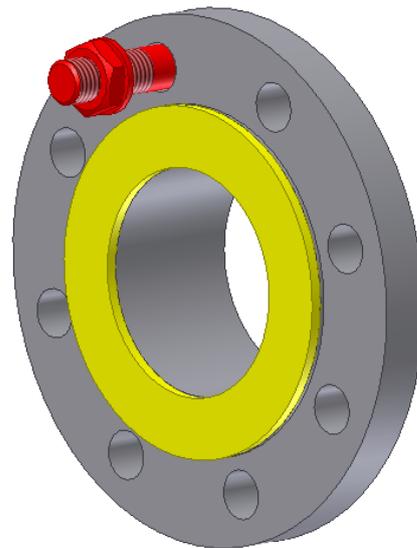
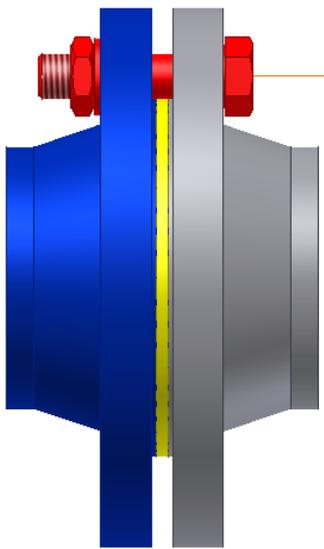


Le serrage des joints de brides dans les classes de BTS CRCI



*Il s'agit d'un dossier destiné aux enseignants de Chaudronnerie (BTS et BAC Pro).
Le dossier de synthèse comporte des activités pratiques pour les étudiants.*

PREAMBULE : Etat d'esprit dans lequel le dossier est réalisé.

Ce dossier devrait permettre au technicien supérieur Conception Réalisation Chaudronnerie Industrielle d'avoir une vue d'ensemble sur la problématique « du serrage de joints entre deux brides ».

Ce dossier devrait apporter aux professeurs de construction et de fabrication en BTS C.R.C.I. de nouvelles idées pour construire des séances de type Cours-TD-TP.

Les étudiants utilisent les codes tels que le CODAP ou le CODETI, indispensables au chaudronnier - tuyauteur, depuis les premiers travaux de conception d'un assemblage, lors de la fabrication, jusqu'à sa mise en service et sa maintenance. Pour le serrage des joints de brides, les codes déterminent « des efforts de serrage », **mais n'évoquent pas** « les couples de serrage » pour les installations de petites dimensions...

C'est pourquoi j'ai souhaité illustrer au mieux les difficultés de terrain pour assurer une étanchéité conforme au cahier des charges.

Nous avons l'habitude de traiter avec les étudiants les problématiques des appareils à pression et des lignes de tuyauterie, mais peu de documentations sont disponibles pour aborder la notion de « jointage », lien qui assure la liaison démontable entre deux éléments sous pression.

Ces recherches documentaires seront profitables aux enseignants, aux formateurs, aux étudiants et aux apprentis. Cette ébauche, non exhaustive, apporte les bases et permettra aux jeunes de mieux s'intégrer dans le milieu professionnel. Les notions abordées dans ce document devraient les sensibiliser aux difficultés rencontrées sur les sites industriels.

Ils comprendront certainement plus facilement l'intérêt des réglementations et des certifications obligatoires.

Une multitude de documents techniques est issue des ressources liées au **logiciel du CETIM, CAP 1591**, qui traite le calcul des assemblages à brides boulonnées en tenant compte notamment « du paramètre étanchéité ».

Ce logiciel a été développé dans le cadre de l'action collective du **CETIM**, et notamment de la commission Chaudronnerie.

Je remercie le **CETIM** de m'autoriser à utiliser leurs documents dans cette publication.

Vers le futur

À la croisée de la recherche et de l'industrie, le **CETIM**, institut technologique labellisé Carnot et membre fondateur de l'Alliance Industrie du Futur, est le centre d'expertise mécanique français. Outil R&D de près de 6500 entreprises mécaniciennes, il compte 700 personnes dont plus des 2/3 d'ingénieurs et techniciens, pour 113 M€ de chiffre d'affaires. Il démultiplie son action avec un réseau de partenaires scientifiques et techniques.

Si le **CETIM** assure une forte présence au plus près de ses clients nationaux, ses capacités d'interventions industrielles s'étendent à l'international, notamment dans les régions francophones.

Son action de pilote de nombreux projets innovants en fait naturellement le fédérateur des grands projets industriels ou R&D multipartenaires et ce sur 5 axes principaux : conception, simulation, essais - procédés de fabrication et matériaux - mécatronique, contrôle et mesure - développement durable - management et appui aux PME.

Partenaire de R&D, aux côtés des grands acteurs spécialisés, le **CETIM** propose une offre globale et pluridisciplinaire pour transformer et pour mettre en œuvre les connaissances scientifiques en applications au service de l'industrie.

Objet de la production pour le Portail National de Ressources :

Développer des applications pédagogiques permettant d'aborder certains blocs de compétences du référentiel BTS CRCI de mars 2018 :

-Bloc n°1 – Réponse à une affaire

- Elaborer et / ou participer à l'élaboration du cahier des charges.
- Prédéterminer les éléments de tout ou parties d'un ensemble chaudronné.
- Choisir et spécifier des technologies et des moyens de réalisation.

-Bloc n°2 – Conception et réalisation d'un ensemble chaudronné

- Rechercher une information dans une documentation technique.
- Concevoir tout ou parties d'un ensemble chaudronné.
- Proposer des améliorations technico-économiques et **environnementales** d'un processus de fabrication.

-Bloc n°3 – Organisation et suivi de la réalisation, installation et maintenance

- S'intégrer dans un environnement professionnel, assurer une veille technologique.
- Planifier une réalisation (une fabrication, une installation, une maintenance).
- Appliquer un plan qualité, de sécurité et de respect de **l'environnement**.

A Noter : Le professeur peut faire évoluer ce dossier à l'adresse suivante : thierry.sancier@ac-dijon.fr

SOMMAIRE

A Préambule

A1 Introduction	p6
A2 L'étanchéité des assemblages à brides boulonnés	p6
A3 L'assemblage à brides boulonnés	p6
A4 Le rôle du joint	p7
A5 Le taux de fuite	p7
<i>A51 Niveau de fuite</i>	p7
<i>A52. Unités</i>	p7
A6 Classe d'étanchéité	p8
<i>A61 PVRC</i>	p8
<i>A62 Classe d'étanchéité du CEN</i>	p8
A7 Etanchéité d'un joint à l'hélium	p8
A8 Les facteurs d'influence de l'étanchéité de l'assemblage	p9
<i>A81 Critères propres au fluide</i>	p9
<i>A82 Arrangement des brides</i>	p9
<i>A83 Joint</i>	p9
<i>A84 Montage</i>	p9

B Les différents éléments

B1 Les normes de conception des brides	p10
<i>B1.1 Bride PN (ou encore DIN)</i>	p10
<i>B1.2 Bride Class (ou encore ANSI, ASME B16.5)</i>	p10
<i>B1.3 Conséquences sur le comportement de l'assemblage</i>	p10
<i>Travail 1 : (EFFET PARAPLUIE)</i>	p11
B2 Les différents types de portée de joints de brides	p12
<i>B2.1 Les principales normes Européennes de brides</i>	p12
<i>B2.2 Principaux types de face de brides</i>	p12
<i>Travail 2 : Identification des brides et de la portée de joint (norme NF EN 1092-1+A1)</i>	p14
<i>B2.3 Etat de surface des portées</i>	p15
<i>Travail 3 : Mesure de Rugosité.</i>	P18
B3 Les différents types de joints	p19
<i>B3.1 Joints à base de fibres</i>	p19
<i>B3.2 Les Joints GEM (Graphite Expandé Matrice)</i>	p23
<i>B3.3 Les Joints GRAPHITE</i>	p26
<i>B3.4 Les Joints STRIES REVETUS ou KAMMPROFILES</i>	p28
<i>B3.5 LES JOINTS METALLIQUES MASSIFS</i>	p30
<i>B3.6 Joints métalliques Massifs ondulés, plats ou striés</i>	p32
<i>B3.7 LES JOINTS PTFE (Polytétrafluoréthylène)</i>	p33
<i>B3.8 LES JOINTS SPIRALES</i>	p37
<i>B3.9 Les JOINTS TORIQUES</i>	p41
<i>Travail 4 : Identification de joints.</i>	P42
B4 Les éléments de serrage (boulons, tiges filetées)	p43
<i>B4.1 Définitions</i>	p43
<i>B4.2 Son rôle</i>	p43
<i>B4.3 Relaxation</i>	p43
<i>B4.4 Serrage sous tête</i>	p44
<i>B4.5 Classe de qualité - Limite apparente d'élasticité – Résistance à la traction</i>	p44
<i>B4.6 Sélection de la boulonnerie suivant la norme NF EN 1515-1 et NF EN 1515-2</i>	p44
<i>Travail 5 : Identification de boulons</i>	p46

C Comment exercer un effort de serrage sur le joint avec la boulonnerie ?

