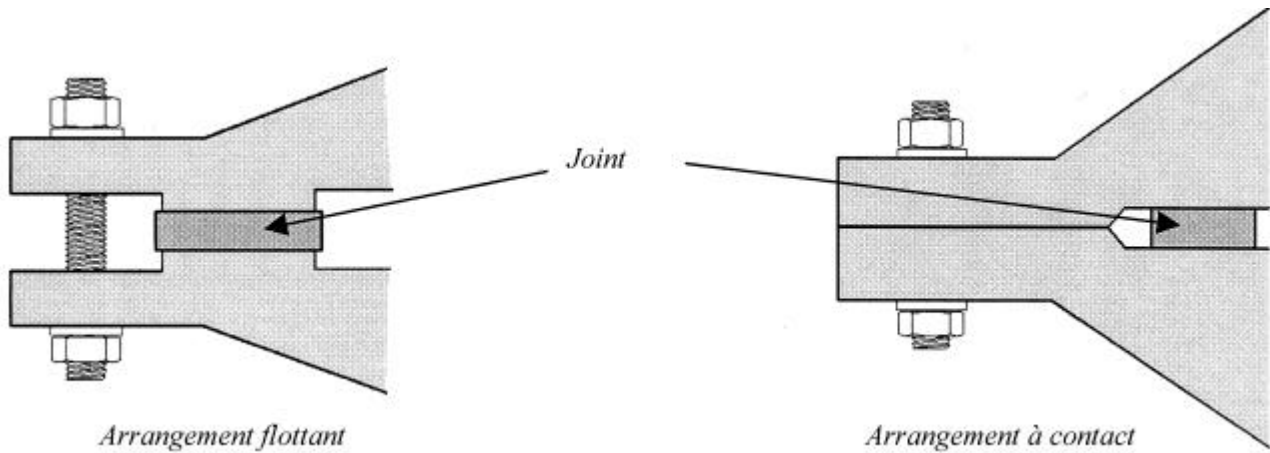
Il faut souligner que le présent document est destiné aux ingénieurs de maintenance, installateurs et mécaniciens ; par conséquent, les informations concernant les procédures de calcul des brides sont limitées. Les lecteurs doivent savoir que d'autres recommandations se trouvent dans des documents comme les normes BS5500 et ASME Section 8.

4. Ensembles brides / joints

On utilise communément de nombreux arrangements de brides et de joints ^{4, 5}. Bien qu'une discussion détaillée de la géométrie et de la conception des brides dépasse le cadre du présent document, il est utile de souligner au moins certains des principaux types que l'on trouve dans des installations industrielles.

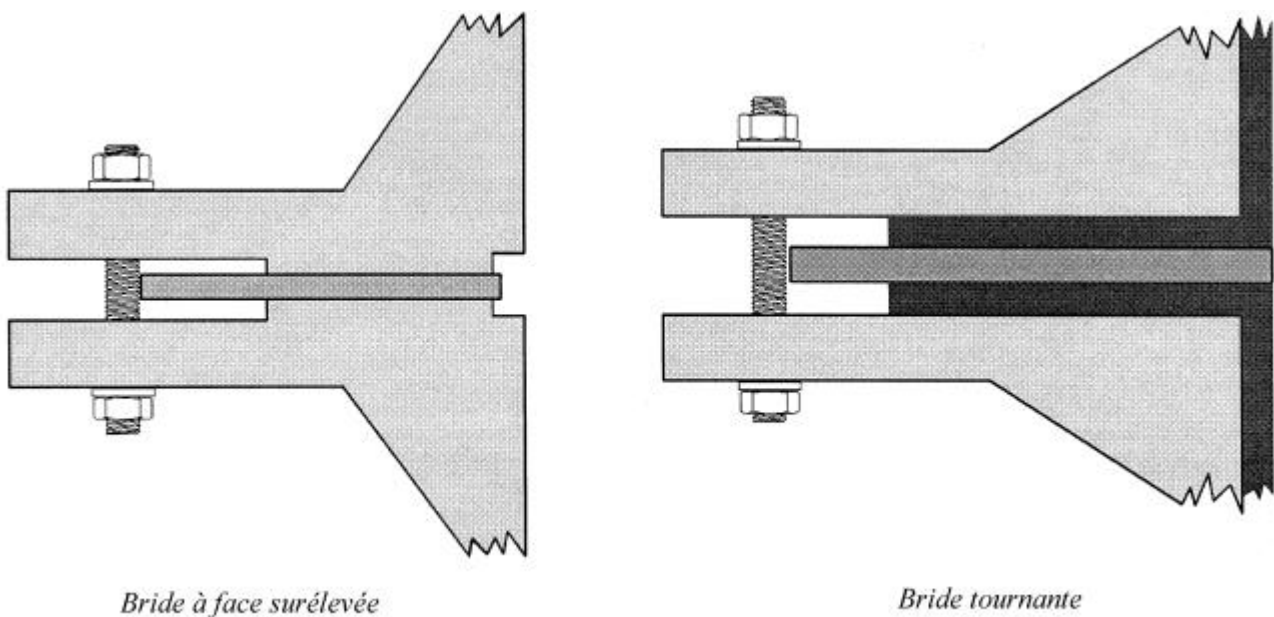
Alors que l'on utilise le plus souvent des matériaux métalliques pour les brides, certaines applications demandent des brides non métalliques, par exemple en plastique armé, verre, ou acier verré. On a tendance à utiliser des brides non métalliques pour des applications nécessitant une plus grande inertie chimique. Ces brides sont généralement moins robustes et exigent un matériau plus mou pour le joint assurant une assise sous une pression de joint plus faible. Les températures et pressions de service sont habituellement moins sévères.

Les arrangements des brides sont en général du type « flottant » ou « à contact » :

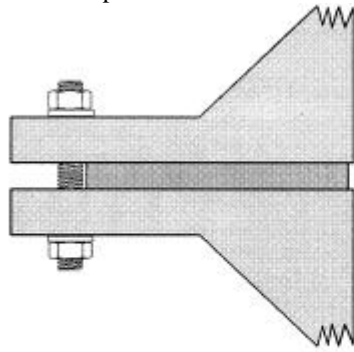


4.1. Systèmes courants

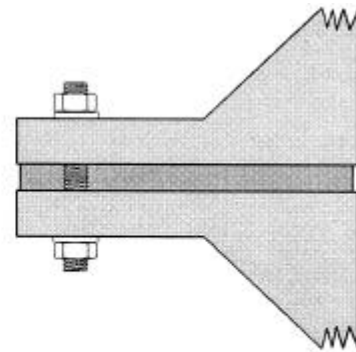
Les **brides à face surélevée** sont couramment utilisées sur les réseaux de tuyauterie. Les surfaces de contact des brides sont surélevées bien que le joint ne soit pas "confiné". En général, le diamètre extérieur du joint est égal au diamètre de perçage déduction faite du diamètre des boulons. Ceci représente le joint à perçage intérieur (IBC) (également appelé joint « tore » aux E.U.). Dans ce cas, les boulons servent à centrer le joint, ce qui facilite l'installation et la dépose du joint sans avoir à séparer la totalité du système de bride. Il existe également la **bride tournante** semblable à la bride à face surélevée. On utilise ce raccord lorsque le procédé exige un réseau de tuyauterie présentant une plus grande inertie (éventuellement en alliages, plastique ou verre) mais là où la bride elle-même peut être construite en un matériau moins exotique :



On utilise normalement les **brides à face plate** lorsque le matériau employé pour construire la bride est relativement fragile. Dans ce cas, le joint n'est pas confiné et son installation et sa dépose sont relativement faciles :



Bride à face plate avec joint IBC



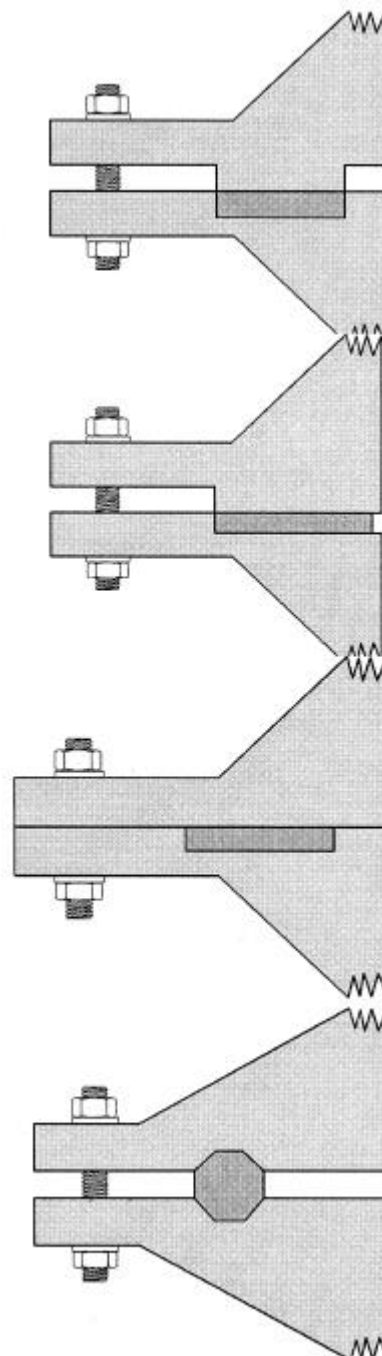
Bride à face plate avec joint plein

La **bride à emboîtement double** avec un joint confiné en totalité. La profondeur de la gorge est égale ou supérieure à la hauteur de la languette. Normalement, la largeur du joint est égale à celle de la gorge. Dans cet arrangement, il faut séparer entièrement les brides pour changer le joint. Ce système de bride exerce une pression d'assise importante sur le joint et est en général déconseillé pour des types de joint mous :

La **bride mâle - femelle** (ou **bride à emboîtement**) contient un joint semi-confiné et peut se présenter sous des formes diverses. La profondeur de la bride femelle est égale ou inférieure à la hauteur de la bride mâle, ce qui évite tout contact direct éventuel entre les faces de joint lorsque le joint est comprimé. Il faut séparer le système de brides pour changer le joint.

L'arrangement par **bride à face plate et rainure** avec joint entièrement enfermé. La face extérieure de l'une des brides est simple (plate) et l'autre face présente une rainure où l'on installe le joint. On utilise ces modèles dans des applications où la distance entre brides doit être précise. Lorsque le joint est installé, les brides sont généralement en contact l'une avec l'autre (contact métal-métal). On ne doit utiliser que des joints élastiques sur ce système :

L'arrangement par **bride à "ring joint"** (également connu sous le nom de **joint API**) dans lequel les deux brides comportent des gorges destinées à recevoir le joint tore construit habituellement en métal massif. Les joints concernés sont souvent désignés sous le nom de joint à **face RTJ** ou **"ring type joint"** :



4.2. Etat de surface des brides

L'état de surface idéal pour un type de joint particulier est un sujet vivement controversé ! On a réalisé quelques études sur l'effet de l'état de surface des brides et, d'une manière générale, la plupart des fabricants fournissent des recommandations concernant l'état de surface des brides pour des matériaux particuliers composant les joints.

Les faces de joints métalliques peuvent aller d'une pièce de fonderie brute à celle obtenue grâce à un rodage à la machine et chaque type de face affecte le rendement de l'étanchéité. Les faces des brides de tuyauterie pour des joints non métalliques présentent souvent une forme à stries concentriques ou spiralées (phonographique). De par leur diversité, les brides métalliques peuvent résister à des pressions de joint plus élevées et sont par conséquent absolument nécessaires là où les paramètres de service sont les plus extrêmes.

Quelques règles générales s'appliquent à l'état de surface de la bride :

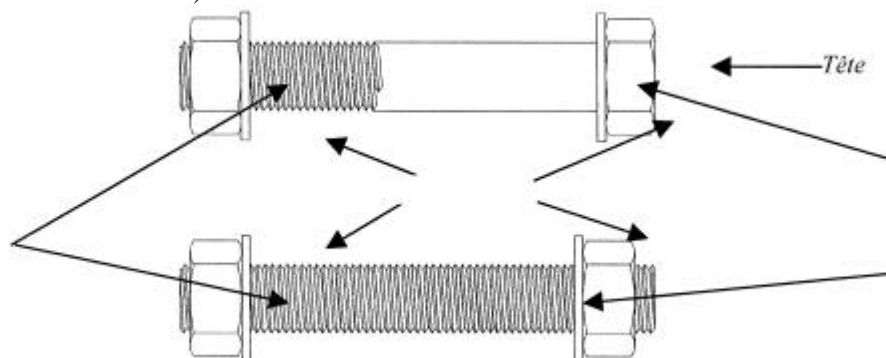
- *L'état de surface a un effet bien défini sur la capacité d'étanchéité et la sécurité du joint d'étanchéité*
- *On doit obtenir une pression d'étanchéité minimale pour permettre au matériau composant le joint de s'introduire dans les irrégularités de l'état de surface. La force totale exigée pour y arriver est proportionnelle à la face de contact du joint et de la bride. On peut réduire la force de serrage des boulons en diminuant la surface du joint ou la surface de contact de la bride.*
- *Plus les surfaces des stries dans le cas d'une finition à stries concentriques sont proches les unes des autres et moins les rainures sont profondes, plus la surface de la bride commence à ressembler à une bride lisse et par conséquent, plus la surface de contact est importante. Un chargement plus élevé des boulons est donc nécessaire pour permettre une bonne assise du joint. On obtient l'effet contraire lorsque les distances entre stries s'élargissent.*
- *A la limite, avec une bride très lisse, on obtiendra une friction réduite empêchant l'extrusion du joint vers l'extérieur sous l'influence de la pression interne du milieu confiné.*
- *Il est plus difficile d'assurer l'étanchéité d'un état de surface phonographique que celle d'un état de surface à stries concentriques. Le matériau composant le joint doit s'introduire en totalité au fond de la « vallée » d'un état de surface phonographique si l'on veut éviter un chemin de fuite spiralé partant d'une extrémité de la spirale vers l'extérieur.*
- *On associe souvent des états de surface striés et spiralés avec des ensembles de brides pour tuyauteries alors que des états de surface meulés du commerce peuvent se trouver sur des assemblages à brides autres que des ensembles de brides pour tuyauteries. On doit veiller aux états de surface fraisés qui sont susceptibles de créer des chemins de fuite supplémentaires si le fraisage n'est pas suffisamment lisse.*

☑ Etant donné que les matériaux composant le joint ont une dureté ou une résistance à l'écoulement différentes, il est important de bien sélectionner le matériau approprié par rapport à l'état de surface et à l'application des brides.