C1 Le serrage par vissage	p47
<i>C1.1 Moyens de serrage</i>	<i>p47</i>
<i>C1.2 Incertitude du niveau de serrage appliqué</i>	<i>p48</i>
<i>Travail 6 : Expérimentation pour visualiser la relation Couple – Effort sur un boulon.</i>	<i>P50</i>
<i>C1.3 Amélioration du coefficient de frottement</i>	<i>p51</i>
<i>C1.4 Estimation des efforts par la mesure du couple</i>	<i>p51</i>
C2 Le serrage par tendeurs hydrauliques	p52
C3 Dilatation des boulons par cannes chauffantes	p52
C4 Serrage à l'angle ou méthode dite "tour d'écrou"	p52
C5 Les moyens de contrôle	p53
<i>C5.1 Mesure de l'allongement du boulon</i>	<i>p53</i>
<i>C5.1.1 Loi de Hooke et module d'élasticité</i>	<i>p53</i>
<i>C5.1.2 Utilisation d'un micromètre</i>	<i>p54</i>
<i>C5.1.3 Utilisation d'une jauge de profondeur</i>	<i>p54</i>
<i>C5.1.4 Boulonnerie « pigée »</i>	<i>p54</i>
<i>C5.1.5 Contrôle par jauges de déformations</i>	<i>p56</i>
<i>C5.1.6 Contrôle de la pré-charge par ultrasons</i>	<i>p56</i>
C6 La certification des monteurs	p57
<i>C6.1 La démarche globale</i>	<i>p57</i>
<i>C6.2 Exemples de diapositives « chocs » proposées en formation</i>	<i>p58</i>

D Calculs

D1 Généralités	p61
<i>D1.1 Actions mécaniques sur le joint</i>	<i>p61</i>
<i>D1.2 Caractéristiques du joint</i>	<i>p62</i>
<i>D1.2.1 Epaisseur</i>	<i>p62</i>
<i>D1.2.2 Largeur</i>	<i>p62</i>
<i>D1.2.3 Compressibilité</i>	<i>p62</i>
<i>D1.2.4 Fluage</i>	<i>p62</i>
<i>D1.2.5 Relaxation</i>	<i>p63</i>
<i>D1.2.6 Fluage – Relaxation</i>	<i>p63</i>
<i>D1.3 Situation d'Assise</i>	<i>p63</i>
<i>D1.4 L'effet de fond</i>	<i>p64</i>
<i>D1.5 Serrage en service</i>	<i>p64</i>
<i>D1.6 Contrainte de serrage, pression de contact au niveau du joint</i>	<i>p64</i>
<i>D1.7 Contrainte effective de serrage</i>	<i>p64</i>
<i>D1.8 Contrainte dans la boulonnerie Contrainte</i>	<i>p64</i>

D2 Calculs de l'effort de serrage du joint suivant le CODAP

<i>Travail 7</i>	<i>p65</i>
<i>Travail 7.1 Démontrer les formules du Codap C616a et C616b</i>	<i>p69</i>
<i>Travail 7.2 Application à la main (épreuve BTS CRCI 2009)</i>	<i>p69</i>
<i>Travail 7.3 Application avec le logiciel AUXECAP (épreuve BTS CRCI 2009)</i>	<i>p70</i>

D3 Calculs de l'assemblage suivant la norme 1591	p72
<i>D3.1 Introduction</i>	<i>p72</i>
<i>D3.2 DOMAINE DE VALIDITE</i>	<i>p72</i>
<i>D3.2.1 Géométrie</i>	<i>p72</i>
<i>D3.2.2 Prise en compte des sollicitations</i>	<i>p73</i>
<i>D3.2.3 Modèle mécanique</i>	<i>p73</i>
<i>D3.3 Comparaison EN1591/Méthode Taylor Forge (ASME, CODAP, CODETI)</i>	<i>p75</i>
<i>D3.4 Les étapes du calcul</i>	<i>p76</i>
<i>D3.5 Facteurs caractéristiques des joints</i>	<i>p77</i>
<i>D3.5.1 Facteur Q_{smax}</i>	<i>p77</i>
<i>D3.5.2 Facteurs Q_{min(L)}, Q_{smin(L)}</i>	<i>p77</i>
<i>D3.6 La détermination du serrage optimal</i>	<i>p78</i>
<i>D3.6.1 La plage de serrage</i>	<i>p78</i>
<i>D3.7 Logiciel CETIM</i>	<i>p79</i>
<i>Travail 8</i>	<i>p81</i>
<i>Application avec le logiciel CAP 1591.</i>	

E Montage – Démontage, Serrage.

E1 Le contexte	p86
E2 Procédures de démontage	p87
E3 Procédures de montage	p88
<i>E3.1 Mise en place du joint</i>	<i>p88</i>
<i>E3.2 Accostage des brides</i>	<i>p88</i>
<i>E3.3 Procédure de serrage de la boulonnerie</i>	<i>p89</i>
<i>E3.3.1 Nettoyage et lubrification de la boulonnerie</i>	<i>p89</i>
<i>E3.3.2 Serrage par tendeurs hydrauliques</i>	<i>p89</i>
<i>E3.3.3 Serrage boulon par boulon</i>	<i>p89</i>
<i>E3.3.4 Mise en place de la boulonnerie, et accostage des écrous</i>	<i>p89</i>
<i>E3.3.5 Serrage du joint</i>	<i>p90</i>
<i>E3.3.5.1 Première passe de serrage</i>	<i>p90</i>
<i>E3.3.5.2 Deuxième passe de serrage</i>	<i>p92</i>
<i>E3.3.5.3 Deuxième passe de serrage</i>	<i>p92</i>

A1 Introduction *(Extrait CETIM ressources CAP1591)*

Les fuites ne sont pas acceptables car elles sont dangereuses pour l'homme à cause de la pression du fluide, de sa température ou de sa nature (produits chimiques, radioactifs, gaz asphyxiant, ...). Les fuites dégradent le matériel (nécessitant souvent une remise en état), elles le rendent parfois indisponible en perturbant ainsi la conduite de l'installation. Les fuites entraînent de nombreuses pollutions de l'environnement et peuvent provoquer incendies et explosions.

Les fuites coûtent à la société (eaux usées, santé des travailleurs, maladies du travail et accidents, ...), qui doit donc prendre des mesures pour se défendre. On constate ainsi qu'une pression de plus en plus contraignante de la législation s'exerce pour restreindre l'emploi de l'amiante, et limiter les émissions fugitives de produits dangereux.

Bien sûr, les fuites coûtent très cher - non seulement en argent, mais aussi en temps, en perte de son image de marque et de compétitivité - à l'entreprise qui a traité, filtré, déminéralisé, pompé, parfois réchauffé le fluide perdu, qui aura à rénover les matériels détériorés.

A2 L'étanchéité des assemblages à brides boulonnés (étanchéité statique)

La plupart du temps, on a recours à un joint pour assurer l'étanchéité des assemblages boulonnés : jonctions corps/chapeau des robinets, brides de raccordement des divers appareils à leur tuyauterie, ouvertures de visite de capacité (générateur de vapeur, échangeurs, ...).

Il y a quelques années les joints à base d'amiante donnaient pleinement satisfaction pour de nombreuses applications, d'un point de vue fuite et durée de vie du joint. Ils n'étaient pratiquement pas limités en dimensions (diamètre, largeur, épaisseur), en fluide (eau, gaz, vapeur), en température (jusqu'à 400°C), en niveau de serrage admissible, tout en étant facile à découper. Et de plus il n'était pas très cher !

Ce type de joint était donc considéré comme la solution universelle pour étancher les installations.

Pour des pressions supérieures à une quarantaine de bars, le joint était bien souvent un joint spiralé garni d'un ruban d'amiante, relativement peu cher, mais conduisant quelquefois à une bien médiocre étanchéité en service de l'assemblage, souvent génératrice de corrosions.

L'interdiction de l'amiante (mais aussi le développement du Nucléaire en France) ont montré que l'obtention de l'étanchéité d'un assemblage à bride boulonnés est souvent complexe et qu'elle n'est possible qu'en réunissant de façon harmonieuse :

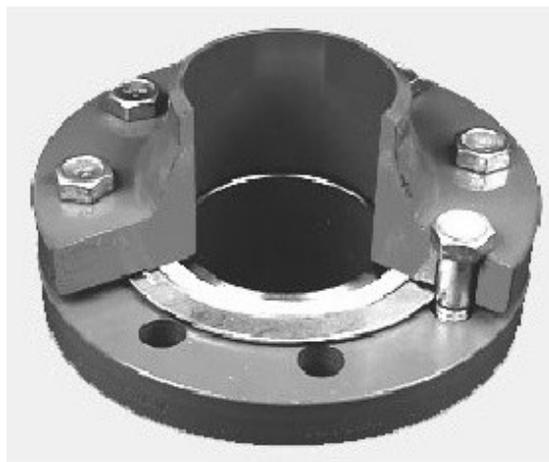
- un bon cahier des charges spécifiant les conditions de services
- une conception correcte de l'assemblage: dimensionnement et dessin des brides ou des divers éléments, rugosité des portées de joint, souplesse de l'assemblage,
- un joint choisi avec soin, tenant compte de l'assemblage prévu et des conditions de service : du fluide et de sa température en particulier,
- un serrage ajusté au mieux, tenant compte du joint utilisé, des conditions de service de l'assemblage, de la qualité de la boulonnerie.
- des conditions d'installation sur site appropriées

A3 L'assemblage à brides boulonnés

Un assemblage boulonné est constitué de plusieurs composants :

- les brides (et les éventuels éléments de tuyauterie associés),
- la boulonnerie (vis, écrou, rondelle),
- le joint.

Son comportement mécanique, son niveau d'étanchéité dépendent de chacun de ces composants.



A4 Le rôle du 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.

A5 Le taux de fuite.

A51 Niveau de fuite

L'étanchéité d'un joint est caractérisée par sa possibilité à contrôler un niveau de fuite pour :

- Un fluide
- Une pression interne de fluide
- Un effort de serrage appliqué
- Une température de fluide

Il faut noter que plus le niveau de fuite est faible, plus la mesure de la fuite est difficile.

L'utilisation de l'hélium comme fluide de référence en laboratoire associé à un spectromètre de masse pour la mesure de fuite, est alors indispensable.

Le niveau d'étanchéité est associé à un taux de fuite.

L'étanchéité « zéro » n'existe pas.

A52. Unités

Lors des calculs, on veillera à l'homogénéité des unités des différents termes.

De nombreuses unités sont disponibles, plus compliquées et inusitées les unes que les autres. Ces différentes unités se réfèrent en fait à la technologie du vide.