Par exemple : - pour des applications sous des températures et/ou pressions élevées, utiliser un état de surface brut (mais contrôlé) et des joints présentant une résistance élevée à l'écoulement ;
- pour des applications sous des températures et/ou pressions faibles, on peut admettre un état de surface lisse, particulièrement dans le cas de joints mous ;
- pour des brides faibles ou fragiles, utiliser des joints mous.

4.3. Fixations

Pour la majorité des assemblages à bride et joint, les fixations assurant la compression sur les brides (et, par conséquent, sur le joint) consistent normalement en boulons ou tiges filetées en tension⁵. Effectivement, un boulon est une fixation filetée que l'on doit utiliser avec un écrou. Une tige filetée est une fixation filetée que l'on doit utiliser avec deux écrous (dans certains cas, le corps est entièrement fileté).



La fixation a pour fonction de bloquer suffisamment l'assemblage pour éviter un glissement ou une fuite et doit par conséquent être assez résistante pour supporter la tension induite lors du serrage initial ainsi que les charges supplémentaires qu'elle devra supporter en service (par suite de la pression, de la température et du cyclage). Il importe de tenir compte d'un certain nombre de paramètres⁵ lors de la détermination de la capacité des fixations telles que la résistance à la traction, l'usure du filetage, la fatigue et la fissuration due à la corrosion sous tension.

Les fixations montrent un comportement à la relaxation sous contrainte lié au matériau utilisé pour leur construction. Ceci affectera sensiblement la charge qu'ils peuvent engendrer sur l'ensemble bride / joint dans des conditions de service normales. Par conséquent, lors de la sélection des fixations destinées à une application particulière, il faut toujours tenir compte des variations de température auxquelles les fixations seront soumises en service.

Températures de service recommandées pour les fixations

<u>Matériau</u>	<u>Température °C (°F)</u>			
	Minimum		Maximum	
	°C	°F	°C	°F
Acier de carbone	-20	(-4)	300	(572)
B7, L7	-100	(-148)	400	(752)
B6	0	(32)	500	(932)
B8	-250	(-418)	575	(1067)
B16	0	(32)	520	(968)
B17B	- 250	(-418)	650	(1202)
B80A	-250	(-418)	750	(1382)

Dans la plupart des ensembles à bride, la répartition de la pression sur le joint n'est généralement pas identique sur tous les points. Par exemple, deux boulons de gros diamètre peuvent fournir la même charge globale que 12 boulons de diamètre plus petit mais la répartition de la charge sera très différente. La zone du joint entourant les boulons ou les tiges filetées subit une compression plus grande que celle exercée à mi-parcours entre les boulons en raison du cintrage de la bride. Il faut donc utiliser un nombre plus élevé de boulons ou de tiges filetées convenablement espacés pour obtenir une répartition de la pression sur le joint la plus régulière possible. Il importe

de ne jamais utiliser un nombre de fixations inférieur à celui calculé pour la bride.

Lorsque les fixations et les éléments du joint sont mis sous tension lors du serrage des écrous (qui induit une charge sur le joint), les composants des fixations et du joint se déforment. La fixation s'allonge au fur et à mesure que la tension interne augmente.

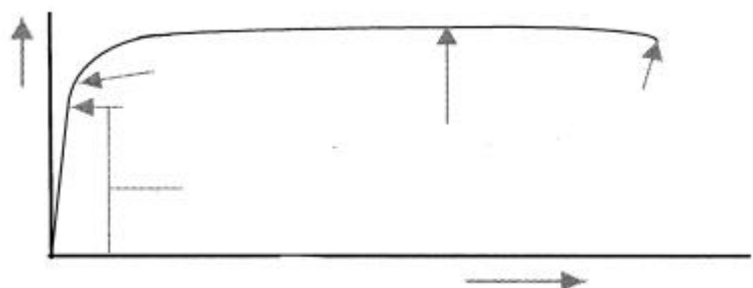
L'allongement initial de la fixation constitue la *région élastique* dans laquelle aucune déformation permanente de la fixation ne se produira même sous des chargements et des déchargements répétés. L'effort de traction le plus élevé pouvant être supporté sans déformation permanente est connu sous le nom de *limite élastique* (également appelée *charge d'épreuve*).

Les fixations sont plus efficaces à l'intérieur de leur région élastique.

Les charges de tension supérieures à la *limite élastique* produiront quelques déformations permanentes: l'attache ne retrouvera pas sa longueur initiale et son efficacité comme fixation élastique sera diminuée. L'effort de traction produisant une déformation permanente spécifiée est connu sous le nom de *limite apparente d'élasticité* (souvent appelée *limite élastique*) et on utilise le plus souvent une déformation égale à 0,2% pour les métaux. L'effort de traction qui produit ce niveau de déformation est souvent appelé *limite apparente d'élasticité conventionnelle à 0,2%* ou *limite conventionnelle d'élasticité à 0,2%*.

LEGENDE :

- Tension
- Limite élastique
- Limite d'élasticité
- Rupture
- Résistance à la rupture
- Région élastique
- Longueur de fixation



La résistance à la rupture de la fixation à la limite maximum est également connue sous le nom de résistance à la traction.

Lorsqu'une spécification inclue un essai de *limite apparente d'élasticité* sur une fixation à pleine échelle (souvent mentionné comme la *contrainte sous charge d'épreuve*), cette valeur assurée peut être utilisée pour la capacité de charge maximum. Toutefois, certaines spécifications donnent une *limite apparente d'élasticité à 0,2%* comme une indication de la limite élastique. A noter qu'il ne s'agit là que d'une valeur arbitraire basée sur un essai contrainte-déformation réalisé sur une éprouvette usinée à partir d'une barre à bouchon en alliage (et non sur une fixation à pleine échelle). En réalité, la *limite élastique réelle* d'un grand nombre de fixations en alliage peut être très inférieure à la valeur de la *limite apparente d'élasticité à 0,2%*. Cette différence n'est pas un problème dans la mesure où les charges de calcul n'utilisent pas la résistance totale supposée des fixations ; toutefois, il existe un risque accru d'écoulement plastique ou de rupture des fixations si on utilise un pourcentage élevé de l'écoulement plastique supposé qui dépend principalement du matériau et de la méthode utilisés pour construire les fixations. Par exemple, le tableau suivant (adapté de la norme EN 20898 1 de 1991) indique les propriétés mécaniques de certaines fixations à température ambiante et donne les différentes valeurs de charge d'épreuve et de limite apparente d'élasticité à 0,2% :

	Classe de caractéristiques					
	4.6	6.8	8.8		10.9	12.9
			D<16 mm	d>16 mm		
Résistance à la traction, MPa (ksi)	400 (58)	600 (87)	800 (116)	830 (120)	1040 (151)	1220 (177)
Contrainte sous charge d'épreuve, MPa (ksi)	225 (33)	440 (64)	580 (84)	600 (87)	830 (120)	970 (141)
Limite apparente d'élasticité à 0.2%, MPa (ksi)	-	-	640 (93)	680 (99)	940 (136)	1100 (160)

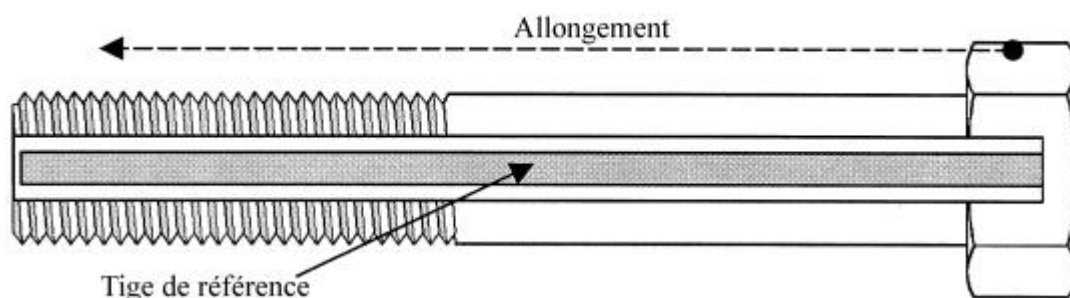
Pour des fixations de la classe de caractéristiques 8,8 et de diamètre $d < 16$ mm, il existe un risque accru d'arrachage des écrous en cas de serrage excessif involontaire induisant une charge supérieure à la charge d'épreuve (il est recommandé de se référer à la norme ISO 898-2).

Les lecteurs doivent avoir conscience du fait que les fixations peuvent avoir des revêtements résistant à la corrosion ou être galvanisées. A noter que les tableaux de cette section ne s'appliquent qu'à des fixations non traitées.

Des exigences mécaniques semblables sont indiquées dans le tableau suivant (adapté de la norme ASTM A 193 / A 193M) à température ambiante :

	B6	B7 (Cr-Mo)		B16 (Cr-Mo-V)			Class 1 B8 etc	Class 2 B8 etc			
Diamètre	Jusqu'à 4 incl.	Jusqu'à 2 ½ incl.	>2.5-4 incl.	>4-7 incl.	Jusqu'à 2 ½ incl.	>2.5-4 incl.	>4-7 incl.	All	Jusqu'à ¾ incl.	>¾-1 incl.	>1-1¼ incl.
Diamètre, mm	Jusqu'à 100 incl.	Jusqu'à 65 incl.	>65- 100 inclus	>100- 180 incl.	Jusqu'à 65 incl.	>65- 100 inclus	>100- 180 incl.	All	Jusqu'à 20 incl.	>20-25 incl.	>25-32 incl.
Résistance à la traction, ksi (MPa)	110 (760)	125 (860)	115 (795)	100 (690)	125 (860)	110 (760)	100 (690)	75 (515)	125 (860)	115 (795)	105 (725)
Limite d'élasticité à 0.2 %, ksi (MPa)	85 (585)	105 (720)	95 (655)	75 (515)	105 (725)	95 (655)	85 (586)	30 (205)	100 (690)	80 (550)	65 (450)

Par conséquent, le module d'élasticité de la fixation constitue un critère important. Des dispositifs sont disponibles pour mesurer l'allongement de la fixation tels que la tige de référence que l'on place dans un trou percé le long de l'axe du boulon. Cette tige de référence est raccordée à la tête du boulon mais peut se déplacer librement le long de l'axe. Ceci signifie qu'au fur et à mesure de l'application de la charge sur le boulon, on peut mesurer la modification de la longueur du boulon (allongement) à l'aide d'un micromètre de profondeur.



Mesurer l'allongement des boulons à l'aide d'un micromètre demande du temps et peut ne pas assurer le contrôle de la précharge avec une précision suffisante. L'utilisation d'ultrasons évite certains de ces inconvénients en offrant une méthode plus précise de détermination de l'allongement des boulons ⁵, bien qu'elle ne soit pas toujours pratique et demande une grande expérience de la part de l'opérateur. On peut aussi surveiller l'allongement des fixations à l'aide de fixations de contrôle de tension qui sont pré-réglées à la charge requise.

De toute évidence, lorsqu'une fixation s'échauffe, elle s'étire en longueur ce qui réduit effectivement la charge sur le joint. Même avant ceci, au fur et à mesure que la température du système s'élève pour atteindre la température de service, la bride proprement dite se dilate également. Il faut donc tenir compte du coefficient de dilatation des composants du système de bride dans le calcul de l'assemblage.

La performance de l'étanchéité dépend largement du niveau correct de tension de la fixation. Il est généralement recommandé que la contrainte sur la fixation se rapproche de la « contrainte maximale de la fixation » qui devrait naturellement se situer à l'intérieur de la région élastique de la fixation. Si la fixation doit fonctionner correctement et en toute sécurité à l'intérieur de sa région élastique pendant la durée de vie de l'assemblage, une marge de sécurité est nécessaire. Celle-ci dépendra du matériau, du mode de construction et des dimensions de la fixation ainsi que de la méthode de serrage. Le tableau ci-dessous peut servir de guide prudent pour des charges de fixation maximum à température ambiante :

Spécification des fixations	Charge d'épreuve en % de la limite apparente d'élasticité à 0,2%	Charge d'épreuve en % de la limite apparente d'élasticité à 0,2%	
		selon méthodes des couples	selon méthodes des tendeurs
ISO 898, BS 1768, SAE J429	voir spécification	85 %	90 %
B7, L7, B16	Jusqu'à M36 (1 ½ in.)	88 %	90 %
	> M36 (1 ½ in.)	80 %	90 %
Alliages non ferreux, métaux cuivreux, aciers inox duplex, nimonique	70 %	85 %	90 %
Aciers inox austénitiques, B8	60 %	85 %	90 %

A titre d'exemple, si vous projetez d'utiliser des fixations en acier inoxydable austénitique et de les serrer en utilisant les méthodes des couples, utilisez au maximum 85% de 60% de la charge d'épreuve à 0,2% mentionnée pour ce matériau. Ceci assurera une marge de sécurité appropriée. **Référez-vous toujours au fabricant de fixations pour des directives particulières concernant les charges maximum pour des matériaux utilisés pour les fixations.**

Il est d'une importance vitale que les ingénieurs sélectionnent une dimension et une nuance de fixation ayant une résistance élastique suffisante pour supporter la tension de calcul à l'intérieur de la limite élastique de la fixation. Lors du choix des fixations (boulons ou tiges filetées) :

choisissez des fixations dont la limite élastique est suffisante pour vous assurer qu'elles se trouvent à l'intérieur de leur limite élastique à la charge exigée

choisissez des fixations ayant le même module d'élasticité

assurez-vous que les fixations ne présentent pas de corrosion - ceci peut affecter considérablement la performance !

ne réutilisez pas les fixations pour vous assurer qu'elles observent les directives ci-dessus.

4.4. Ecrous

La tension dans la fixation (et, par conséquent, la compression sur le joint) est générée par le serrage des écrous le long des filets de la fixation. Les filets jouent donc un rôle majeur dans le blocage et l'on doit veiller à préserver leur intégrité. Les filets se trouveront arrachés si les forces axiales appliquées sur la fixation dépassent la résistance au cisaillement des filets.

Les principaux facteurs qui déterminent l'arrachage sont les suivants :

- dimension de la fixation
- longueur d'engagement des filets
- résistance des matériaux utilisés pour la construction de la fixation et de l'écrou

Les filets sur une grosse fixation sont « plus longs » sur chaque spire et leur talon est plus épais que celui des filets d'une fixation plus petite. Ceci signifie que la surface par filet qui doit être cisailée pour arracher le filet est plus grande sur une fixation plus importante, d'où une plus grande résistance à l'arrachement. Une augmentation de la longueur d'engagement entre filets augmente la surface transversale du matériau qui doit être cisailé pour provoquer un arrachement des filets.

Les filets s'arrachent plus facilement lorsque le matériau utilisé pour la fixation et celui utilisé pour l'écrou ont la même résistance. Pour une sécurité optimale, utilisez un écrou ayant une charge d'épreuve spécifiée supérieure de 20% à la résistance à la rupture de la fixation. De cette façon, la fixation se cassera avant que les filets de l'écrou soient arrachés. N'oubliez pas qu'il est plus facile de détecter une cassure qu'un filet arraché !

A noter également l'effet de « grippage » qui est le soudage à froid (partiel ou total) d'une surface fortement chargée contre une autre. Il se produit lorsque les surfaces sont mises en contact si intimement que des liaisons moléculaires se forment entre les parties en contact, comme par exemple entre un écrou et un boulon. Ceci se produit dans le cas où des surfaces sont fortement chargées, où des filets sont étroitement emboîtés, où des lubrifiants ont migré ou se sont desséchés et où des filets sont endommagés. Ces effets se combinent à des températures élevées ou lorsqu'il se produit une corrosion. Le grippage est difficile à éliminer. On peut s'aider de la manière suivante :

- utilisez des gros filets de préférence à des filets fins
- utilisez le lubrifiant approprié
- sélectionnez des matériaux pour les fixations et écrous résistant au grippage lorsqu'ils sont associés comme un acier inoxydable 316 étiré à froid sur un acier inoxydable 316 étiré à froid, des écrous en acier 400 et des fixations en 316, etc.

Lors de la sélection des écrous

sélectionnez des écrous ayant une charge d'essai supérieure de 20% à la résistance à la rupture des fixations

4.5. Rondelles

A noter que sur les schémas de la section précédente, les fixations (boulons ou tiges filetées) sont munies de rondelles. Celles-ci sont importantes non seulement pour répartir la charge plus uniformément mais surtout pour faciliter le processus de serrage en permettant un couple plus cohérent de l'écrou le long du filet. On doit toujours utiliser des rondelles plates et trempées avec des fixations car elles présentent un certain nombre d'avantages. En particulier, les rondelles peuvent :

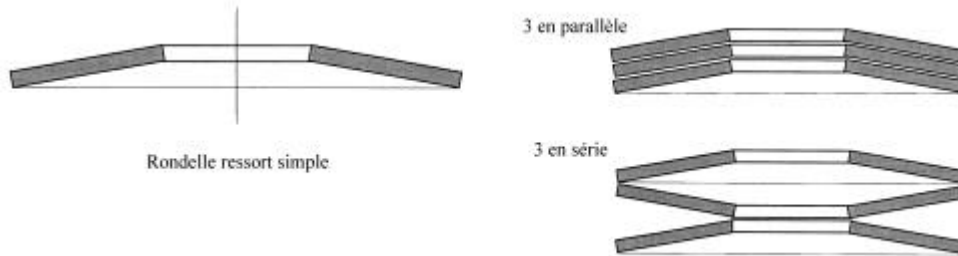
- réduire considérablement la friction entre un écrou tournant et les composants de l'assemblage. Ceci améliore la cohérence des opérations de serrage au couple et par suite, la précision et la répétabilité tout en réduisant le couple exigé
- réduire les problèmes de fatigue en répartissant la charge exercée par la fixation sur l'assemblage
- rendre les forces à l'interface entre les composants de l'assemblage plus uniformes, ce qui améliore la performance du joint
- établir une passerelle entre les trous fendus ou surdimensionnés en facilitant le montage d'éléments mal assortis
- éviter d'endommager les plans de joint
- réduire la quantité de scellement parmi les composants de l'assemblage en réduisant ainsi la relaxation après serrage

utilisez toujours des rondelles !

utilisez le même matériau pour les rondelles et les écrous

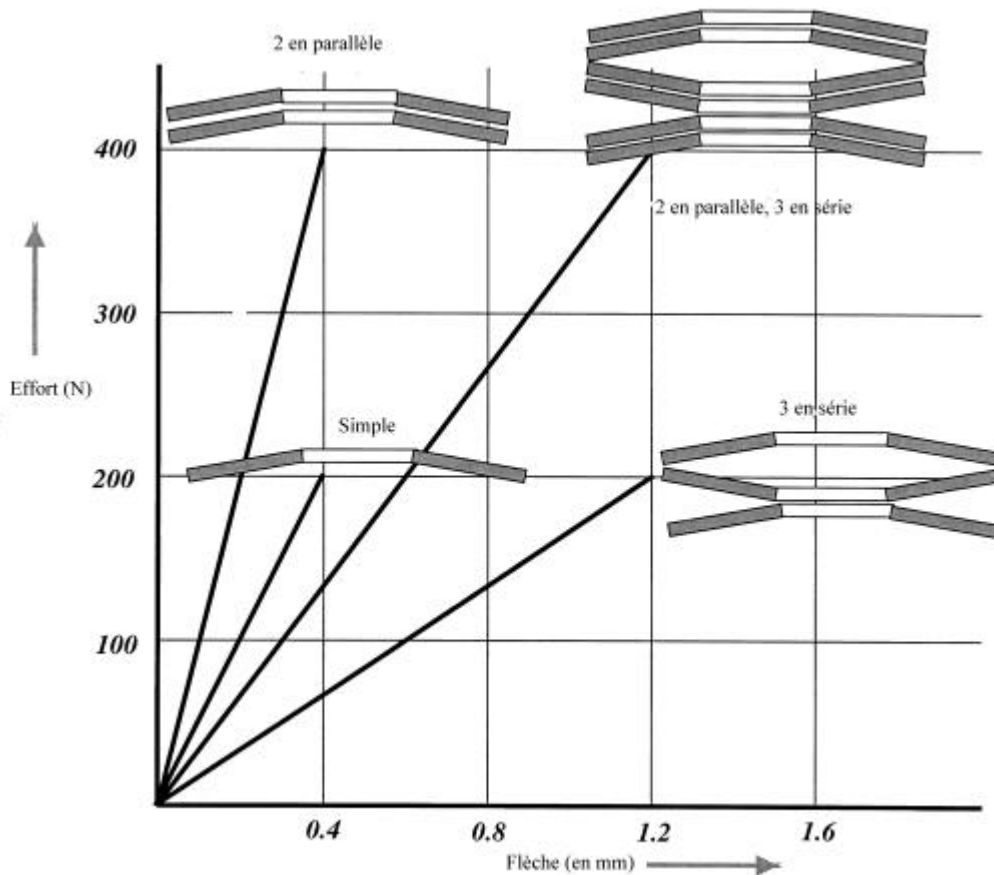
4.6. "Live loading" "Contrôle du serrage en service"

Pendant la durée de vie d'un système d'étanchéité muni de joint et de brides, la contrainte de compression sur le joint varie avec le temps en raison de la relaxation des matériaux utilisés pour le joint et les boulons, le cyclage des températures et des pressions, les vibrations, etc. Pour compenser ces variations, on utilise quelquefois des systèmes destinés à assurer une charge plus constante dans le temps en modifiant l'élasticité de l'ensemble. On peut réaliser ceci en utilisant des fixations plus longues (avec des entretoises) ou « live loading ». Ce dernier est généralement assuré par des rondelles-ressorts métalliques (souvent appelés « rondelles Belleville ») qui sont soigneusement mises au point, sélectionnées et disposées afin de fournir une charge connue, limitant ainsi l'effort de blocage dans le système.



Les rondelles-ressorts sont effectivement comprimées jusqu'à une flèche spécifique de la charge à plat. Ceci donne une forme d'énergie stockée sous forme de "live loading" (réserve de serrage) qui est convertie en contrainte de compression sur la bride et par conséquent sur le joint. Il faut veiller très soigneusement à la quantité de "live loading" appliquée étant donné qu'elle pourrait entraîner une pression excessive sur la bride et le joint. Lorsque l'on travaille sur un empilage, la conception est généralement telle qu'elle tient compte d'une flèche maximum de la rondelle-ressort représentant environ une compression de 75% de sa forme initiale (de sorte que le ressort retient 25% de sa forme non comprimée).

Les applications peuvent comporter des empilages de rondelles-ressorts en série, en parallèle et une combinaison des deux. Chaque combinaison fournit un niveau différent d'énergie stockée en flèche, en particulier :



Quelle que soit la configuration, la pile de rondelles-ressorts exige un guide sur le diamètre intérieur ou extérieur pour éviter un mouvement latéral en charge. Lorsque l'on utilise un encastrement extérieur, celui-ci peut également protéger le système contre une corrosion due à l'environnement outre l'avantage du maintien d'une lubrification constante assurée par une graisse sous haute pression. L'alignement des rondelles-ressorts et de la lubrification minimise la friction entre les plans de

joint. Tout en fournissant un moyen de confinement, l'encastrement extérieur peut aussi servir de sas de sécurité pour éviter une mauvaise utilisation ou une modification de la conception initiale, ce qui augmente la sécurité opérationnelle de l'installation. A noter que la nuance d'acier employée peut limiter la température maximum de service du système de chargement d'exploitation.

4.7. Systèmes de protection des brides

Les brides neuves sont habituellement fournies avec un revêtement plastique destiné à protéger les brides avant utilisation. Il faut enlever ces revêtements de la zone qui sera mise en contact avec le joint car ces revêtements, une fois chauffés, se ramollissent et réduisent la friction entre les surfaces du joint et des brides. Lorsque l'on utilise des joints *mous*, ceci peut provoquer une rupture de l'assemblage provoquée par un fluage excessif induit par le faible niveau de frottement (voir également la section sur la *Séparation des ensembles*).

5. Choix du joint

La présente publication s'adresse aux ingénieurs chargés de la maintenance et aux installateurs et l'on suppose qu'en général, le choix des matériaux appartiendra en premier lieu à l'opérateur ou au concepteur de l'installation. Par conséquent, l'opérateur chargé de la maintenance peut n'avoir qu'une faible marge de manoeuvre pour choisir le matériau d'étanchéité. C'est pourquoi cette section ne donne que peu de directives concernant la majorité des matériaux d'étanchéité disponibles. La sélection doit tout d'abord être basée sur :

- la compatibilité avec le milieu de service
- les température et pression de service
- les variations des conditions de service (par exemple, pendant le cyclage)
- le type d'assemblage concerné

Un mot d'avertissement : en dépit de la similitude qui existe entre de nombreux matériaux, les propriétés de l'étanchéité et la performance réalisée varieront d'un fabricant à l'autre. Toujours consulter le fabricant pour obtenir des directives détaillées sur des produits particuliers.

il importe de toujours utiliser un joint de bonne qualité provenant d'un fournisseur réputé car le coût d'un joint est de peu d'importance comparé au coût d'immobilisation ou à des considérations de sécurité

5.1. Choix des matériaux

Il existe une grande variété de matériaux utilisables pour fabriquer des joints. Cette section est destinée à donner un bref aperçu en particulier des matériaux ordinaires que l'on peut utiliser. Pour des raisons de simplification, elle est divisée en cinq parties :

- matériaux élastomères
- matériaux fibreux
- autres matériaux
- équivalents européens pour matériaux en acier inoxydable
- matériaux métalliques

Matériaux élastomères

Ils constituent souvent le « niveau d'entrée » aux produits d'étanchéité en feuille. Plus communément, ils agissent comme liant lorsqu'on les mélange à des fibres et charges diverses. Leur composition (et par conséquent, leur performance) peut varier. C'est pourquoi il faut toujours consulter le fabricant.

Caoutchouc butyle (IIR, également connu sous le nom d'isobutylène, isoprène)	Elastomère présentant une bonne résistance à la perméation de l'ozone et des gaz. Convient aux acides doux, alcalis et esters mais présente une faible résistance aux huiles et combustibles.
Polyéthylène chlorosulphoné	Elastomère présentant une excellente résistance chimique aux acides et alcalis. Bonne résistance à l'huile. Excellentes propriétés de protection incendie.
Propylène diène éthylène (EPDM)	Elastomère présentant une bonne résistance à l'ozone, à la vapeur d'eau, aux acides forts et aux alcalis mais ne convenant pas pour des solvants et des hydrocarbures aromatiques.
Fluoroélastomère	Hydrocarbure fluoré présentant une excellente résistance aux acides, hydrocarbures aliphatiques, huiles et pour de nombreuses applications corrosives. Ne convient pas aux amines, esters, cétones ou vapeur d'eau.

Caoutchouc naturel (NR)	Excellentes propriétés de reprise. Bonne résistance à la plupart des sels minéraux, acides doux et alcalis. Ne convient pas pour des huiles et solvants ni lorsqu'une exposition à l'ozone, à l'oxygène ou à la lumière solaire est prédominante
Néoprène (chloroprène, CR)	Excellente résistance aux huiles, à l'ozone et aux intempéries. Convient pour des acides moyens, alcalis, solutions salines, pétrole, solvants, huiles et combustibles. N'est pas recommandé pour des acides forts ou des hydrocarbures.
Nitrile (NBR)	Résistance chimique améliorée et capacité thermique supérieures au Néoprène. Bonne résistance aux hydrocarbures et aux huiles. Ne convient pas pour des hydrocarbures chlorés, esters, cétones et agents oxydants forts.
Silicone	Excellentes propriétés thermiques. N'est pas affecté par l'ozone et la lumière solaire. Ne convient pas pour de nombreux hydrocarbures ni pour la vapeur d'eau.
Butadiène styrène (SBR)	Convient pour une utilisation avec des acides faibles et des produits chimiques moyens. Ne convient pas pour des acides forts, la plupart des hydrocarbures ou l'ozone.

Matériaux fibreux

Aramide	Fibre amide aromatique présentant une résistance et une stabilité élevées avec une résistance thermique moyenne. Les fibres brutes peuvent fibriller.
Amiante	Depuis les années 1890, constitue le matériau le plus communément utilisé pour rendre les brides étanches en raison de sa capacité à assurer une étanchéité efficace dans une vaste gamme de conditions de service. Actuellement de plus en plus remplacé par des produits de substitution sans amiante (obligatoire en certains emplacements).
Fibre de carbone	Sa haute conductivité thermique assure une dissipation rapide des calories et permet une résistance thermique élevée (sauf dans des atmosphères oxydantes). Offre une large résistance chimique et peut être utilisée avec des pH allant de 0 à 14 bien que l'on ne puisse l'utiliser dans des environnements oxydants.
Cellulose	Fibre naturelle convenant à des applications sous basse température et moyenne pression. Les fibres brutes peuvent fibriller.
Verre	Complexe minéral de silicates métalliques offrant une bonne résistance et une résistance chimique moyenne. Convient à des applications sous des températures moyennes et élevées. Les fibres de verre ne fibrillent pas.
Fibre minérale artificielle (MMMF)	Egalement désignée sous le nom de « laine minérale ». Fibres minérales composées de silicates métalliques dans une vaste gamme de diamètres. Convient à des applications sous des températures moyennes et élevées. Les fibres ne fibrillent pas.