Cependant, pour définir la fuite d'un joint, il est désormais admis d'utiliser les unités suivantes :

A521- atm.cm³/s

Il s'agit de l'expression d'une fuite volumique, associée à l'utilisation de l'hélium comme fluide d'essai, et au spectromètre de masse utilisé pour la mesure de la fuite.

Afin d'apprécier l'échelle des taux de fuite, nous pouvons indiquer :

- qu'une fuite de 10^{-10} atm.cm³/s correspond à 1 cm³ en 310 ans environ,
- qu'une fuite de 10^{-9} atm.cm³/s correspond à un dé à coudre en 5 ans,
- qu'une fuite de 10^{-7} atm.cm³/s correspond à un dé à coudre en 2 semaines,
- qu'une fuite de 10^{-4} atm.cm³/s correspond à 1 cm³ en 3 heures (échappement dans l'eau d'une bulle d'air de diamètre 2 mm toutes les 40 secondes),
- qu'une fuite de 10^{-2} atm.cm³/s correspond à 1 cm³ en 100 secondes ou un seau en 2 heures (10 bulles par seconde),
- qu'une fuite de 1 atm.cm³/s correspond à 1 camion citerne en 2 semaines.

A522- mg.s⁻¹

Il s'agit de l'expression d'une fuite massique.

La correspondance entre la fuite volumique et la fuite massique s'établit à l'aide du volume molaire dans les conditions normales de pression et température, soit 22,4 litres pour 1 mole.

Exemples : Hélium (4g pour 1 mole) : 1 cm³/s correspond à une fuite de 0,178 mg/s.
Azote (28g pour 1 mole) : 1 cm³/s correspond à une fuite de 1,246 mg/s.

A523 Débit de fuite par mètre de circonférence

Il est aussi convenu, pour permettre à l'utilisateur « d'extrapoler » des valeurs de fuite à des joints de taille différente, d'exprimer la fuite en débit massique par mètre de circonférence. La PR EN 13555 définit en fait la fuite par « mètre de circonférence moyenne » d'un joint.

Si l'on considère une des dimensions normalisée de joints qui correspond à un joint pour une bride DN40 PN40 soit, pour un joint en feuille à une dimension de
DN40 PN40 joint feuille : 49 x 92 mm
Une fuite massique de 1 mg /s, correspondra à :
Une fuite de $1 / [(0,049+0,092)/2 \times \pi = 4,51503766 \text{ mg/s/m}$
Pour compliquer un peu les choses, en Amérique du Nord on ne considère pas une fuite par rapport au mètre de circonférence mais ... au mm de diamètre !

A6 Classe d'étanchéité

Il est admis que l'hélium est le fluide de référence en laboratoire. Les classes d'étanchéité de joints sont donc définies par rapport à ce fluide. Les approches Européennes (CEN) et Nord Américaines (ASME) sont légèrement différentes.

A61 PVRC

Le PVRC (Pressure Vessel Council) a défini des classes d'étanchéité (reprises dans la nouvelle annexe du code ASME) pour permettre aux concepteurs de trouver des références en fonction des applications recherchées. Ces classes d'étanchéité sont définies pour les applications au gaz.

Les 3 niveaux d'étanchéité retenus sont :

- T1 « économique »
- T2 « standard »
- T3 « haute étanchéité »

Ces niveaux d'étanchéité sont déterminés pour des joints de 150 mm de diamètre extérieur. Il est admis qu'ils peuvent être extrapolés à d'autres dimensions linéairement en fonction du diamètre.

A62 Classe d'étanchéité du CEN

Le CEN, dans la norme EN 13555 définit les classes d'étanchéité de la manière suivante :

- L₁ correspond à une fuite de $1 \text{ mg.s}^{-1}.\text{m}^{-1}$ de périmètre moyen du joint,
- L_{0,1} correspond à une fuite de $0,1 \text{ mg.s}^{-1}.\text{m}^{-1}$ de périmètre moyen du joint,
- L_{0,01} correspond à une fuite de $0,01 \text{ mg.s}^{-1}.\text{m}^{-1}$ de périmètre moyen du joint.

D'autres classes (L0.001 à L0.00001) sont définies de la même manière pour les étanchéités plus rigoureuses.

La référence dimensionnelle pour les essais de laboratoire est :

- DN40 PN40 pour les joints utilisés avec brides « PN »
- 4'' 300 lbs pour les joints utilisés en brides « class »

A7 Etanchéité d'un joint à l'hélium

L'hélium : la référence en essais de laboratoire

Les essais normalisés de caractérisation de joint préconisent l'utilisation de l'hélium (He) comme fluide de référence. L'hélium est utilisé pour diverses raisons :

- C'est un gaz inerte, qui ne présente pas de risque particulier en laboratoire (autre que le fait d'être un gaz sous pression)
- On peut mesurer, par spectrométrie de masse une très large gamme de fuite, couvrant toute la gamme des produits d'étanchéité utilisés dans l'industrie
- Il existe des fuites étalons permettant de calibrer les appareils de mesure, contrairement aux autres méthodes (cf EN 1779) telles la méthode par chute de pression ou la méthode par élévation de pression.
- Compte tenu de la très faible taille des molécules, ce gaz est très rapidement décelable lorsqu'une fuite apparaît.
- Il a remplacé l'azote qui est toutefois encore utilisé en Allemagne, notamment dans certaines procédures d'essais telles la DIN 28090 ou la DIN 3535.

A8 Les facteurs d'influence de l'étanchéité de l'assemblage

- L'application, le Process
- Les tuyauteries, les brides, la boulonnerie
- Les joints
- Le montage

A81 Critères propres au fluide

- Pression du fluide
- Température fluide (transitoires, haute température, cryogénie, ...)
- Nature corrosive
- Cycle de process
- Dimension des assemblages
- Nature du fluide (liquide, gaz, vapeur,..), pH du milieu (acidité), agressivité chimique

A82 Arrangement des brides

- Configuration / type
- Etat de surface
- Matériau
- Charge disponible des boulons
- Probabilité de corrosion / d'érosion
- Résistance des brides / rigidité (brides « class » ou ANSI, brides « PN » ou DIN)
- Tolérance d'alignement des tuyauteries, de parallélisme des portées
- Efforts extérieurs
- Accessibilité
- Type de portée (surélevée, emboîtement, contact métal/métal...),

A83 Joint

- Résistance à la rupture
- Effort de serrage en température
- Résistance à l'extrusion
- Comportement du matériau dans le temps
- Résistance au fluage relaxation
- Capacité de reprise élastique
- Durée de vie prévue
- Coût
- Compatibilité chimique avec le fluide
- Résistance à la corrosion
- Adhérence aux portées
- Facilité de manutention / d'installation / de dépose
- Tenue au feu
- Dimensions (épaisseur requise)
- Etanchéité :
 - Gaz
 - Liquide
 - Vapeur

A84 Montage

Sans un bon montage, l'ensemble ne fonctionnera pas !

Il ne servira à rien de rechercher le meilleur joint si le montage du joint n'est pas adapté !

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 et si l'assemblage a été bien conçu!

B1 Les normes de conception des brides *(Extrait CETIM ressources CAP1591)*

B1.1 Bride PN (ou encore DIN)

Les brides connues sous la dénomination « DIN » sont des brides très flexibles avec une rotation (mise en parapluie) importante sous serrage. Afin de limiter leur déformation et l'impact sur le joint, on leur applique des efforts de serrage relativement faibles équivalents à 35 MPa sur la surface du joint.

Dans la nouvelle approche CEN, ces brides sont référencées "PN".

Ces brides sont notamment utilisées dans le domaine de la chimie.

B1.2 Bride Class (ou encore ANSI, ASME B16.5)

Du fait de leur rigidité supérieure aux brides DIN, les brides ANSI définies par l'ASME B16-5 ou ASME B 16-20 supportent des efforts de serrage plus importants (jusqu'à 200 MPa sur la surface du joint). Leur mise en parapluie est donc plus faible que celle des brides DIN.

Dans la nouvelle approche CEN, ces brides sont référencées "CLASS".

Ces brides sont très utilisées dans le domaine pétrolier.

B1.3 Conséquences sur le comportement de l'assemblage

Selon le type de bride utilisé, le comportement de l'assemblage et notamment la répartition du serrage sur la largeur du joint, seront très différents pour un même type de joint.

Les figures ci-après illustrent l'influence de la flexibilité des brides pour un joint à base de fibres sans amiante comprimé sur brides. Nous avons choisi de comparer

Une bride « PN » : DN200 PN40

Une bride « CLASS » : 8 CLASS 300lbs (DN200 ISO PN50)

Le serrage théorique initial est identique (50 MPa) dans les deux configurations.

Le calcul est réalisé en appliquant la méthode des éléments finis.

Le joint est comprimé de façon relativement uniforme avec la bride CLASS. Par contre, la mise en parapluie de la bride PN engendre des contraintes telles sur la partie extérieure du joint que celui-ci est découpé par la bride. On remarquera la zone noircie sur l'extérieur du joint révélatrice des contraintes trop élevées.