Autres matériaux

Graphite souple	A la suite d'un traitement destiné à lui donner sa forme exfoliée, ce matériau est essentiellement du graphite pur avec une teneur en carbone élémentaire généralement supérieure à 95%. Par conséquent, ce matériau offre une large résistance chimique bien qu'il ne doive pas être utilisé dans des environnements oxydants. Habituellement fourni sous une densité apparente égale à 1,1 Mg.m ⁻³ (70 lb.ft ⁻³) ce qui représente environ 50% du maximum théorique et est idéal pour la plupart des applications industrielles. Le matériau peut être fourni sous une densité plus élevée (pour des applications réalisées à une pression de fluide élevée) ou plus basse (lorsque les charges d'étanchéité sont relativement basses ou lorsqu'une bonne conformité est exigée).
Mica (vermiculite)	Silicates d'aluminium complexes de formation naturelle caractérisés par une morphologie en feuilles et un clivage de base presque parfait. La structure possède

un degré élevé de souplesse, d'élasticité et de dureté. Stabilité thermique et résistance chimique excellentes.

PTFE

Résistance chimique extrêmement large (le PTFE n'est attaqué que par des alcalis métalliques en fusion et du fluor gazeux) avec d'excellentes propriétés anti-rémanentes et diélectriques. Ce matériau présente une compressibilité élevée qui lui permet de s'adapter aux irrégularités des plans de joint. Facile à manipuler. Susceptible de se dégrader par irradiation.

Equivalents européens pour matériaux en acier inoxydable

E.U. AISI	Allemagne DIN/W.-Nr.	Espagne UNE	France AFNOR	Italie UNI	Suède SS	R.U. BS
304	X5CrNi 18 9 / 1.4301	X5CrNi 18 10	Z6CN 18.09	X5CrNi 18 10	2332	304 S 15
304L	X2CrNi 18 9 / 1.4306	X2CrNi 19 10	Z2CN 18.10	X2CrNi 18 11	2352	304 S 12
316	X5CrNiMo 18 10 / 1.4401	X5CrNiMo 17 12	Z6CND 17.11	X5CrNiMo 17 12	2347	316 S 16
316L	X2CrNiMo 18 10 / 1.4404	X2CrNiMo 17 12	Z2CND 18 13	X2CrNiMo 17 12	2348	316 S 11 316 S 12
321	X100CrNiTi 18 19 / 1.4541	X7CrNiTi 18 11	Z6CNT 18 10	X6CrTi 18 11	2337	321 S 12
347	X100CrNiNb 18 9 / 1.4550	X7CrNiNb 18 11	Z6CNNb 18.10	X6CrNiNb 18 11	2338	304 S 17
410	X100Cr 13 / 1.4006	X12 Cr 13	Z12 C13	X12 Cr13	2302	410 S 21

Matériaux métalliques

Marque	Définition	Commentaires
Acier au carbone	Tôles d'acier forgé laminé (<i>fer doux</i>)	Pour des applications générales uniquement
316	Acier inox. austénitique Cr / Ni 18-12 avec Mo	Excellente résistance à la corrosion mais soumis à fissuration due à la corrosion sous contrainte et à la corrosion intercrystalline avec certains milieux
316L	Variante du 316 avec une teneur plus faible en carbone	Fissuration due à la corrosion sous contrainte et corrosion intercrystalline réduites
304	Acier inox. austénitique Cr / Ni 18-8	Excellente résistance à la corrosion mais soumis à fissuration due à la corrosion sous contrainte à des températures élevées
304L	Variante du 304 avec une teneur plus faible en carbone	Fissuration due à la corrosion sous contrainte et corrosion intercrystalline réduites
321	Acier inox. Cr / Ni 18-10 avec Ti	Soumis à la fissuration due à la corrosion sous contrainte mais corrosion intercrystalline réduite
347	Variante de l'acier inox. Cr / Ni 18-10	Soumis à la fissuration due à la corrosion sous contrainte mais corrosion intercrystalline réduite. Aptitude à des températures élevées.
410	Acier inox. ferritique Cr / Ni 12-9	Excellente aptitude à des températures élevées ; bonne résistance à la corrosion.
Titane		Excellente résistance à la corrosion à haute température ; remarquable dans des milieux oxydants.
Alliage 600	Inconel 600 ® Alliage Ni 70%, Cr 15%, Fe 8%	Excellente résistance à la corrosion à haute température.

Alliage 600	Inconel 600 ®	Alliage Ni 70%, Cr 15%, Fe 8%	Excellente résistance à la corrosion à haute température.
Alliage 625	Inconel 625 ®	Alliage Ni / Cr avec Mo et Nb	Remarquable résistance à la corrosion dans une vaste gamme de milieux acides et alcalins.
Alliage 800	Inconel 800 ®	Acier allié Ni 32%, Cr 20%, Fe 46%	Excellente résistance à la corrosion à haute température.
Alliage 825	Inconel 825 ®	Acier allié Ni, Cr, Fe, Mo, Cu	Résistance élevée aux acides chauds et résistance remarquable à la fissuration due à la corrosion sous tension.
Alliage 200	Nickel 200 ®	Ni forgé 99,6%	Résistance élevée aux milieux réducteurs et aux alcalis.
Alliage 400	Nickel 400 ®	Acier allié Ni 67%, Cu 30%	Résistance élevée à l'acide fluorhydrique.
Alliage B2	Hastelloy B2 ®	Acier allié Ni 32%, Cr 20%, Fe 46%	Excellente résistance aux acides acétique, chlorhydrique, phosphorique et sulfurique.
Alliage C276	Hastelloy C276 ®	Acier allié Ni, Cr, Fe, Mo, Cu	Excellente résistance à la corrosion dans des milieux oxydants et réducteurs
Alliage 20	Carpenter 20 ®	Acier allié Fe / Ni / Cr	Mis au point pour des applications exigeant une résistance à l'acide sulfurique.
Alliage x-750	Inconel ® x - 750	Acier allié Ni / Cr / Fe	Acier hautement résistant trempé par précipitation
Aluminium			Excellentes ductilité et malléabilité.
Cuivre			Résistance à la corrosion en général.

5.2. Types de joints

On peut définir les joints selon trois catégories :

- *tendres (non métalliques)*
- *semi-métalliques*
- *métalliques*

Les caractéristiques mécaniques et les performances de ces catégories varient considérablement en fonction du type de joint choisi et des matériaux à partir desquels le joint est fabriqué. De toute évidence, des propriétés mécaniques sont un facteur important lorsque l'on envisage le calcul d'un joint mais habituellement la sélection du joint est surtout influencée par :

- *la température et la pression du milieu à contenir*
- *la nature chimique du milieu*
- *le chargement mécanique affectant le joint*

Joints tendres (non métalliques)

Souvent des matériaux plats composites convenant à une vaste gamme d'applications chimiques générales et corrosives. Généralement limités à des applications sous des pressions basses à moyennes.

Les différents types sont les suivants : matériaux en fibres d'amiante comprimées ("CAF") et sans amiante (non amiantés), graphite, PTFE.

Joints semi-métalliques

Joints composites réalisés en matériaux métalliques et non métalliques, le métal assurant en général la résistance et la résilience du joint. Conviennent à des applications sous basse et haute température et pression.

Ce type de joint comprend : les Krampfiles, les "???" métalliques, les métaloplastiques, les joints tendres renforcés incluant les graphite à inserts métalliques perforés et les matériaux renforcés par des fils métalliques "it"

Joints métalliques

Peuvent être fabriqués à partir d'un seul métal ou d'une combinaison de matériaux métalliques dans une variété de formes et de dimensions. Conviennent à des applications sous hautes température et pression. Des charges plus élevées sont exigées pour asseoir le joint.

Les différents types sont les suivants : tores en lentille, joints tores et joints soudés.

Le joint doit être résistant aux dommages causés par les fluides à contenir et doit être chimiquement compatible. Dans le cas des joints métalliques, on doit prendre en compte la corrosion électrochimique (ou « galvanique ») qui peut être minimisée en sélectionnant le matériau pour le joint et les brides qui sont proches l'un de l'autre sur la série électrochimique (ou bien il faut utiliser un joint réactif pour réduire au minimum l'endommagement de la bride). Ce type de corrosion est un procédé électrochimique survenant en présence d'un milieu conducteur d'ions qui peut être une solution aqueuse rendue conductrice par des ions en solution. L'élément de base est dissous selon un procédé d'oxydation-réduction au cours duquel les électrons émis par l'élément de base (anode) sont mis en solution et déposés sur l'élément noble (cathode).

Série électrochimique de certains métaux / alliages du commerce
(en eau de mer)

Anode (base)	Magnésium
	Zinc
	Fonte
	Acier au carbone
	Acier inoxydable 304 (actif)
	Acier inoxydable 410 (actif)
	Cuivre
	Acier inoxydable 316 (actif)
	Inconel
	Acier inoxydable 410 (passif)
	Titane
	Acier inoxydable 304 (passif)
	Monel
	Acier inoxydable 316 (passif)
Cathode (noble)	Or
	Platine

On trouvera ci-dessous un bref guide sur les matériaux et les types de matériaux pour les joints que l'on peut utiliser pour assurer des solutions d'étanchéité sûres et fiables. S'il est nécessaire d'utiliser un revêtement de séparation pour faciliter la dépose du joint de la bride après utilisation, utiliser des matériaux avec un revêtement anti-rémanent qui a été appliqué par le fabricant (voir *Composés de séparation*).

A noter que dans les listings ci-dessous, les limites d'exploitation sont données **uniquement à titre indicatif**. De nombreux types de joints sont des composites renfermant une variété de liants, charges, etc.. dont l'inclusion modifiera la performance globale du matériau du joint. Les limites d'exploitation et la capacité peuvent varier de manière significative en fonction des composants du matériau et des conditions de service particulières ; dans ces circonstances, l'avis du fabricant est vital ! **Consultez toujours le fabricant pour obtenir des directives concernant la capacité à être utilisé dans des applications et des limites spécifiques que l'on peut atteindre dans des conditions de service particulières.**

Quel que soit le matériau ou le type de joint choisi, assurez-vous qu'il convient à l'application !

<u>Matériau ou type de joint</u>	<u>Commentaires</u>
Ajoutage en raffineur	On peut combiner une grande variété de fibres, charges et liants en utilisant la chimie de l'ajoutage en raffineur. Les produits sont alors fabriqués selon un procédé de fabrication du papier qui implique généralement un calandrage pour fournir des matériaux couvrant une vaste gamme de performances.
Fibre d'amiante comprimée	Fabriquée selon le procédé de calandrage « <i>it</i> » dans lequel on comprime un mélange entre deux rouleaux chargés. Les feuilles d'amiante ont souvent une teneur élevée en fibres et peuvent être formulées avec une grande variété de charges et de liants. Considérée comme un matériau très indulgent avec des possibilités d'application extrêmement vastes.
Joint comprimé sans amiante (comprimé sans amiante)	On peut formuler une grande variété de fibres, charges et liants en utilisant le procédé « <i>it</i> ». Par conséquent, on peut définir des matériaux pour joints en fibres comprimées pour fonctionner sur une gamme étendue de fluides, températures et pressions. En général, ces matériaux peuvent égaler ou dépasser la fibre d'amiante originale bien qu'ils exigent une sélection, une manipulation et un soin apporté à l'installation plus rigoureux.
A volume constant	Joint dont l'élément d'étanchéité est enfermé à la fois sur le diamètre intérieur et sur le diamètre extérieur à l'aide de bagues métalliques de sorte que lorsqu'il est comprimé à fond, il existe un contact métal / métal entre les faces de bride et les bagues métalliques. Par conséquent, le volume de l'élément d'étanchéité ainsi que la contrainte imposée sur cet élément demeurent constants quel que soit l'excès de charge imposé. L'élément d'étanchéité peut être réalisé en n'importe quel matériau adapté (tel que le graphite) à l'application.
Composition en liège	Economique et convenant généralement à un serrage faible des boulons et à des conditions de service relativement peu sévères. Idéale pour des brides faciles à endommager (par exemple en verre ou en céramique). Habituellement limitée à un service peu sévère.

<u>Matériau ou type de joint</u>	<u>Commentaires</u>
Composite liège / caoutchouc	Caractéristiques souhaitables du liège combinées aux avantages du caoutchouc synthétique donnant une manutention et une durée de stockage améliorées par rapport à la composition en liège, jointes éventuellement à une meilleure résistance chimique (en fonction du liant en caoutchouc). On peut aussi le renforcer à l'aide de fibres pour une meilleure rétention de la charge. Idéal pour des conditions de service peu sévères.
Métallique ondulé	Joint réalisé en métal incorporant généralement un matériau de remplissage sur les ondulations. L'étanchéité se forme entre les crêtes des ondulations et les faces de bride correspondantes.
Enveloppe	Principalement utilisé conjointement avec un matériel en verre, en métal verré, etc... résistant à la corrosion. L'enveloppe généralement réalisée en PTFE sert de couche résistante chimiquement avec des inserts assurant la compression et la résistance.
A oeillet	Joint mou renforcé au moyen d'une bague métallique sur le diamètre intérieur qui assure une résistance supplémentaire à l'éclatement et réduit la dégradation chimique. Améliore généralement l'étanchéité.
En graphite souple	Fourni normalement avec un insert métallique pour fortifier la structure et faciliter par conséquent la manutention et l'installation. On utilise habituellement un noyau mécanique (à soie) bien qu'une liaison adhésive chimique sur le métal plat facilite les opérations de découpage.
Métallo-plastique	Joint traditionnel des échangeurs à base d'un revêtement métallique sur un matériau à âme élastique. Il peut comporter une couche de graphite souple en surface pour augmenter l'étanchéité.
Kammprofil	Joint métallique avec faces rainurées avec ou sans couche d'étanchéité résiliente sur les surfaces.
PTFE (simple)	Fabriqués à partir de PTFE pur avec un traitement minimum, ces joints présentent une résistance chimique extrêmement vaste mais souffrent d'un écoulement et d'un fluage à froid en compression. Souvent en feuilles minces ou moulé.
Phyllosilicate	Matériau pour joints à haute température basé sur des membres de la famille des micas disponibles sous forme de feuilles avec ou sans renfort métallique.
PTFE traité	Sa résistance chimique extrêmement vaste peut se combiner avec une compressibilité élevée et une amélioration significative de l'écoulement et du fluage à froid. Une variété d'options de traitement, de charges et de modèles assurent une vaste gamme de capacités de performance à partir d'un certain nombre de types (tels que le PTFE expansé, le PTFE surmoulé et le PTFE orienté selon deux axes).
"Ring joint"	Joints métalliques fabriqués à partir d'une variété de métaux et d'alliages de section généralement ovale ou octogonale. Utilisé conjointement avec des brides à joint tore. Peut maintenir des pressions extrêmement élevées (allant généralement jusqu'à 100 MPa ou 14.500 lbf.in ²) tandis que la température est normalement limitée par le métal concerné.
Caoutchouc	Une grande variété de types de caoutchouc est disponible pouvant satisfaire une gamme étendue de conditions de service (élastomères). On peut réunir ses propriétés en un produit unique pour répondre aux besoins de performances spécifiques. Il est essentiel de sélectionner la nuance appropriée à la performance requise.
Spiralé	Joints flexibles semi-métalliques consistant en couches (généralement) alternées de rubans métalliques de section trapézoïdale et d'une charge enroulée en forme de spirale. Les éléments métalliques peuvent être en acier inoxydable, Monel, Inconel, etc.. tandis que la charge peut être constituée de fibres d'amiante ou autres, PTFE, graphite, céramique, etc... en fonction de l'application. Peuvent être utilisés sur une vaste gamme de températures et de pressions.
PTFE expansé en ruban / cordon (aussi connu sous le nom de <i>matériau d'étanchéité</i>)	Généralement sur un touret ou un rouleau, ce matériau hautement compressible est très souple et est disponible avec l'adhésif sur une face pour faciliter l'installation. Ce matériau présente quelques améliorations d'écoulement et de fluage à froid comme d'autres formes traitées. On peut l'enrouler sur le plan de joint de la bride, le découper, le faire chevaucher et le comprimer entre les brides. Par conséquent, ce matériau auquel il est souvent fait référence comme « matériau à former en place » est idéal pour bricoler un matériau de joint en vue d'une installation facile sur le terrain. Utilisé généralement à des pressions et des

Matériau ou type de joint

Commentaires

températures moins sévères, en particulier là où les brides sont légèrement chargées ou dans le cas d'une construction relativement légère.

N.B. « *it* » vient des dernières lettres des deux mots allemands *gummi asbest* qui signifient *feuille de fibre d'amiante comprimée*.

5.3. Choix de l'épaisseur

Pour les joints découpés à partir de feuilles, utilisez toujours le matériau le plus fin autorisé par la disposition des brides mais suffisamment épais pour compenser une inégalité du plan de joint, le parallélisme des brides, l'état de surface et la rigidité, etc... Plus le joint est mince, plus la charge des boulons que le joint peut supporter est élevée moins la perte de contrainte des boulons due à la relaxation est importante. Ainsi, plus la zone du joint exposée aux attaques de la pression intérieure et des milieux agressifs sera faible.

assurez-vous que le joint est aussi mince que possible

5.4. Découpage des joints tendres

La performance des joints tendres peut être affectée de manière significative par la façon dont ils sont découpés à la forme voulue :

utilisez un cutter pour découper la forme de joint requise

n'essayez jamais de découper un joint en tapant le matériau contre la bride ! Ceci pourrait endommager la bride et réduira certainement la performance du joint

assurez-vous que le joint est à la bonne dimension pour éviter la corrosion des faces de bride exposées et minimiser la pression axiale hydrostatique

découpez les trous de boulons de sorte qu'ils soient légèrement plus grands que les boulons pour assurer une bonne assise

assurez-vous que le diamètre intérieur du joint n'est pas inférieur au diamètre intérieur de la ligne procédé pour minimiser l'obstruction de cette ligne

5.5. Stockage des joints et matériaux pour joints

Bien que de nombreux matériaux pour joints puissent être utilisés en toute sécurité après avoir été stockés pendant de nombreuses années, leur vieillissement affectera la performance de certains types de matériaux pour joints en raison de la dégradation chimique qui se produit avec le temps. Il s'agit principalement de matériaux ayant une liaison élastomère qui ne devraient en général pas être utilisés après environ 4 ans suivant leur date de fabrication. Ces matériaux à liants élastomères se détérioreront inévitablement avec le temps et même plus rapidement à des températures ambiantes plus élevées. La dégradation est aussi catalysée par une lumière solaire intense. Bien que ceci soit de peu d'importance en ce qui concerne les joints métalliques, les joints semi-métalliques peuvent se trouver affectés (plus particulièrement ceux combinés avec des matériaux à liaison élastomère). Etant donné que les matériaux en graphite et en PTFE ne contiennent pas de liants, les feuilles et les joints réalisés dans ces matériaux ont une durée d'utilisation théoriquement illimitée.

En général :

en cours de stockage, les joints ne doivent pas être soumis à une chaleur ou une humidité extrêmes - stockez-les dans un endroit frais et sec à l'abri de la lumière solaire directe, de l'eau, de l'huile et des produits chimiques

stockez les matériaux en feuilles à plat

évittez de suspendre les joints - ils peuvent se déformer. Stockez les joints mous à plat. Les joints spiralés de grand diamètre doivent être conservés sur leur plateau de montage

les joints doivent être maintenus propres et à l'abri des dommages mécaniques (pour une protection optimale, les stocker dans des sacs en polyéthylène soudés)

L'effet du stockage et du vieillissement variera avec le matériau. Par conséquent, consultez le fabricant pour un avis concernant le stockage de produits particuliers.

5.6. Manipulation des joints et matériaux pour joints

L'état du joint joue un rôle important dans sa performance. Certains matériaux pour joints sont relativement robustes (tels les joints métalliques) ; d'autres sont relativement indulgents (comme le CAF et le PTFE) mais d'autres peuvent être très fragiles ou sujets à la fissuration. Par conséquent, il est préférable de manipuler tous les joints et matériaux pour joints avec le même soin et la même attention. Des joints d'étanchéité cintrés, entaillés, striés, rayés ou martelés seront rarement efficaces ! Lors de travaux sur le terrain, transportez les joints découpés avec soin ; l'idéal serait d'utiliser une certaine forme d'emballage de protection. Bien que le transport de petits joints dans les poches soit une pratique courante, il vaut mieux l'éviter ! Si vous cintrerez un joint, il sera endommagé. S'il ramasse des débris se trouvant dans votre poche ou ailleurs, sa surface pourra être rayée.

transportez les joints avec soin, l'idéal étant d'utiliser une certaine forme d'emballage de protection

ne provoquez pas de cintrage ou de flambage

n'endommagez pas la surface

transportez toujours les joints métalliques et semi-métalliques de grand diamètre sur leur "plaque" jusqu'au site d'installation

5.7. Réutilisation des joints / fixations

Ne réutilisez jamais un joint étant donné qu'il peut avoir été modifié de manière spectaculaire dans des conditions de service normales. Même si le joint semble être OK, cela n'en vaut pas la peine ! Le coût d'un joint neuf est très faible par rapport au coût d'immobilisation provoqué par une fuite ou une rupture et aux considérations de sécurité et de protection de l'environnement.

De même, des boulons ou des tiges filetés peuvent avoir été endommagés en raison de la corrosion ou peuvent avoir perdu leur ductilité en étant serré au-delà de leur élasticité ; si vous n'êtes pas certains, ne prenez pas de risques !

Ne réutilisez pas des joints ou des fixations

6. Procédures de montage

Un montage correct de l'assemblage est crucial si le joint doit atteindre la performance de calcul. Cette procédure est soumise à un grand nombre de variables comprenant l'état de tous les éléments, le poli, la dureté, la lubrification des surfaces, l'étalonnage des outils, l'accessibilité des fixations, l'environnement dans lequel les opérateurs doivent travailler, ...

Plus important, il vaut mieux faire preuve de cohérence. Si vos habitudes actuelles se sont révélées solides, alors n'en changez pas ! Votre but doit être de minimiser le nombre de variables. Utilisez si possible les mêmes outils de la même façon.

6.1. Outillage nécessaire

Vous aurez besoin d'outils à la fois pour nettoyer la bride et mettre les fixations en tension. Les tendeurs nécessiteront un étalonnage régulier et peuvent comprendre une clé dynamométrique, des tendeurs hydrauliques ou autres. Les instruments destinés à mesurer la tension peuvent comprendre un micromètre ou des ultrasons.

En général, ceci peut être un travail plutôt sale ! Vous devez donc porter des vêtements appropriés (tenue de protection éventuellement), un casque de protection, des lunettes de protection, des gants et un passe de sécurité pour accès à la zone selon les besoins.

6.2. Nettoyage

Pour assurer une bonne performance de l'étanchéité, toutes les surfaces soumises à contraintes doivent être propres :

Fixations / écrous / rondelles - nettoyez-les à l'aide d'une brosse métallique (idéalement en laiton) pour éliminer la salissure se trouvant sur les filets

- ☑ **Ensemble de brides** - nettoyez les surfaces d'assise du joint à l'aide des instruments appropriés (voir ci-dessous).

Lors de l'ouverture des brides et de la dépose du joint précédent, les faces de joint seront souvent contaminées par des fragments de matériau de l'ancien joint qui doivent être enlevés avant que l'on puisse installer un nouveau joint en toute sécurité. Les instruments appropriés pour nettoyer les faces de bride peuvent inclure une brosse métallique (utiliser des poils en acier inoxydable sur des éléments en alliage). Toutefois, brossez toujours dans le sens des rainures (plutôt que perpendiculairement à ces rainures) afin de minimiser une usure prématurée. L'utilisation d'une brosse métallique entraînera inévitablement une usure en travers des faces avec le temps. Par conséquent, on a mis au point d'autres outils comme le *chassoir en laiton*. Ce concept repose sur l'utilisation d'un matériau plus doux (laiton) que la face de bride (généralement en acier) pour éviter de l'endommager. On peut réaliser un chassoir bien adapté à partir d'une feuille de laiton d'environ 5 mm d'épaisseur (0,2 in.) sur une largeur de 50 mm (2 in.) qui est limée et formée pour obtenir un ciseau de 45° en largeur. A l'aide d'un marteau, taper légèrement pour enfoncer le chassoir dans les rainures de la bride pour éliminer les débris.

6.3. Contrôle de l'aspect

Toutes les surfaces porteuses ne doivent présenter aucun défaut sérieux. Même un joint parfait sera incapable de rendre étanche une bride très endommagée ou déformée :

- ☑ **Fixations / écrous / rondelles** - examinez-les après nettoyage pour vous assurer de l'absence de défauts tels qu'ébarbures ou fissures
- ☑ **Ensemble de brides** - examinez les faces de bride pour détecter les défauts tels que des rayures radiales ou déformation (vrillage)
- assurez-vous que les faces de bride sont suffisamment plates et parallèles
- ☑ **Joint** - vérifiez que le joint correct est disponible (adapté au service, à la dimension, à l'épaisseur)
- examinez le joint avant installation pour vous assurer qu'il ne présente pas de défauts

Si l'on observe des défauts, ne prenez pas de risques !

☑ *remplacez les éléments défectueux par un produit adapté. Dans le doute, demandez conseil.*

A noter que dans le cas des joints spiralés en particulier, la planéité et le parallélisme des brides sont un facteur important pour une bonne performance d'étanchéité :

- **la planéité des faces de bride** doit varier de moins de 0,2 mm sur la largeur d'assise du joint ;
- **le parallélisme des faces de bride** doit varier de moins de 0,4 mm au total sur la bride toute entière.

6.4. Lubrification

On estime qu'en l'absence du lubrifiant approprié, on peut utiliser jusqu'à 50% de l'effort de couple pour seulement surmonter les forces de frottement. Ceci signifierait effectivement que le même couple appliqué à des fixations non lubrifiées sur un assemblage produirait des charges sensiblement différentes sur chacune de ces fixations. La lubrification est donc essentielle lorsque l'on utilise un couple pour contrôler le réglage de la tension dans l'assemblage.

Lors du choix du lubrifiant, il faut tenir compte des facteurs suivants :

- ☑ **lubrification** - meilleur est le lubrifiant, plus faible sera l'effet de friction
- ☑ **compatibilité** - le lubrifiant doit être compatible avec les matériaux de la fixation (y compris les écrous et les rondelles) et aussi, idéalement, avec le fluide procédé. Par exemple, des lubrifiants à base de cuivre peuvent contaminer le fluide procédé alors que les chlorures, les fluorures et les sulfures peuvent contribuer à la corrosion des matériaux de la fixation (y compris les écrous et les rondelles)
- ☑ **température** - assurez-vous que les températures de service recommandées pour le lubrifiant se situent dans les limites de température de service du procédé.

Les procédures recommandées sont les suivantes :

- lubrifiez les filets des fixations et toutes les surfaces porteuses (face inférieure des têtes de boulons, écrous, rondelles)*
- n'utilisez que des lubrifiants spécifiés ou approuvés*
- appliquez le lubrifiant de manière homogène en couche mince et uniforme (évités les « blocs » de lubrifiant car ceci pourrait réduire son efficacité)*
- assurez-vous que le lubrifiant ne contamine pas les faces de bride ou de joint*
- évités de contaminer le lubrifiant en le stockant dans un récipient fermé (de même, évités de contaminer le joint avec le lubrifiant !). Après usage, stockez-le dans une zone « propre »*

6.5. Installation et centrage du joint

Avant installation, assurez-vous que les composants de la bride sont assemblés correctement et que les plans de joint sont parallèles.

- insérez soigneusement le nouveau joint entre les brides pour éviter d'endommager ses faces*
- pour des joints spiralés de grand diamètre, veillez à asseoir le joint dans son logement sur la bride, enlevez les brides de fixation, puis faites glisser le joint hors de son logement sur la bride en utilisant le nombre de personnes nécessaire pour éviter d'endommager le joint*
- assurez-vous que le joint est centré sur la bride*
- n'utilisez pas de ruban adhésif pour fixer le joint sur la bride. Si nécessaire, pulvérisez légèrement à l'aide d'un adhésif en spray (p.e. 3M type 77)*
- n'utilisez pas de pâtes adhésives ni d'agents de séparation*
- alignez les composants de l'assemblage (y compris les brides et le joint) et examinez-les pour vous assurer que l'emboîtement est acceptable*
- lors du rapprochement des brides, prenez soin de vous assurer que le joint n'est pas coincé ou autrement endommagé*

6.6. Calcul du couple

En dépit du nombre de mises au point destinées à améliorer la reproductibilité de la fixation d'assemblages à bride (comme le contrôle de tension, les tendeurs hydrauliques, l'analyse du serrage par ultrasons et les méthodes couple / torsion simultanées), le couple demeure la méthode la plus populaire pour contrôler le serrage des assemblages. Lorsque l'on utilise des méthodes de serrage au couple, il faut prendre en compte trois facteurs principaux pour s'assurer que l'on obtient les efforts nécessaires :

Facteur 1

(couple appliqué pour charger la fixation)

Facteur 2

(couple appliqué pour surmonter les frottements sur le filet)

Facteur 3

couple appliqué pour surmonter les frottements sur l'écrou)

Ces facteurs incluent la pré-charge sur le lamage de la fixation. Les Facteurs 1 et 2 incluent la dimension du filet et le Facteur 3 inclue la dimension de l'écrou. Les Facteurs 2 et 3 incluent également le coefficient de frottement entre ces surfaces, ce qui est fonction du type de lubrifiant utilisé.