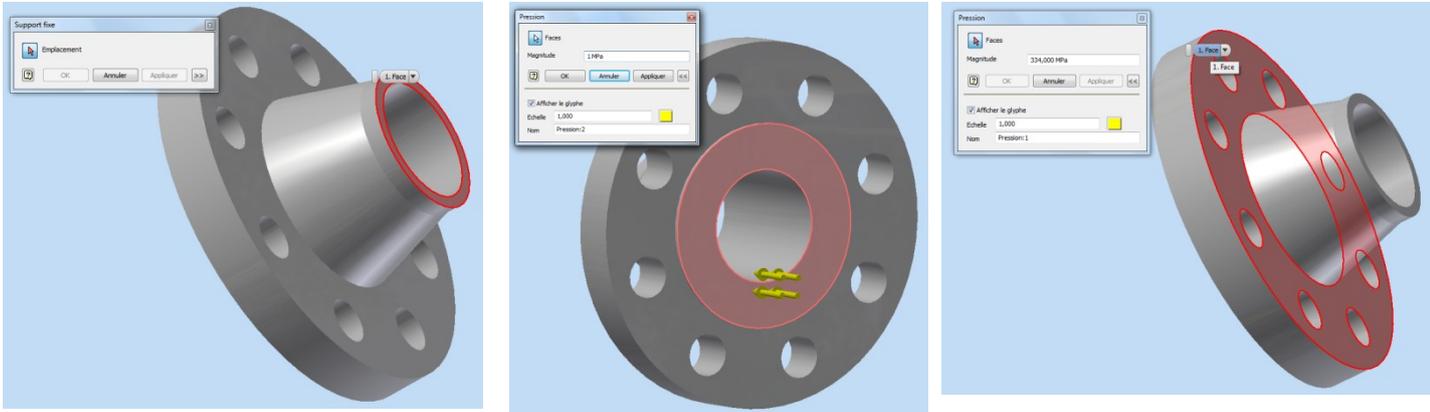
Figure 8 : Un joint fibre peut être découpé par portée la de bride

Travail 1 : (EFFET PARAPLUIE)

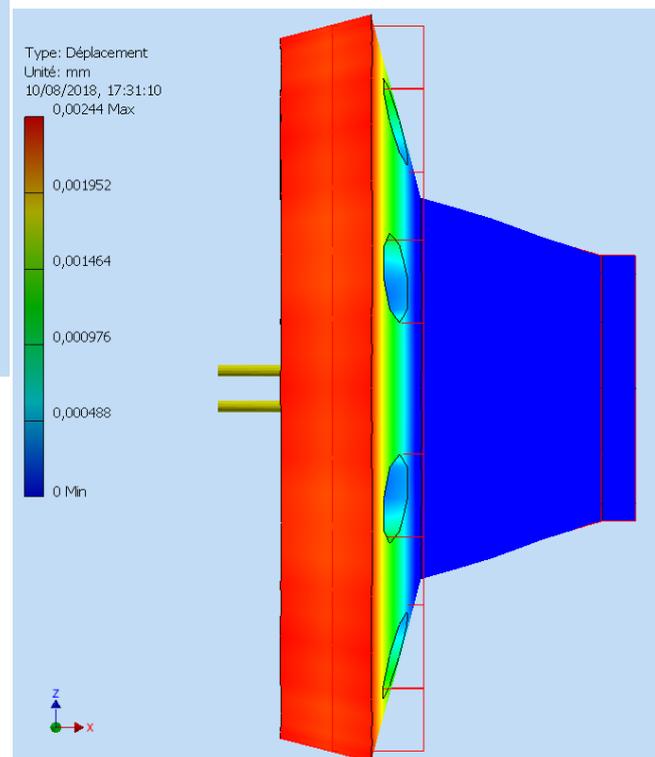
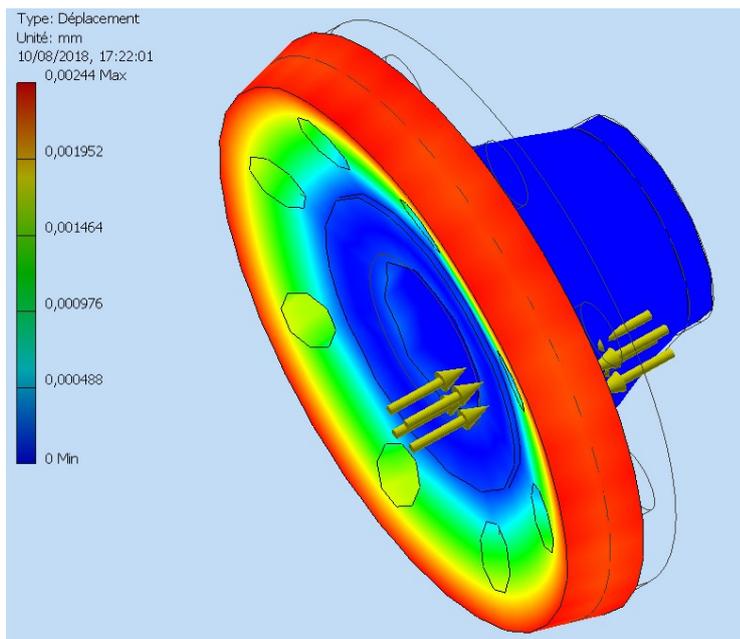
Avec le module de calcul éléments finis de votre logiciel de CAO, montrer aux étudiants la déformation des différentes brides de votre bibliothèque pour une pression de contact donnée.

- Importer une bride DIN puis une bride Class de taille identique de la bibliothèque.
- Définir les conditions limites et lancer la simulation.
- Visualiser les déplacements des faces.

Blocage au niveau de la soudure Pression au niveau du joint Pression exercée par les boulons



Visualisation de l'effet parapluie et quantification de déplacement maxi suivant le type de bride.



B2 Les différents types de portée de joints de brides

B2.1 Les principales normes Européennes de brides

B2.1.1 Normes dimensionnelles de brides et de leurs faces

NF EN 1092 -1, 2, 3 et 4 Brides PN

NF EN 1759 – 1, 3 et 4 Brides Class

B2.1.2 Définitions

DN : EN ISO 6708

PN : EN 1333

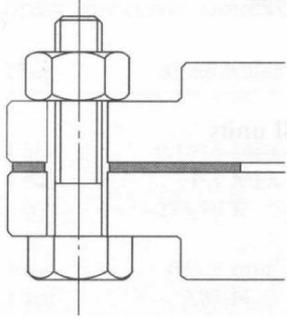
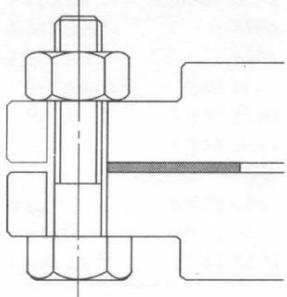
NPS : EN 1759-1

CLASS : EN 1759-1

Tuyauterie – Termes et définitions : NF E29-011

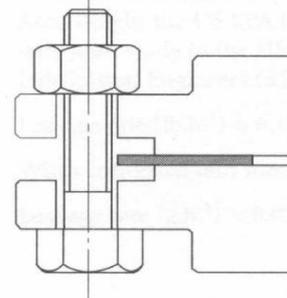
B2.2 Principaux types de face de brides

B2.2.1 Bride à face plate

	<p style="text-align: center;">Bride à face plate "full face"</p> <p>La portée des brides est plate. Le joint est disposé sur toute la surface des portées. Il faut percer le joint pour assurer le passage de la boulonnerie. Ce type de bride est utilisé en général pour des joints à base de matériau relativement fragile.</p> <p>On observe donc une surface de contact plus grande que lors du montage initial qui entraîne une pression de contact plus faible pouvant nuire à l'étanchéité</p>
	<p style="text-align: center;">Bride à face plate</p> <p>La portée des brides est plate. Le joint est disposé sur la surface des portées à l'intérieur du cercle de boulonnerie.</p> <p>C'est un type d'assemblage largement utilisé.</p>

B2.2.2 Bride à face sur élevée

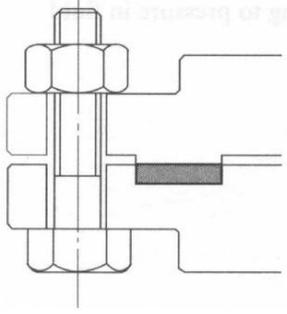
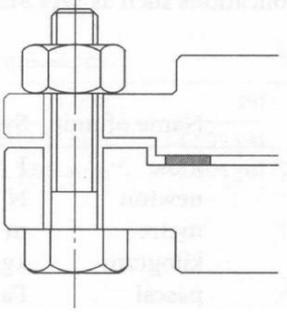
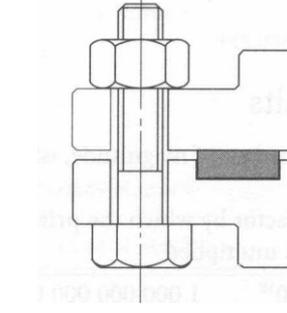
Il existe également la **bride tournante** semblable à la bride à face surélevée. On utilise ce raccord lorsque le procédé exige un réseau de tuyauterie présentant une plus grande inertie (éventuellement en alliages, plastique ou verre) mais là où la bride elle-même peut être construite en un matériau moins exotique :

	<p style="text-align: center;">Bride à face sur élevée</p> <p>La portée des brides est à face sur élevée. Le joint est en général centré sur la boulonnerie. Cet assemblage permet une installation du joint sans démontage complet lors des opérations de maintenance.</p> <p>Probablement le type d'assemblages le plus utilisé en lignes de tuyauterie.</p>
---	---

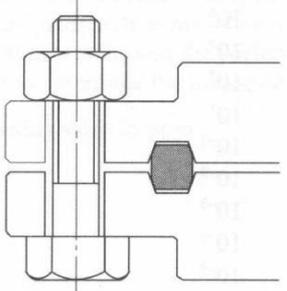
B2.2.3 Brides à emboîtement

Ces brides ont été conçues pour des conditions sévères d'utilisation. Le montage assure en effet un centrage automatique du joint, garantit sa non-explosion, et un effet "labyrinthe" en cas de fuite.

Les joints dits « composites (spiralés, métalloplastiques,...) sont traditionnellement utilisés dans ce type de montage.