Il faut souligner que la friction contribue de manière significative au couple que l'on doit appliquer (voir Section 6.4) et, par conséquent, l'utilisation de lubrifiants spécifiés est cruciale pour un bon contrôle du couple. On doit connaître les valeurs du coefficient de friction assurées par le lubrifiant afin d'établir avec précision la charge des fixations. On peut représenter le couple de la manière suivante (en unités métriques ou impériales) :

$$T = W \left[\frac{P}{2\pi} + \frac{R_e \mu}{\cos \theta} + R_s \mu \right]$$

soit :

T = Couple
 W = Effort
 P = Pas du filet
 O = 1/2 filet, angle inclus
 R_e = Rayon effectif du filet
 R_s = Rayon moyen au lamage de l'écrou
 μ = Coefficient de frottement

Plan incliné (constant) si Frottement sur le filet au rayon effectif (variable) Frottement sur l'écrou au rayon moyen du lamage (variable) rous, etc. lubrifiés (voir également Section 6.4), on peut représenter la relation entre le couple et la charge de la fixation comme :

$T = L \times 0,2 \times db$

soit :

T	=	couple par fixation en N.m (in-lbf)
L	=	charge par fixation en kN (lbf)
db	=	diamètre nominal de la fixation en mm
0,2	=	facteur de perte dû au frottement

A noter également que le facteur de 0,2 peut varier considérablement. Il peut atteindre 0,3 dans le cas de systèmes non lubrifiés. N'oubliez pas que la charge sur la fixation doit demeurer à l'intérieur de sa région élastique pour une efficacité maximum (voir **Section 4.3, Fixation** pour des instructions).

Autres points à prendre en compte :

- la résistance à la compression du matériau du joint
- la pression axiale augmente la tension des fixations sous une pression interne de service
- l'utilisation d'une contrainte sur les fixations représentant moins de 50% de la limite élastique peut causer des problèmes
- la plupart des brides sont serrées au moyen de méthodes de serrage par clé ordinaire et il est intéressant de disposer de contraintes de calcul que l'on peut atteindre par ce moyen ! (ce qui est souvent impossible dans le cas de fixations de grand diamètre).

6.7. Procédure de serrage des boulons / fixations

L'une des tâches les plus difficiles auxquelles l'ingénieur chargé des spécifications est confronté est l'application de la pression de montage correcte sur le joint, pression assez basse pour éviter d'endommager le joint mais suffisamment élevée pour éviter une fuite de l'étanchéité. Le fournisseur de joint ne sera que trop heureux d'apporter son aide. Les matériaux en feuille d'amiante sont généralement assez robustes pour résister à des dommages provenant d'une surcharge mais ceci n'est pas toujours le cas pour des solutions alternatives sans amiante. Par conséquent, lors du serrage des fixations sur une bride avec un type de joint quelconque sans butée métallique (comme un joint plat), n'utilisez jamais une clé à choc ou un poteau d'échafaudage (souvent désigné comme une « cheater bar » aux E.U.) ! Un contrôle précis de l'effort appliqué à une disposition de bride particulière est d'une importance vitale, par conséquent :

utilisez toujours une clé dynamométrique ou un autre dispositif à tension contrôlée (étalonné récemment)

L'ordre dans lequel on serre les boulons ou les tiges filetées pèsera considérablement sur la répartition de la pression de l'ensemble sur le joint. Un mauvais serrage des boulons peut modifier le parallélisme de la bride. Un joint sera généralement capable de compenser une faible déformation de ce type mais on peut rencontrer de sérieuses difficultés si le parallélisme des brides est très affecté. Par conséquent :

serrez toujours les écrous à la clé dynamométrique selon un schéma de serrage en croix

Toujours enfoncer les écrous ou les boulons à la main. Ceci permet de savoir si les filets sont corrects (si l'on ne peut enfoncer les écrous à la main, alors il y a probablement un filet défectueux - vérifier à nouveau et remplacer éventuellement les pièces défectueuses).

Serrez maintenant l'assemblage à la clé dynamométrique en utilisant au moins cinq passes de serrage selon une séquence en croix pour chaque passe comme indiqué. Il est recommandé d'utiliser la procédure suivante :

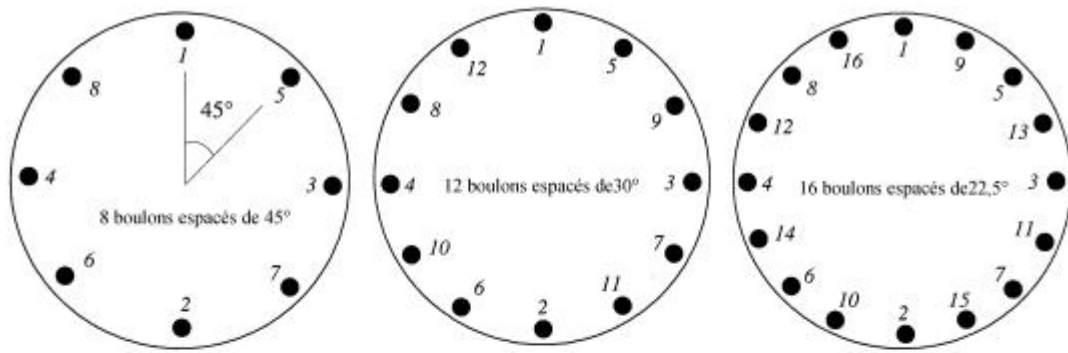
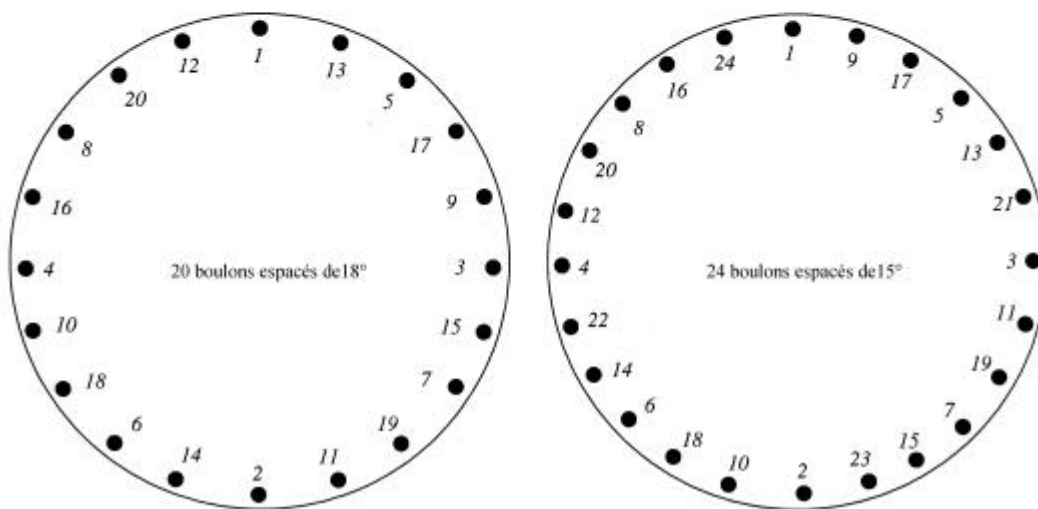


Schéma de serrage en croix



- Passe 1** - Serrez tout d'abord légèrement les écrous à la main selon le schéma de serrage en croix, puis serrez les uniformément à la main
- Passe 2** - A l'aide d'une clé dynamométrique, serrez à 30% maximum du couple total une première fois tout autour selon le schéma de serrage en croix. Vérifiez que la bride repose uniformément sur le joint.
- Passe 3** - Serrez à 60% maximum du couple total selon le schéma de serrage en croix.
- Passe 4** - Serrez au couple total selon le schéma de serrage en croix,
- Passe 5** - Passe finale au couple total dans le sens horaire sur des fixations adjacentes.

Après les cinq passes de serrage de base, il peut être avantageux de répéter la passe 5 jusqu'à ce que l'on n'observe plus aucune rotation de l'écrou. Le serrage final doit être uniforme, chacun des boulons tirant la même charge.

On utilise souvent des tendeurs hydrauliques pour précharger les fixations. Bien qu'un certain nombre d'ingénieurs estiment que ces tendeurs assurent un très bon contrôle (en raison du fait que le vérin exerce un effort précis sur la fixation pendant les opérations de montage), une partie de la charge est perdue lorsqu'on enlève le tendeur par suite de la reprise élastique des tendeurs. Lorsqu'on applique la charge du tendeur, l'écrou est enfoncé contre l'assemblage (serré à la main). La pression hydraulique est ensuite détendue et l'on enlève le tendeur. L'écrou et la fixation supportent maintenant la totalité de la charge bien qu'il puisse exister un certain enrobage de matériau à la surface du filet et sur les portées de l'écrou, ce qui réduira la charge. Bien que des tendeurs hydrauliques assurent un résultat cohérent, ils demandent un soin particulier car l'on doit appliquer une charge plus élevée sur les fixations pour compenser la relaxation lors de la dépose du

tendeur. Ceci peut engendrer une surcharge hydraulique, provoquant ainsi un fluage des fixations (bien que la marge de sécurité apparente soit de 0,2% inférieure à la limite apparente d'élasticité), particulièrement un risque avec certains alliages utilisés pour les fixations (comme les aciers inoxydables duplex et autres alliages Ni-Cu) où la limite élastique réelle peut être inférieure de plus de 30% à la valeur de la limite apparente d'élasticité de 0,2%.

Comme alternative, il existe des fixations à contrôle de tension qui sont pré-réglées à la charge requise.

Une autre manière de serrer des boulons de grande dimension consiste à insérer une canne chauffante dans un trou percé à travers le centre du boulon. Au fur et à mesure que le boulon s'échauffe, il se dilate en longueur et l'on peut descendre l'écrou au contact de l'assemblage (serré à la main). On enlève maintenant la canne chauffante et au fur et à mesure que le boulon refroidit, il se contracte, développant ainsi la tension. Cette méthode est relativement lente mais peu coûteuse (des cannes chauffantes sont plus économiques que des outils dynamométriques par exemple). Toutefois, le chauffage en lui-même ne représente pas une façon précise de contrôler une tension particulière et il doit s'accompagner d'une mesure de l'allongement résiduel des fixations (comme une mesure par ultrasons), ce qui assurera une précision beaucoup plus grande. Il existe un risque que des cannes chauffantes puissent modifier les caractéristiques superficielles de la fixation en la laissant plus sensible à la fatigue et à la fissuration due à la corrosion sous contrainte. Si vous projetez d'utiliser des cannes chauffantes, utilisez-en plusieurs à la fois en diagonale autour de l'assemblage, procédez à l'allongement final en une seule passe, mesurez l'allongement résiduel après refroidissement des boulons, chauffez à nouveau et resserrez les boulons qui ne sont pas correctement serrés.

6.8. Étiquetage

Pendant une révision majeure, il faut démonter plusieurs milliers de brides et les ré-assembler, ce qui implique généralement des équipes de monteurs qui font leur travail dans l'usine. Ensuite, si l'on découvre un assemblage mal monté, il peut se révéler difficile (pour ne pas dire impossible !) d'identifier la cause initiale de la défaillance. C'est pourquoi on a utilisé avec succès l'étiquetage sur un certain nombre d'installations industrielles pour encourager les monteurs à monter soigneusement les assemblages à bride. Il repose sur les principes suivants :

- *on attribue à chaque monteur une identification unique (lettres et / ou numéros)*
- *chaque monteur reçoit des étiquettes en plastique ou en métal (« plaque d'identité pour chien ») portant l'estampille de son numéro d'identification unique*
- *une étiquette est attachée (par un fil de fer ou textile) à chaque assemblage lorsque le monteur complète l'ensemble*
- *le métal, la couleur, ou la forme de l'étiquette utilisée peut varier à chaque révision*

Par conséquent, lorsque l'on remet l'installation en service, l'opérateur sera à même d'identifier le monteur responsable de tel ou tel assemblage. De toute évidence, un monteur qui fait preuve de négligence saura qu'il/elle peut être facilement identifié(e) à la fin du travail. Toutefois, d'une façon positive, la procédure encouragera une certaine compétition entre les monteurs pour savoir qui est le meilleur ! Elle identifiera les monteurs qui peuvent avoir besoin d'une formation plus poussée sur un (ou plusieurs) aspect du travail et elle identifiera aussi les monteurs qui sont plus particulièrement efficaces [peuvent ils aider à former les autres ?]

De même, cette procédure peut aussi mettre en lumière des joints de qualité inférieure.

Avec des étiquettes qui varient d'une révision à l'autre, l'opérateur peut facilement identifier la date de montage.

6.9. Resserrage

Pour la plupart des matériaux composant le système de bride (y compris les joints, fixations, écrous, rondelles) la relaxation se stabilise après un temps assez court. Pour les matériaux utilisés pour les joints tendres, l'un des principaux facteurs est généralement le phénomène de fluage-relaxation du joint. Ces effets s'accroissent à des températures élevées et ont pour résultat net une réduction de la contrainte de compression sur le joint ce qui augmente la possibilité d'une fuite. Par conséquent, il est conseillé de serrer à nouveau les fixations (au couple nominal) 24 heures après le montage initial, puis à nouveau après 48 et 72 heures (on prenant soin de toujours procéder au resserrage à température ambiante) ; ceci fait toutefois l'objet de controverses !

Très certainement, on doit apporter un soin particulier à un resserrage répété afin d'éviter d'endommager le joint. Ceci est particulièrement important dans le cas de joints présentant des zones d'étanchéité relativement étroites étant donné que la contrainte appliquée sur le joint peut être élevée et par conséquent plus proche de la limite que le joint peut supporter.

Des matériaux pour joints « it » à base d'élastomères continuent de vulcaniser en service, tout particulièrement à la mise en route au fur et à mesure que l'on atteint la température de service. Une fois la vulcanisation terminée, les matériaux du joint peuvent être fragilisés et susceptibles de se fissurer sous une charge excessive et ceci est particulièrement vrai avec des matériaux sans amiante à base d'élastomères. Il est impossible de prédire à quel moment débutera la fragilisation car ceci

dépend de la température d'application et de la composition du joint. Consultez toujours le fabricant pour des recommandations concernant le resserrage mais, en règle générale :

ne resserrez pas un joint sans amiante à base d'élastomères après qu'il ait été exposé à des températures élevées

7. Procédures de démontage

De nombreuses installations industrielles utilisent de vastes procédures pour l'installation et le montage des assemblages à bride mais très peu se concentrent sur les tâtonnements et les tribulations du démontage ! On trouvera dans cette section quelques points dont il faut tenir compte.

Avant de commencer à démonter les fixations, vérifiez que la ligne a été dépressurisée. Faites attention au cas où une infiltration aurait permis à la pression de s'établir de nouveau.

Une énorme quantité d'énergie élastique est emmagasinée dans une bride fixée. En effet, l'assemblage est un ressort qui a été maintenu et comprimé par les fixations. Au fur et à mesure que l'on enlève les fixations une à une, l'énergie emmagasinée dans l'assemblage peut commencer à charger les fixations restantes. Ceci peut entraîner la déformation de la bride et est susceptible d'endommager les surfaces des brides. Dans certains cas, les quelques fixations restant sur la bride ont été en fait endommagées de manière irréversible ou cassées pendant qu'elles tentaient de maintenir l'assemblage en train de se dilater !

Si vous avez connu des problèmes causés par la séparation imprévue des assemblages, alors le meilleur conseil est d'utiliser la procédure inverse de celle que vous avez utilisée pour les serrer :

- *utilisez une procédure de desserrage en croix des boulons*
- *utilisez plusieurs passes - desserrez partiellement chaque fixation avant de les desserrer plus avant*
- *relâchez progressivement les écrous (en les faisant revenir le long des fixations) mais ne les enlevez pas*
- *les écrous ne doivent être enlevés que lorsque les fixations sont suffisamment desserrées pour vérifier que l'étanchéité a été brisée*
- *manipulez les composants des brides et des fixations avec soin pour éviter de les endommager*
- *vous pouvez avoir besoin de gratter les résidus de joint qui se sont collés sur les surfaces de bride - utilisez dans ce cas un accessoire (comme une brosse en laiton ou un chassoir en laiton) plus tendre que le matériau de la bride.*

Ces étapes peuvent vous éviter des problèmes supplémentaires lorsque vous avez à remonter l'assemblage !

Rappelez-vous de tenir compte des aspects sécurité. Votre sécurité ou celle des autres est elle assurée ? Procédez toujours à une seconde vérification et demandez-vous :

- *que se passera-t-il si la bride est encore sous pression ?*
- *que se passera-t-il si la ligne contient encore du gaz ou du fluide ?*
- *que se passera-t-il si la tuyauterie monte brusquement lors de son dégagement ?*
- *que se passera-t-il si la charge saute dans ma direction ?*

Si vous avez des difficultés à dégager l'assemblage, en raison d'un grippage des écrous et des fixations, un certain nombre de démarches ont été utilisées (bien qu'elles ne soient pas toutes un succès !) :

- *utilisez un dispositif à fendre les écrous ou bien, à défaut ...*
- *utilisez une solution iodée comme solution de pénétration (tout en veillant à l'éliminer par la suite)*
- *utilisez d'autres acides doux comme solution de pénétration (tout en veillant là encore à les éliminer par la suite)*
- *réchauffer ou refroidir la fixation peut la libérer*
- *soudez un écrou à l'extrémité de la tige filetée et utilisez le comme « tête » pour obtenir une bonne prise sur la fixation*
- *si tout ceci a échoué, sciez les fixations ou éliminez-les à l'aide d'une perceuse (tout en veillant à minimiser les risques pour la bride)*

7.1. Composés utilisés pour la séparation

Après un certain temps en charge à des températures et des pressions élevées, les matériaux du joint ont tendance à s'incruster dans la bride en raison des interactions superficielles entre les matériaux du joint et de la bride. Il est souvent difficile de séparer le joint de la bride lors de l'ouverture, ou quelquefois, le joint se désintègre et des morceaux se collent aux deux faces de joint de la bride. Dans un effort pour surmonter ceci, divers composés « pour joints » ont été proposés à l'utilisation sur des faces de joint. Toutefois, ils présentent de sérieux inconvénients :

- *un composé pour joints placé entre les surfaces de la bride et du joint « lubrifiera » effectivement l'assemblage, facilitant ainsi l'extrusion d'un joint mou dans des conditions d'exploitation*
- *un composé pour joints peut ne pas être compatible avec le matériau du joint - il peut réduire sensiblement la performance et la vie du joint d'étanchéité ou provoquer une corrosion des brides ou des fixations*

C'est pourquoi on ne doit pas utiliser de composés pour joints ! Une bien meilleure option pour faciliter la dépose consiste à utiliser un matériau pour joint *tendre* auquel le fabricant de feuilles a appliqué un revêtement anti-adhérent. Ceci assure une compatibilité totale avec le matériau du joint et une onctuosité minimum de l'assemblage. Comme alternative, utilisez un joint qui n'adhère pas par lui-même comme un joint en PTFE.

n'utilisez pas de composés pour joints

utilisez des matériaux pour joints mous sur lesquels le fabricant a appliqué un revêtement anti-adhérent

8. Recommandations clé

Un résumé des recommandations clé faites dans la présente publication est donné par section. On peut trouver d'autres informations dans chaque section sous la référence [3] :

[3] Vue d'ensemble du système de bride / boulon / joint. L'intégrité de l'étanchéité est fonction de :

- la sélection des composants corrects adaptés à l'application*
- une préparation, un nettoyage, une installation et un montage soignés*
- un serrage et un chargement corrects des boulons*

[4] Ensemble bride / joint :

- il est important de bien choisir le matériau du joint en ce qui concerne la fini de surface de la bride*
- ne jamais utiliser un nombre de boulons inférieur au nombre prévu pour la bride*

[4.3] Lors du choix des fixations (boulons ou tiges filetées) :

- choisissez des fixations ayant une limite d'élasticité suffisante pour assurer qu'elles se trouvent dans leur limite élastique à la charge requise*
- choisissez des boulons / tiges filetées ayant le même module d'élasticité*
- assurez-vous qu'il n'existe pas de corrosion des brides*
- ne réutilisez pas les fixations*

[4.4] Lors du choix des écrous :

- choisissez des écrous ayant une charge d'épreuve supérieure de 20% à la résistance à la rupture des fixations*

[4.5] Rondelles :

- utilisez toujours des rondelles*
- utilisez le même matériau pour les rondelles et les écrous*

[5] Sélection des joints :

- utilisez toujours un joint de bonne qualité provenant d'un fournisseur réputé car le coût du joint est insignifiant comparé au coût d'immobilisation ou à des considérations de sécurité*

[5.3] Sélection de l'épaisseur :

- assurez-vous que le joint est aussi mince que possible*

[5.4] Découpage des joints :

- utilisez un bon cutter*
- n'essayez jamais de découper un joint en tapant le matériau contre la bride*
- assurez-vous que le joint a la bonne dimension*
- découpez les trous des boulons à un diamètre légèrement supérieur au diamètre de perçage*
- assurez-vous que le diamètre intérieur du joint n'est pas inférieur au diamètre intérieur de la ligne procédé*

[5.5] Stockage des joints et matériaux de joints :

- stockez-les dans un endroit frais et sec à l'abri de la lumière solaire directe, de l'eau, de l'huile et des produits chimiques*

- stockez les matériaux en feuilles à plat*
- évitez de suspendre les joints. Stockez les joints à plat. Des joints spiralés de grand diamètre doivent être stockés en position horizontale*
- Les joints doivent toujours être maintenus propres et à l'abri des dommages mécaniques (idéalement, stockez-les dans des sacs en polyéthylène soudés)*

[5.6] Manutention des joints et matériaux de joints :

- transportez les joints avec soin, idéalement à l'aide d'une sorte de capot de protection*
- ne provoquez pas de cintrage ou de flambage*
- n'endommagez pas la surface*
- pour les joints métalliques ou semi-métalliques de gros diamètre, transportez les toujours sur leur monture vers le site d'installation*

[5.7] Réutilisation de joints et fixations :

- ne réutilisez pas les joints ou les fixations*

[6.3] Procédures de montage, contrôle d'aspect :

- remplacez les composants défectueux en faisant un bon choix. En cas de doute, demandez conseil.*

[6.4] Lubrification :

- lubrifiez les filets des fixations et toutes les surfaces porteuses (face inférieure des têtes de boulons, écrous, rondelles)*
- n'utilisez que des lubrifiants spécifiés ou approuvés*
- appliquez le lubrifiant de manière cohérente en couche mince et uniforme (évitez les « blocs » de lubrifiant car ceci pourrait réduire son efficacité)*
- assurez-vous que le lubrifiant ne contamine pas les faces de bride ou de joint*
- évitez de contaminer le lubrifiant en le stockant dans un récipient fermé (de même, évitez de contaminer le joint avec le lubrifiant !). Après usage, stockez-le dans une zone « blanche »*

[6.5] Installation et centrage du joint

- insérez soigneusement le nouveau joint entre les brides pour éviter d'endommager ses faces*
- pour des joints spiralés de grand diamètre, veillez à asseoir le joint dans son logement sur la bride, enlevez les brides de fixation, puis faites glisser le joint hors de son logement sur la bride en utilisant le nombre de personnes nécessaire pour éviter d'endommager le joint*
- assurez-vous que le joint est centré sur la bride*
- n'utilisez pas de ruban adhésif pour fixer le joint sur la bride. Si ceci est nécessaire, pulvérisez légèrement à l'aide d'un adhésif en spray*
- n'utilisez pas de composés pour joints ni d'agents de séparation*
- alignez les composants de l'assemblage (y compris les brides et le joint) et examinez-les pour vous assurer que l'emboîtement est acceptable*
- lors du rapprochement des brides, prenez soin de vous assurer que le joint n'est pas coincé ou autrement endommagé*

[6.7] Procédure de serrage des boulons

- utilisez toujours une clé dynamométrique ou un autre dispositif à tension contrôlée (étalonné récemment)*
- serrez toujours les écrous à la clé dynamométrique selon un schéma de serrage en croix*

[6.7] Serrez en utilisant au moins cinq passes :

- Passe 1 - Serrez tout d'abord légèrement les écrous à la main selon le schéma de serrage en croix, puis serrez les uniformément à la main*
- Passe 2 - A l'aide d'une clé dynamométrique, serrez à 30% maximum du couple total une première fois tout autour selon le schéma de serrage en croix. Vérifiez que la bride repose uniformément sur le joint.*
- Passe 3 - Serrez à 60% maximum du couple total selon le schéma de serrage en croix.*
- Passe 4 - Serrez au couple total selon le schéma de serrage en croix,*
- Passe 5 - Passe finale au couple total dans le sens horaire sur des fixations adjacentes.*

[6.9] Resserrage :

- ne resserrez pas un joint sans amiante à base d'élastomères après qu'il a été exposé à des températures élevées*

[7.1] Procédures de démontage, composés de dégagement :

- n'utilisez pas de composés pour joints*

utilisez des matériaux pour joints mous sur lesquels le fabricant a appliqué un revêtement anti-rémanent

9. Recommandations pour minimiser la défaillance des assemblages

Une défaillance de l'étanchéité peut se produire lorsqu'un composant du système bride / fixation / joint ne fonctionne pas correctement. Ceci provoque normalement une fuite de l'assemblage qui peut être théoriquement indécélable à première vue et s'accumuler avec le temps ou bien consister en une défaillance subite et dramatique. Cela est observé principalement lorsque les fixations ne remplissent pas correctement leur fonction de serrage, généralement lorsqu'elles assurent un effort trop faible mais aussi occasionnellement lorsque l'effort est trop important !

Bien que la liste ci-dessous ne soit en aucun cas exhaustive (on trouvera d'autres détails dans un certain nombre de publications³), elle donne certaines défaillances rencontrées habituellement.

9.1. Défaillance due à la fixation

Des fixations insuffisamment serrées représentent la cause la plus courante de défaillance de l'assemblage, ce qui peut être provoqué par :

- *un mauvais montage*
- *une défaillance des fixations*
- *un auto-desserrage*
- *la fatigue / relaxation dans le temps*

D'autre part, lorsqu'une **fixation est trop serrée** (généralement en raison d'un excès d'enthousiasme de la part d'un monteur ou d'un mécanicien pendant le montage !), l'assemblage peut être défaillant en raison du fait que la charge excessive a :

- *écrasé le joint*
- *favorisé la fissuration due à la corrosion sous contrainte*
- *augmenté la fatigue*

Une défaillance des fixations se produit lorsque la charge appliquée dépasse la résistance à la rupture de la fixation ou des filets et pour des raisons diverses telles que :

- *des fixations qui ne sont pas conformes aux spécifications de calcul (fixations qui se rompent en cours de montage ou à une température élevée)*
- *un serrage excessif en cours de montage*
- *la corrosion*
- *la fissuration due à la corrosion sous contrainte*
- *la fatigue*

9.2. Défaillance due au joint

Ceci peut avoir un certain nombre de causes telles que :

- *la sélection d'un joint inadapté aux conditions de l'application*
- *la sélection d'une mauvaise épaisseur de joint, en particulier pour des joints mous*
- *des conditions de service hors de la plage prévue, effets de moments extérieurs*
- *un joint endommagé pendant le stockage, la manutention ou l'installation*
- *un joint écrasé par une charge excessive pendant le montage*
- *une détérioration dans le temps*
- *un joint réutilisé*
- *un resserrage suivant une exposition à une température (de service) élevée*

9.3. Défaillance due à la bride

Assez peu courante mais peut être due à :

- *des surfaces de bride endommagées*
- *des brides tordues*
- *des brides non parallèles*
- *la corrosion*
- *des brides sales pendant le montage*

9.4. Minimiser les risques de défaillance de l'assemblage

Il est évident d'après la liste ci-dessus des raisons clé de défaillance de l'assemblage que la sélection de matériaux adaptés à l'application est fondamentale. Assurez-vous que tous les composants de l'assemblage sont compatibles entre eux et avec les conditions auxquelles ils seront confrontés en service. Laissez une marge de sécurité supplémentaire pour le cas où les conditions de l'application sortiraient de la plage de service prévue (connu sous le nom d'« excursions » !)

Suivez les recommandations clé concernant le stockage et la manutention des joints (ainsi que celles concernant le découpage éventuel) données dans la présente publication.

Suivez les recommandations clé concernant le nettoyage et le contrôle d'aspect afin de vous assurer que les composants de l'assemblage ne présentent pas de défauts et sont aptes à être utilisés.

La liste ci-dessus souligne également l'exigence concernant de bonnes méthodes de montage. On ne peut espérer que l'assemblage assurera une étanchéité suffisante s'il n'est pas monté avec suffisamment de soin. Assurez-vous que les ingénieurs impliqués ont été formés aux procédures de montage et informés des défis auxquels ils seront confrontés sur le terrain. Suivez les recommandations clé concernant l'installation, le montage et le serrage des boulons.