	<p><i>Brides à emboîtement double "mâle-femelle"</i></p> <p>Dans cette configuration le joint est installé dans la gorge de la bride femelle. La profondeur de la gorge est supérieure à la hauteur de la portée de la bride mâle.</p> <p>L'effort appliqué sur le joint est très élevé. On recommande traditionnellement l'utilisation de joints à armature métallique.</p> <p>Les tolérances de fabrication du joint et des gorges sont un paramètre influant sur l'effort de serrage appliqué au joint.</p> <p>Cet assemblage n'est pas conçu pour travailler pas en contact métal-métal des portées.</p>
	<p><i>Brides à emboîtement simple "mâle-femelle"</i></p> <p>Elles peuvent se présenter sous des formes diverses.</p> <p>La profondeur de la gorge de la bride femelle est égale ou inférieure à la hauteur de la bride mâle pour éviter le contact métal-métal entre brides au moment du serrage.</p> <p>Ces brides ont été conçues pour des conditions sévères d'utilisation. Le montage assure en effet un centrage automatique du joint, garantit sa non-explosion, et un effet "labyrinthe" en cas de fuite.</p>
	<p><i>Bride à face plate et bride avec gorge</i></p> <p>Le joint est installé dans la gorge. L'épaisseur du joint est supérieure à la profondeur de la gorge.</p> <p>Le joint doit être serré pour obtenir le contact métal-métal entre les portées de brides.</p> <p>Les tolérances dimensionnelles de la gorge et du joint sont des paramètres influants sur le niveau de serrage à appliquer pour l'obtention du contact métal-métal.</p>

B2.2.4 Brides "Ring Joint" ou Brides API

	<p><i>Brides "Ring Joint" ou Brides API</i></p> <p>Ces brides spécifiques (type J) sont conformes à l'EN 1759-1:2000.</p> <p>Elles s'utilisent avec des joints annulaires métalliques (aussi appelé RTJ) de section "ovale" ou "octogonale". Le profil « octogonal » est reconnu comme étant le plus performant.</p> <p>Elles sont traditionnellement utilisées dans l'industrie pétrolière, pour des pressions et températures élevées.</p>
---	--

Travail 2 : Identification des brides et des portées de joint suivant la norme NF EN 1092-1+A1.

Avec les brides ci-dessous que vous disposez, visualiser le type de bride, sa face de joint et décryptez les gravures sur celles-ci.

Vous cherchez sur internet quelques fournisseurs de ces produits et téléchargez sur SAGAWEB la norme NF EN 1092-1+A1 (Brides et assemblages)



B2.3 Etat de surface des portées

Pour réaliser l'étanchéité de surface, le joint doit s'adapter à la surface de la portée, à sa rugosité.

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 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.

Les états de surface sont souvent associés au type de joint retenu et aux spécifications fournisseurs. Il peut alors apparaître une incompatibilité entre les états de surface des brides normalisées et les spécifications du joint.

Pour définir l'état de surface, il est intéressant de disposer des deux critères R_a et du R_t . On admet généralement qu'un R_a compris entre

- 6,3 μm et 12,5 μm pour les brides à faces plates ou surélevées (ISO PN 2,5 à ISO PN 50)
 - 3,2 μm et 6,3 μm pour les brides à faces plates ou surélevées (ISO PN 100 à ISO PN 420)
 - 0,8 μm et 3,2 μm pour les brides à emboîtement simple ou double,
 - 0,8 μm et 1,6 μm pour les brides pour joint annulaire,
- permet une bonne étanchéité.

On pourra se reporter à la norme NF EN ISO 4287 pour les termes, définitions et paramètres d'état de surface.

Le contrôle du critère R_a doit être effectué suivant la norme NF-E05-051 relative aux échantillons visotactile.

Cependant, ces deux critères ne suffisent pas car il existe plusieurs modes d'obtention du même état de surface : tournage, fraisage, rectification... A R_a et R_t identique, le mode d'usinage influe sur le niveau d'étanchéité.

Tableau 1 : Valeurs numériques des paramètres R_a et R_z de l'état de surface des portées de joints (NF EN1092-2)

Valeurs en micromètres		
Procédés de fabrication	R_a	R_z
Tournage ¹⁾	3,2 à 12,5	12,5 à 50
Autre procédé d'usinage ²⁾	3,2 à 6,3	12,5 à 25
Brut de fonderie ³⁾	3,2 à 25	—

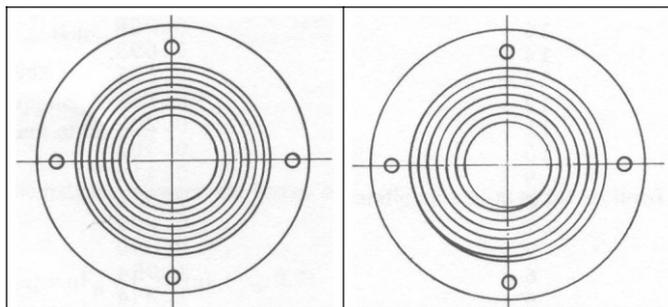
1) Par «Tournage» on comprend toute méthode d'usinage donnant des stries concentriques ou en spirale.

2) Des procédés d'usinage autres que le tournage sont permis pourvu qu'ils donnent un état de surface en conformité avec les valeurs de R_a et R_z prescrites.

3) «Brut de fonderie» couvre les surfaces produites par moulage ayant ou non subi des opérations ultérieures de grenailage ou sablage. Leur rugosité est établie par comparaison avec les échantillons de référence selon ISO 2632-3:1979. Ces surfaces «brut de fonderie» peuvent avoir des stries concentriques pour améliorer l'efficacité du joint. Elles sont normalement utilisées pour des applications dans lesquelles le joint de l'assemblage est en matériau significativement déformable tel que l'élastomère, applications pour lesquelles les caractéristiques de surfaces de ce procédé peuvent aussi s'appliquer aux autres procédés de fabrication.

Ces usinages doivent éliminer les chemins de fuite vers l'extérieur.

Les meilleurs niveaux de fuite sont obtenus par usinage donnant des stries concentriques ou « phonographiques » (notamment le tournage).



*Usinage des portées de brides
concentrique phonographique*

	<p>Tournage</p> <p>Rayon outil 0,8 Avance par tour 0,8</p> <p>Ra 100</p>
	<p>Tournage</p> <p>Rayon outil 1,2 Avance par tour 0,62</p> <p>Ra 40</p>
	<p>Tournage</p> <p>Rayon outil ,8 Avance par tour 0,3</p> <p>Ra 3.2 à 6.3</p>
	<p>Fraisage en bout</p> <p>Déplacement rectiligne avec reprise</p> <p>Diamètre fraise : 60 (2 passes)</p> <p>Ra = 6,3</p>

	<p>Fraisage en bout</p> <p>Sur plateau circulaire</p> <p>Diamètre fraise : 50</p> <p>Ra = 6,3</p>
	<p>Rectification</p> <p>Rectif. Plane</p> <p>Ra < 0,4</p>

Quelques exemples d'usinages d'états de surface

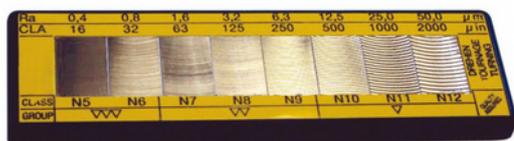
Un usinage dont les stries sont concentriques, une portée non rayée radialement, l'absence de trace de choc sont des conditions nécessaires pour une bonne étanchéité.

La valeur de la rugosité est préconisée par le fournisseur de joints.

Travail 3 : Mesure de Rugosité.

Avec votre Guide du Dessinateur ou du Fanchon, reporter-vous au chapitre « état de surface ».

Utiliser un rugosimètre ou un jeu d'étalons de référence pour apprécier l'état de surface des brides de l'activité 1.



Jeu d'étalons de rugosité

Soyez le premier à commenter ce produit

- Etalons de rugosité utilisés pour étalonner ou comparer un état de surface en fonction de la méthode d'usinage.
- Jeu de 8 étalons disponible pour le rabotage, le tournage, le fraisage en bout, la rectification plane ou la rectification cylindrique.



Rugosimètre digital Mitutoyo® SurfTest

Soyez le premier à commenter ce produit

- Ce rugosimètre Mitutoyo® s'utilise de manière compacte ou avec unité de mesure désolidarisée pour le contrôle d'état de surface.
- Menu intuitif avec fonctions multiples personnalisables (RA, RC, RY, RZ, RT...).
- Capacité -200 μm à +150 μm.
- Compatible avec les standards JIS, ISO, DIN, ANSI.
- Sonde en diamant.

B3 Les différents types de joints

B3.1 Joints à base de fibres

Ces joints répondent aux normes

- CEN 12560-1 pour les joints « Class »
- CEN 1514-1 pour les joints « PN »

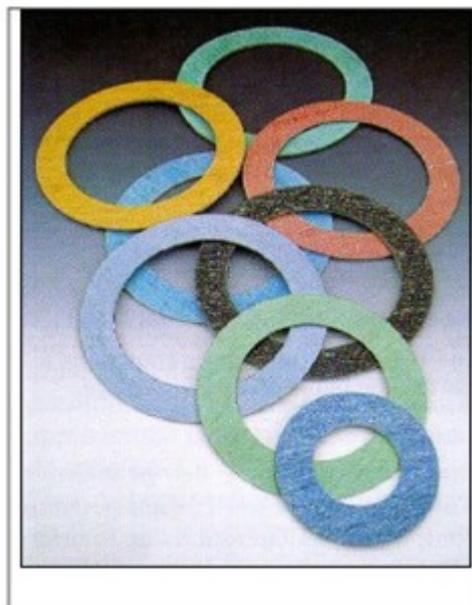
B3.11 Présentation du joint

Avec l'interdiction d'utiliser l'amiante, les fabricants de joint ont du concevoir des joints avec de nouvelles fibres.

Ces joints ressemblent à s'y méprendre aux joints à base d'amiante.

Les fibres les plus couramment utilisées sont :

- o le verre,
- o la silice,
- o le carbone,
- o le mica,
- o l'aramide.



Joints à bases de fibres sans amiante

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
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.