La **corrosion** constitue l'un des défis les plus fréquents rencontrés sur le terrain ! Elle peut affecter l'intégrité de l'effort de serrage et réduira la durée de vie des composants de l'assemblage. Elle exige les quatre conditions suivantes :

- *une anode*
- *une cathode*
- *un électrolyte*
- *une connexion électrique entre anode et cathode*

Si l'on peut éliminer l'une des ces conditions, il n'y aura pas de corrosion. L'une des solutions consiste à maintenir la zone sèche en prévoyant des trous de drainage (ce qui n'est pas toujours possible) ou, plus généralement, en sélectionnant des fixations fabriquées à partir d'un matériau résistant à la corrosion. La plus populaire des solutions consiste à prévoir une sorte de revêtement de protection sur les fixations et/ou la bride.

La **fissuration due à la corrosion sous contrainte** résulte d'une combinaison entre la contrainte et l'attaque électrochimique. Une atmosphère humide ou l'empreinte d'un doigt sale peut être suffisante pour provoquer cette fissuration. C'est une forme particulière de corrosion qui exige :

- *un matériau sensible*
- *un électrolyte*
- *un défaut initial*
- *des niveaux de contrainte dépassant un certain seuil*

Toutes les fixations métalliques sont sensibles à la fissuration due à la corrosion sous contrainte dans certaines conditions mais il est possible de minimiser la plupart des problèmes grâce à un traitement thermique approprié. Comme avec la corrosion, l'application d'un revêtement adapté (aluminium, céramique ou graphite) sur les fixations peut minimiser le contact avec l'électrolyte. Toutefois, le contrôle des contraintes représente le moyen le plus courant pour réduire la fissuration due à la corrosion sous contrainte en maintenant le niveau de contrainte dans les fixations au-dessous d'une limite donnée (particulière au matériau).

La **fatigue** est fonction du temps et exige :

- *un matériau sensible*
- *des niveaux de contrainte élevés supérieurs à une limite d'endurance*
- *une contrainte de tension cyclique*
- *un défaut initial*

En général, plus les charges sont importantes, plus la fatigue s'établira rapidement. Le point qui a habituellement l'impact le plus grand sur la réduction de la fatigue de l'assemblage est la réduction des excursions de charge. Par conséquent, identifiez et réalisez la précharge correcte dans les fixations. Notez les différences dans la précharge maximum entre des fixations avec des filets laminés par rapport aux fixations avec des filets usinés. Remplacez aussi périodiquement les fixations avant qu'elles connaissent une défaillance (il est recommandé de tenir des registres de la durée de leur tenue entre les défaillances et de réduire ainsi quelque peu l'espace temps pour assurer une marge de sécurité raisonnable). L'idéal serait évidemment de remplacer les fixations lors du remontage de l'assemblage !

L'**auto-desserrage** se rencontre généralement en présence de vibrations, ce qui exige :

- *un mouvement relatif entre la fixation, l'écrou et les composants de l'assemblage*
- *des charges cycliques perpendiculaires à l'axe de la fixation*

On y remédie souvent en évitant un glissement entre la fixation, l'écrou et les composants de l'assemblage à l'aide d'écrous ou de rondelles de blocage mécaniques ou bien d'adhésifs.

10. Aspects santé et sécurité des matériaux pour joints

On a utilisé une variété de fibres pour la production de matériaux pour joints, l'amiante étant parmi les plus anciennes et les plus courantes. Au fur et à mesure que l'on acquerrait de l'expérience, un certain nombre de conditions médicales ont été attribuées à l'exposition à ces fibres parmi lesquelles :

- *une fibrose pulmonaire interstitielle diffuse (comme l'asbestose)*
- *des tumeurs malignes (comme le mésothéliome)*
- *des désordres pleuraux bénins (comme des plaques pleurales et un épaississement pleural diffus)*

Les effets contraires sur la santé d'une exposition à des niveaux élevés d'amiante en suspension dans l'air ont été bien documentés, ce qui a conduit à la mise au point d'une vaste gamme de lois restrictives. Bien qu'il apparaisse que les effets sur la santé varient considérablement parmi tous les types de fibres (même parmi les différentes formes d'amiante), les effets sur la santé d'un grand nombre de fibres soit naturelles soit artificielles ont également fait l'objet d'études de plus en plus poussées au cours de la dernière décennie. En termes de législation européenne sur l'utilisation de l'amiante, des actions entreprises par certains états membres de l'U.E. pour limiter la commercialisation et l'utilisation de ce matériau ont été suivies par l'adoption de plusieurs Directives parmi lesquelles les Directives CEE 83/478, CEE 85/610 et CEE 91/659. En outre, les Directives CEE 83/477 et CEE 91/382 ont été adoptées en vue du contrôle de l'utilisation de l'amiante sur les lieux de travail.

En dépit de ces préoccupations, des matériaux pour joints renforcés par des fibres ou renfermant des fibres sont supposés ne présenter aucun danger pour la santé et la sécurité en raison des procédés de polymérisation et de liaison utilisés en cours de fabrication. Dans des conditions de manutention et de service normales, il est peu vraisemblable que ces produits génèrent des niveaux significatifs d'exposition aux matériaux qui les composent. Les fibres sont généralement enrobées dans un liant élastomère (ou sont elles même polymérisées) et sont par conséquent incapables de pénétrer dans le corps humain sous forme de poussières en suspension dans l'air. Toutefois, en cas de traitement mécanique énergique (comme des opérations d'emboutissage à grande vitesse ou d'abrasion) ou si le produit a été fragilisé par un service à haute température, les composants peuvent donner naissance à des poussières irritantes, ce qui peut conduire à des problèmes respiratoires plus sérieux dans des cas extrêmes d'exposition. Par conséquent, quelles que soient les fibres concernées, il est recommandé de traiter les matériaux pour joints renfermant des fibres avec suffisamment de soin, pour éviter la production inconsidérée de poussières. De même, lorsqu'un tel joint doit être retiré d'une bride après usage, veillez toujours à minimiser les poussières. Dans tous les cas, on doit appliquer de bons standards d'hygiène pendant les opérations de découpage du joint, et l'on doit disposer des déchets en les transférant sur un site faisant l'objet d'une licence appropriée pour recevoir des matériaux industriels de cette nature.

Dans la plupart des cas, bien que les fibres de renfort et les charges soient par nature retardatrices de combustion, à des températures élevées ou sous une flamme continue, une décomposition se produira et donnera lieu à des vapeurs irritantes et, dans certains cas, dangereuses ou toxiques.

Matériaux renfermant de l'amiante

Les matériaux pour joints renfermant de l'amiante peuvent donner lieu à des poussières dangereuses en cas de traitement mécanique énergique ou de fragilisation du produit. Une surexposition à ces poussières peut conduire à des maladies comme l'asbestose, le cancer du poumon et le mésothéliome. L'amiante est classé par l'IARC comme un matériau appartenant au Groupe 1 « pour lequel il existe une preuve suffisante de carcinogénicité chez les humains ». On doit minimiser l'exposition professionnelle à des poussières d'amiante et la maintenir bien au-dessous des limites nationales d'exposition.

Matériaux renforcés avec des fibres sans amiante

Ces matériaux peuvent inclure l'aramide, le carbone, la cellulose, le verre et des fibres minérales artificielles tandis que les matériaux de charge peuvent inclure le sulfate de baryum, la silice cristalline et le kaolin. La plupart de ces matériaux sont retardateurs d'incendie (bien que la cellulose soit inflammable). Bien que la majorité de ces matériaux soient considérés comme non dangereux, certains d'entre eux sont considérés comme douteux ou ont fait l'objet d'une classification par l'IARC (par exemple, les fibres minérales artificielles ont été classées comme un matériau appartenant à la Classe 2B « éventuellement carcinogène pour les humains »). On doit minimiser l'exposition professionnelle à des poussières d'amiante et la maintenir bien au-dessous des limites nationales d'exposition.

Matériaux renfermant du graphite

Le graphite est hautement réactif dans une atmosphère oxydante et il est combustible. A des températures élevées ou sous une flamme continue, il peut produire des vapeurs toxiques. Ce matériau est conducteur. Par conséquent, on ne doit pas laisser des poussières ou des débris de graphite pénétrer dans le matériel électrique.

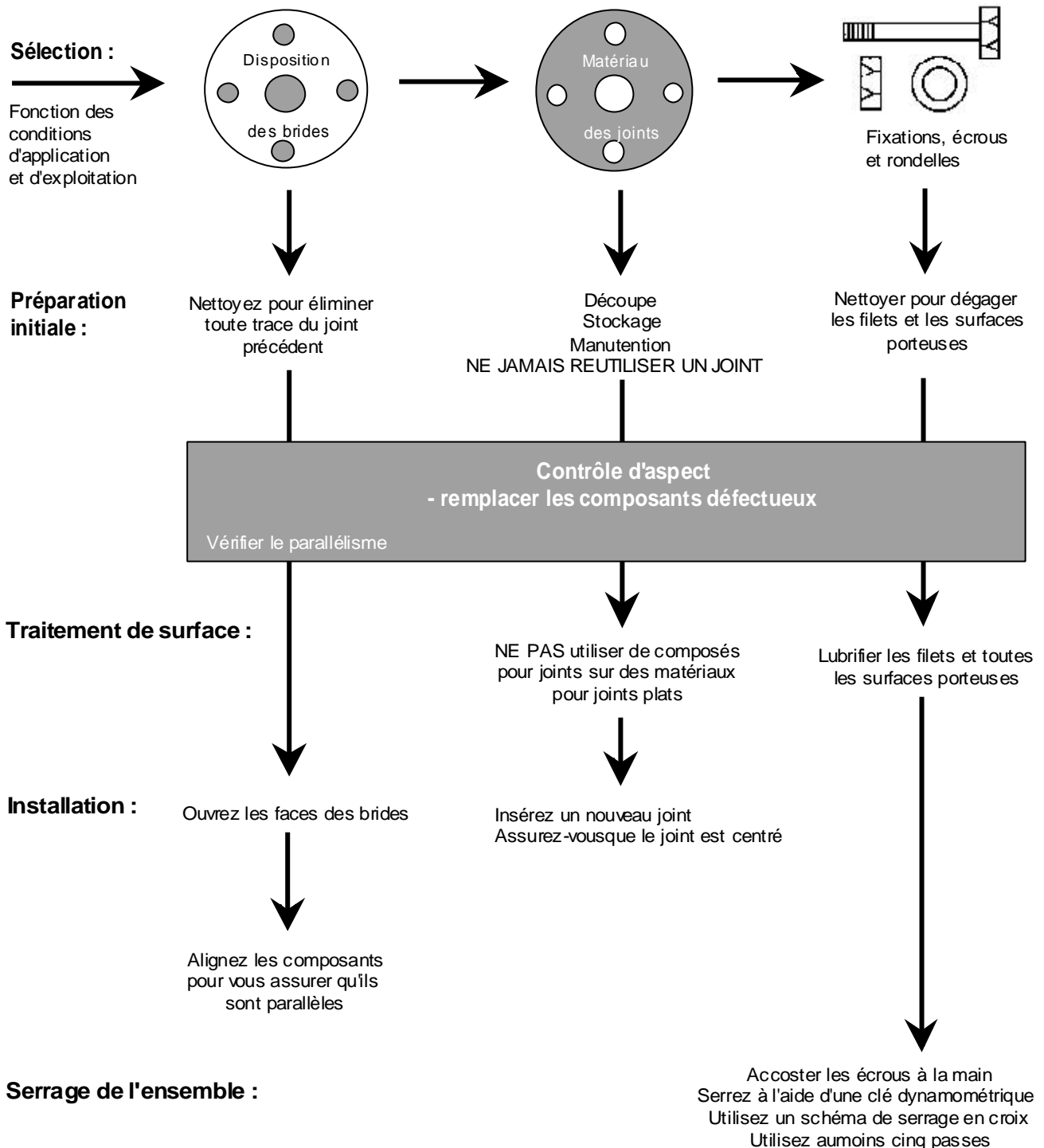
Matériaux renfermant du PTFE

Bien que ces matériaux soient généralement ininflammables, à des températures élevées ou sous une flamme continue, il se produira une décomposition, ce qui donnera naissance à des vapeurs irritantes et, dans certains cas, dangereuses ou toxiques.

Vérifiez toujours auprès du fabricant pour obtenir des conseils détaillés sur des produits particuliers !

11. Résumé schématique

Résumé des considérations et des recommandations clé pour obtenir une bonne étanchéité :



12. Vue d'ensemble

Sélection	Bride	Joint	Fixation
	Sélectionnez les brides appropriées pour l'application	Sélectionnez le joint approprié pour les brides et l'application : Utilisez toujours un joint de bonne qualité provenant d'un fournisseur réputé ; - pour des joints plats, n'utilisez pas de composés pour joints ; - pour des joints tendres, sélectionnez l'épaisseur appropriée	Sélectionnez la fixation nécessaire pour assurer une charge appropriée sur la bride / le joint : - ductilité suffisante ; - même module d'élasticité ; - écrou ayant une charge d'épreuve supérieure de 20% ; - utilisez toujours des rondelles
Préparation initiale	Nettoyez les surfaces d'assise du joint pour éliminer toute trace du joint précédent : - brosse métallique ; - chassoir en laiton	Découpez le joint: - utilisez un bon cutter ; - assurez-vous que le joint a la bonne dimension ; - ne réutilisez pas les joints	Nettoyez les fixations, les écrous, les rondelles : - utilisez une brosse métallique pour éliminer la salissure sur les filets et toutes les surfaces porteuses
Stockage et manutention		- stockez dans un endroit frais et sec ; - stockez à l'abri de la lumière solaire directe ; - stockez le joint à plat et retirez-le de son emballage juste avant utilisation ; - évitez de suspendre les joints ; - évitez le cintrage ou le flambage ; - n'endommagez pas la surface	
Contrôle d'aspect	Vérifiez les portées des brides pour détecter les défauts comme des rayures radiales ou une déformation	Vérifiez que le joint est adapté à l'application, que ses dimensions et son épaisseur sont correctes et qu'il ne présente pas de défauts ; - remplacez des composants défectueux par un produit correspondant	Vérifiez que les filets ne présentent pas de défauts comme des ébarbures ou des fissures
Lubrification		N'utilisez pas de composés pour joints avec des joints plats	Lubrifiez les filets des fixations et toutes les surfaces porteuses : - utilisez des lubrifiants approuvés ; - appliquez-les d'une manière cohérente et uniforme
Installation	Ouvrez les faces des brides : - alignez les composants pour vous assurer qu'elles sont parallèles	Insérez soigneusement le joint entre les brides : - assurez-vous que le joint est centré sur la bride	
Serrage de l'assemblage			- accostez les écrous à la main ; - utilisez un schéma de serrage en croix ; - utilisez une clé dynamométrique ; - utilisez au moins cinq passes

13 – Références