Principales fibres utilisées dans les joints calandrés pour assemblages à brides

Dans ce type de joint, l'élastomère sert de liant pour les fibres.

La nature de l'élastomère ainsi que sa part relative dans la constitution du joint vont avoir des répercussions sur le comportement du joint en service. La technique de fabrication, qui influence notamment l'orientation des fibres, est un élément important.

Les joints peuvent être renforcés par des inserts métalliques.

Les épaisseurs courantes des joints en amiante étaient de 1,5 mm, 2 mm et 3 mm.

Les fibres qui composent le joint jouent un rôle essentiel sur la tenue mécanique du joint. Du fait du comportement mécanique des nouvelles fibres, ces nouveaux joints ne permettent pas des épaisseurs aussi importantes que les joints à base d'amiante.

Ces nouveaux joints doivent être utilisés avec précaution pour des épaisseurs supérieures à 2 mm.

B3.12 Domaine d'application

Les produits disponibles sur le marché sont très nombreux et très différents. Certains fabricants ont plus de 10 références de joint à base de fibre dans leur catalogue.

Nous ne donnerons donc dans ce document que des indications sur les applications typiques de ce type de joint.

En règle générale, les performances d'un joint à base de fibre, en terme

- o De pression à étancher
- o De température de service

vont dépendre

- o Du matériau
- o Du dimensionnel du joint
- o Du niveau de serrage initial
- o Et des niveaux de serrage admissible en température

Applications industrielles

Ces joints ont été développés pour remplacer les joints à base de fibres d'amiante. La diversité des fibres permet de nombreuses applications dans de nombreux secteurs industriels (pétrole, chimie, agroalimentaire,...).

Ils sont le plus souvent utilisés avec des brides à face plate ou sur élevée.

Fluides

La température maximale admise pour ce type de joint est 250°C

Températures admissibles

La température maximale admise pour ce type de joint est 250°C.

Pression

Ces joints sont généralement limités à des applications sous des pressions basses à moyennes.

Selon la normalisation CEN, le joint est limité au PN63 pour les brides PN et Class 900 lbs pour les applications Class.

Nombre de fabricants considèrent la limitation « standard » des ces joints à 40 bar pour des brides PN.

L'API impose de monter des joints « composites » (spirales, kammprofile, métaloplastiques ...) au-delà de 50 bar.

Etats de surface

Plus que tout autre joint, ce type de joint nécessite un état de surface de bonne qualité, sans être trop lisse, avec des stries circonférentielles, afin que le joint épouse bien les stries des portées. On considère qu'un Ra de 3,2 µm à 12,5 µm est adapté aux différentes applications.

Serrage admissible

Le niveau de serrage admissible par ce type de joint dépend très fortement

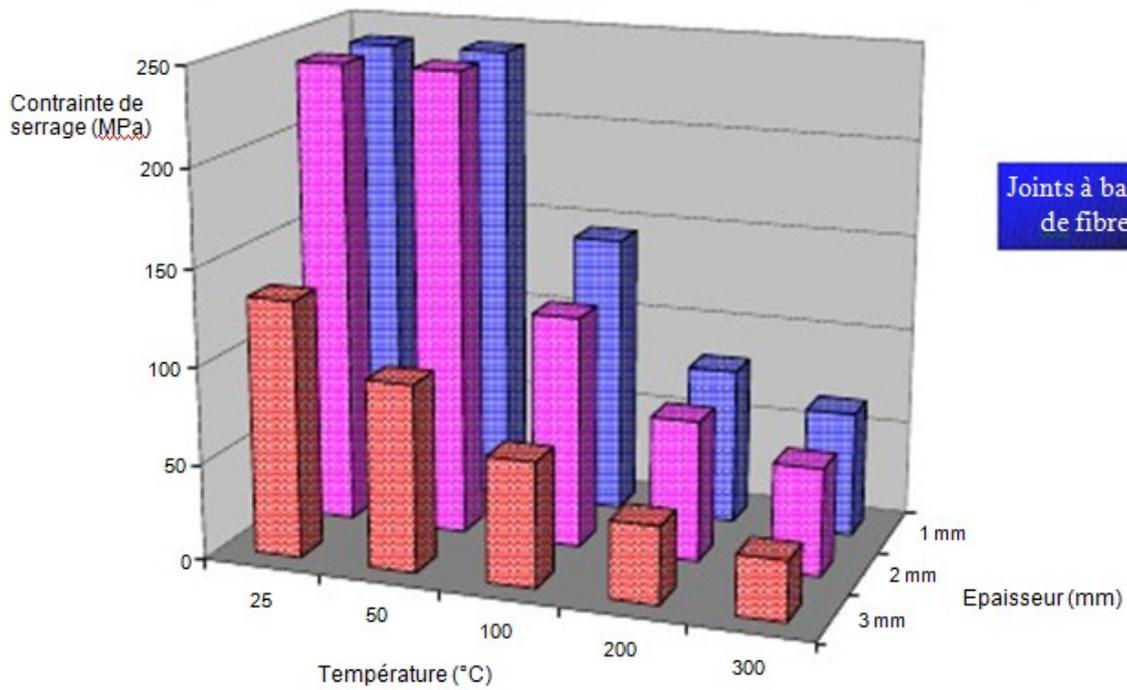
- o De la nature du matériau
- o De la largeur et surtout de l'épaisseur du joint
- o Du niveau de serrage initial
- o De la température de service

A température ambiante le joint peut supporter des serrages très élevés sans destruction (épaisseur 2 mm)

En température, par contre, les contraintes maximales admissibles diminuent très sensiblement. Plus le joint est épais, plus faible est la contrainte admissible.

Il est recommandé, pour ce type de joint, de conserver un niveau de serrage minimum à 2 fois la valeur de la pression à étancher.

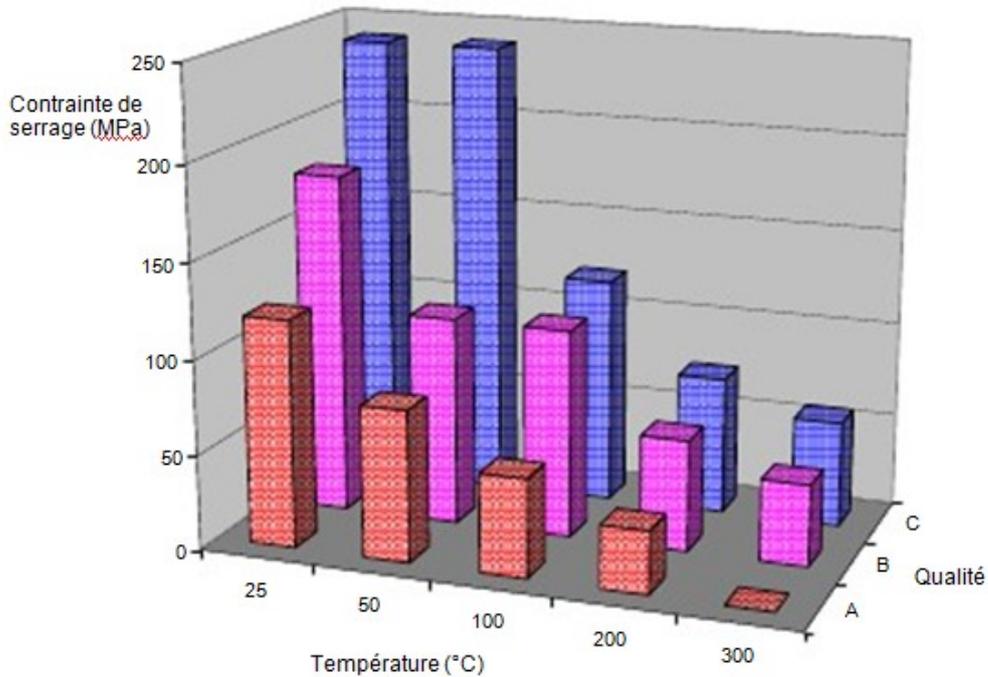
Contrainte maximale admissible en Température : effet de l'épaisseur



Jointes à base de fibre

Effet de l'épaisseur sur la contrainte maximale admissible des joints à base de fibres

Contrainte maximale admissible en Température : dépend du Matériau



Effet de la qualité du matériau sur la contrainte maximale admissible en température

Précautions d'utilisation

Certaines fibres sont sensibles à l'hydrolyse. Des précautions particulières lorsque le fluide véhiculé est de l'eau ou de la vapeur car l'absorption d'humidité peut réduire notablement la résistance mécanique du joint.

Ces joints sont moins polyvalents que les joints à base de fibres d'amiante qu'ils remplacent. A chaque type de joint correspondent des conditions de service particulières (type de fluide, pression interne, température, pression d'assise).

La qualité du serrage et le respect des niveaux de serrage préconisés par le fournisseur de joints sont des éléments essentiels au bon fonctionnement de ce type de joint.

Les matériaux 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.

Il est donc essentiel de se rapprocher du fournisseur de joint pour s'assurer des conditions de montage et de serrage du joint.

Stockage

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.

Comportement en température

Beaucoup de ces joints se durcissent sous l'effet de la température et collent aux portées. Un procédé de fabrication rigoureux et une quantité d'élastomère optimale permettent une bonne cohésion entre les fibres et l'élastomère, qui limite l'effondrement de l'effort maximal admissible lorsque la température augmente.

B3.2 Les Joints GEM (Graphite Expandé Matrice)

B3.2.1 Présentation du joint

Sur les circuits eau et vapeur haute pression des centrales thermiques, EDF a rencontré, il y a quelques années, de nombreux problèmes attribués pour l'essentiel à la dispersion des caractéristiques des joints spiralés à insert amiante.

Le remplacement des inserts amiante par un ruban de graphite expansé a amélioré de manière significative les performances en étanchéité mais n'a pas résolu le problème de la dispersion importante entre les performances mécaniques des joints fournis par les fabricants qui se traduit par une grande disparité des efforts nécessaires au serrage au contact métal-métal.

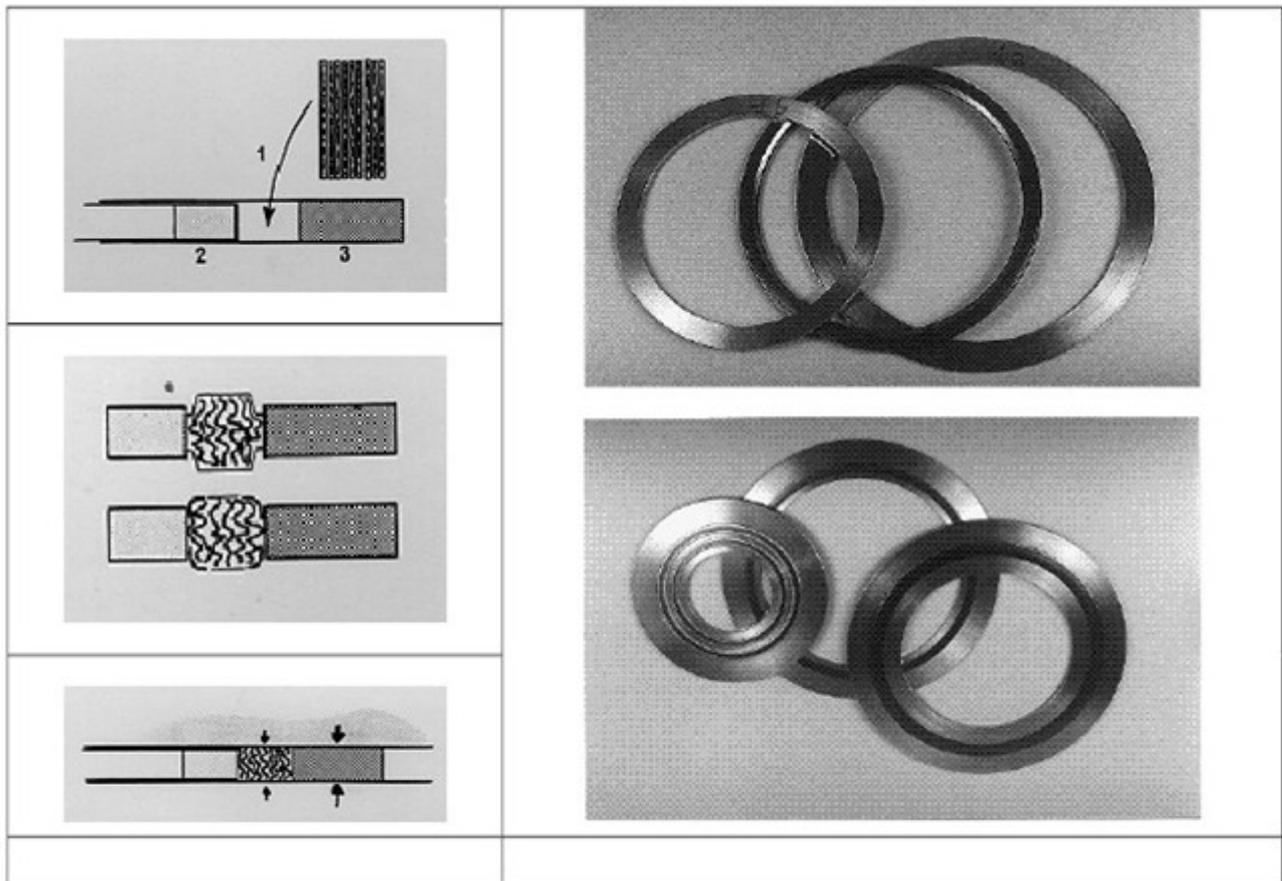
POUR TENTER DE RESOUDRE CE PROBLEME, UN NOUVEAU TYPE DE JOINT, A BASE DE GRAPHITE EXPANSE, SANS SPIRALE METALLIQUE, A ETE PROPOSE. IL A ETE DENOMME « GEM » GRAPHITE EXPANSE MATRICE PAR J.C.VIGNAUD D'EDF.

Ce joint peut être dimensionné précisément, et permet d'obtenir de bonnes performances mécaniques et étanchéité sous faible serrage, avec une reprise élastique supérieure aux joints spiralés.

Ces joints – dans leur principe de base - sont constitués de 3 parties :

- o Une bague (1) de graphite expansé, obtenue en comprimant un ruban de graphite. C'est elle qui assure l'étanchéité – la structure laminaire du joint est placée perpendiculairement au chemin de fuite - mais aussi la reprise élastique du joint, en s'appuyant sur les anneaux métalliques.

- o Deux bagues métalliques, une interne (2) et l'autre externe (3) qui délimitent le volume de la bague graphite.



Principe de fabrication d'un joint GEM

Exemple de joints GEM

Figure 1 : Principe de fabrication et exemple de joints GEM

B3.2.2 Applications industrielles

Le joint en graphite expansé est utilisé dans des conditions de services les plus difficiles, et notamment dans le domaine de l'énergie nucléaire (tenue aux irradiations), la chimie, la pétrochimie et la Marine, sur des robinets, vannes, soupape, canalisation vapeur haute et basse pression.

Outre les joints décrits dans le présent guide, les joints en graphite expansé remplacent avantageusement les

joint toriques élastomères.

L'une des deux bagues, parfois les deux, doivent servir de limiteur d'écrasement de la bague graphite et doivent donc pouvoir supporter :

- Les efforts de serrage et de pression
- Les efforts radiaux résultants de la compression de la bague graphite.

Le joint, nous l'avons dit, peut être dimensionné précisément – en jouant particulièrement sur la densité du graphite et son volume – et adapté aux conditions de serrage ou d'étanchéité requises.

Les bagues, contrairement à celles utilisées dans les joints spiralés, sont calculées et usinées pour travailler en contact métal-métal avec les portées. La largeur de la bague graphite est adaptée aux performances recherchées.

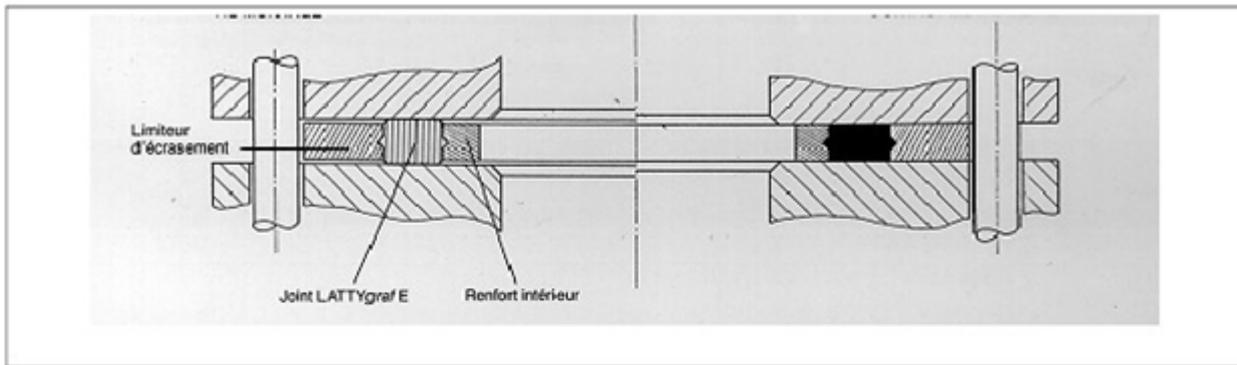


Figure 2 : Le joint GEM (type EPO) de LATTY International

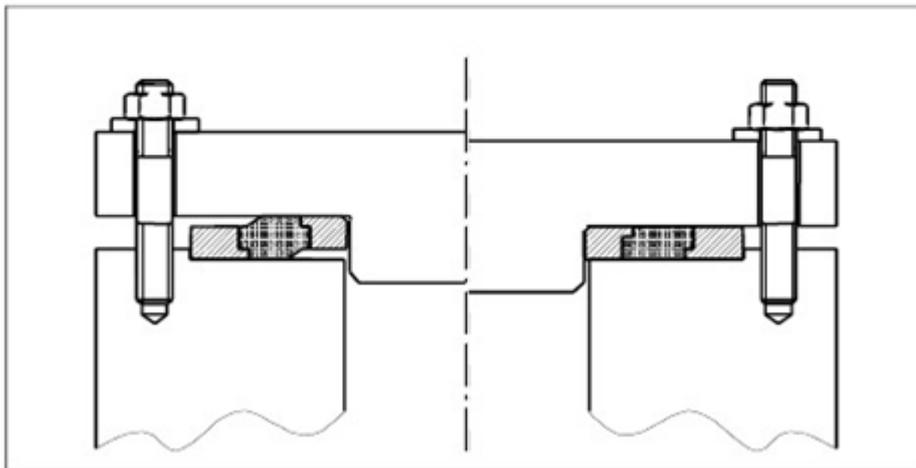


Figure 3 : Le joint GEM de SIEM Supranite

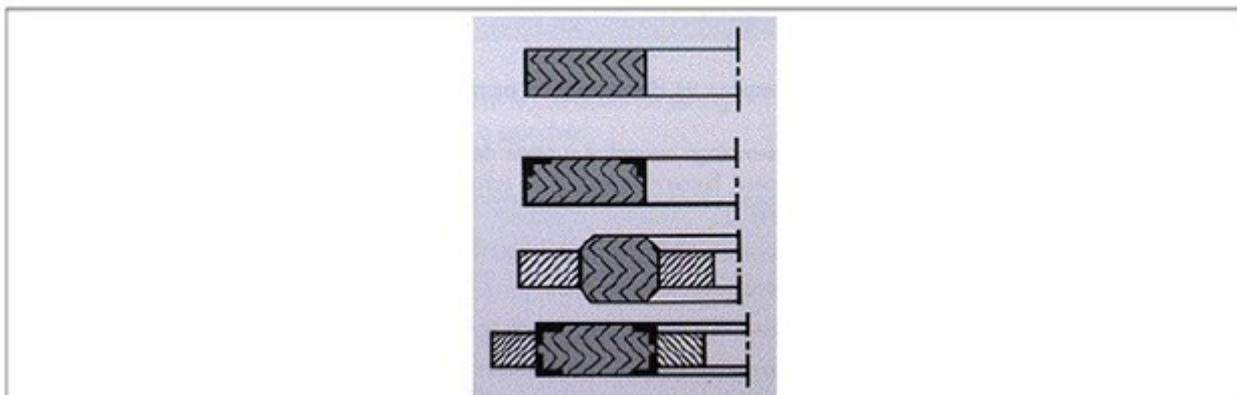


Figure 4 : Le joint GEM de Céfillac

Les paramètres spécifiques des joints « métal-métal »

Les paramètres caractéristiques des joints travaillant en métal-métal sont:

- l'effort de serrage pour l'obtention du contact métal-métal, qui implique la répétabilité des caractéristiques des joints et l'adaptabilité à l'effort de serrage et au degré d'étanchéité requis.
- la réaction de la portée active du joint sur la portée de bride sous épaisseur contrôlée (la relaxation du joint) pour assurer l'étanchéité en conditions de service.

Caractéristiques mécaniques

Ecrasement et compressibilité

Il s'agit là de la caractéristique principale des joints en graphite expansé. Ce sont les seuls joints à présenter une reprise élastique utile (de l'ordre de 3 à 4/10ème mm à comparer au quelques centièmes de millimètres pour les autres joints). Cette excellente reprise élastique fait du joint en graphite expansé un joint "actif" qui concourt naturellement à maîtriser les déformations ou les défauts des brides

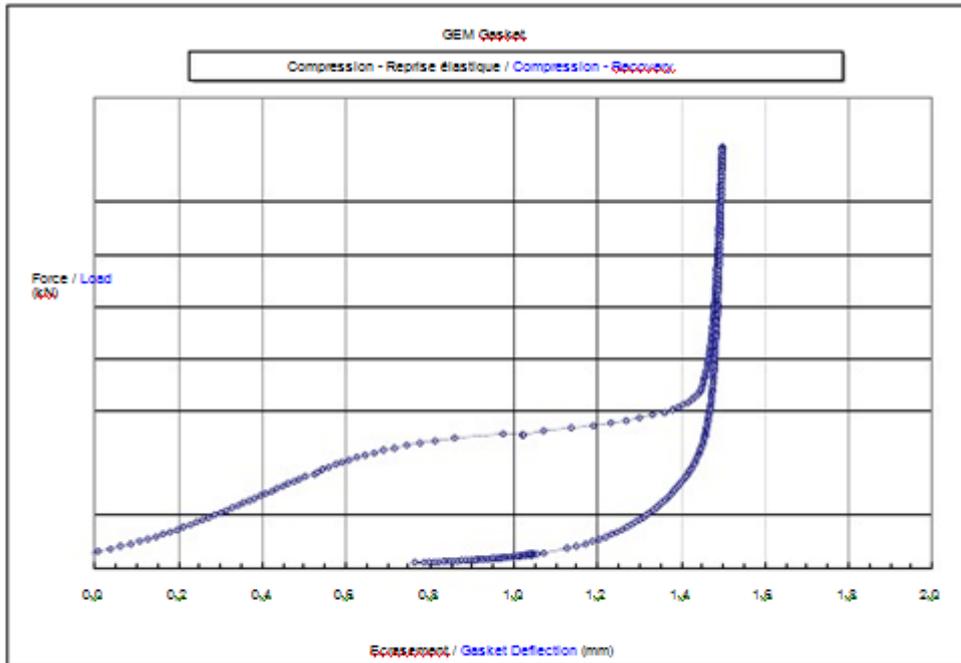


Figure 5 : Courbe de compression reprise élastique caractéristique d'un joint GEM

Fluage-relaxation

Comme la plupart des joints à base de graphite, les joints GEM ont un fluage très faible.

Par ailleurs, travaillant essentiellement en contact métal-métal, ils présentent un niveau de relaxation (perte de réaction sur les portées de brides) très faibles.

Comportement en température

Dans la mesure où le graphite est traité avec un inhibiteur de corrosion, ces joints ont un excellent comportement aux températures élevées (550°C)

Etanchéité

Compte tenu de son fonctionnement spécifique en contact métal-métal, on ne considère le comportement en étanchéité que lors d'un desserrage accidentel du joint.

En effet, le serrage initial du joint permet de prendre en compte tous les efforts en service qui seront appliqués au joint. Le serrage initial intègre donc

- L'effort nécessaire pour arriver au contact des anneaux
- Les efforts nécessaires pour
 - o Compenser l'effet de fond
 - o Compenser les efforts extérieurs (thermiques, mésalignement, défaut de parallélisme, ...)

L'analyse des performances en étanchéité concerne essentiellement l'étude du comportement au desserrage en service.

Les joints GEM conservent le même niveau d'étanchéité pendant une phase importante de délestage mais la perte d'étanchéité est brutale, contrairement aux autres types de joints présentés dans ce document.

B3.3 Les Joints GRAPHITE

B3.3.1 Présentation

Ces joints répondent aux normes

- CEN 12560-1 pour les joints « Class »
- CEN 1514-1 pour les joints « PN »

Ces joints se présentent sous forme de feuilles généralement rigidifiées par un insert qui, comme pour les joints à base de PTFE, peut prendre diverses formes (treillis, feuillard métallique, picot de différents profils).

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 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).

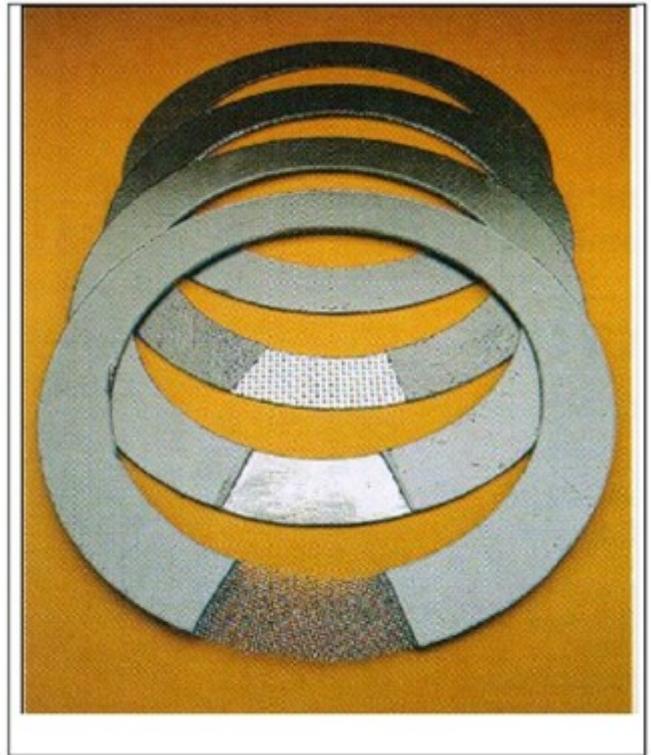


Figure 1 : Joints à base de graphite en feuille

Les caractéristiques de ces joints vont dépendre de :

- o la qualité du matériau de base : densité, pureté, colle, dimension maximale de calandrage,
- o la technique de fabrication : densité (après re-densification éventuelle), colle, insert, épaisseur, mode de découpage
- o sa géométrie (épaisseur, largeur)

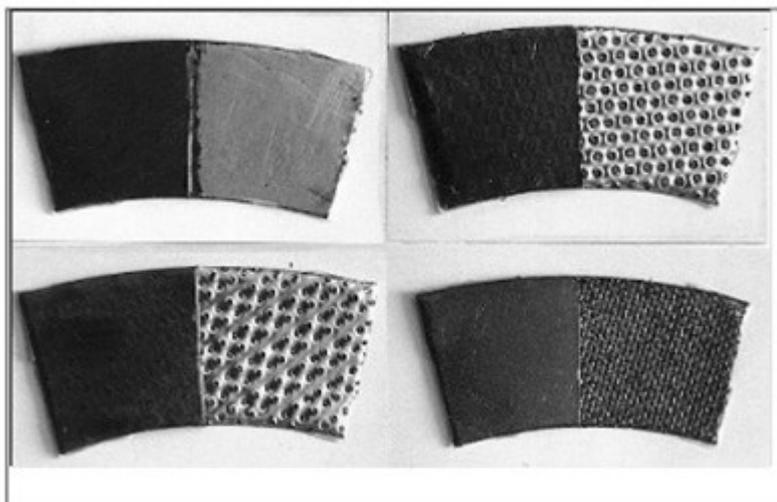


Figure 2 : Les différents types d'insert dans les joints à base de graphite en feuille

B3.3.2 Domaine d'application

Applications industrielles

Les joints à base de graphite en feuille sont utilisés lorsque les températures de service s'avèrent trop élevées pour les autres types de joints plats. Leur forte compressibilité doit être considérée lorsqu'il s'agit d'étancher une ligne de tuyauterie avec de nombreuses jonctions à brides.

Fluides

Le graphite est sensible à l'oxydation. Il faudra donc s'assurer de sa compatibilité avec le fluide véhiculé. En milieu oxydant la limite en température est de l'ordre de 350°C.

Pression

Selon la normalisation CEN, le joint est limité au PN63 pour les brides PN et Class 900 lbs pour les applications Class.

L'API impose de monter des joints « composites » (spiralés, kammprofile, métaloplastiques ...) au-delà de 50 bar

Serrage admissible

Il est un peu surprenant de constater que l'effort de serrage maximal admissible est comparable aux joints à base de PTFE. L'influence de l'épaisseur est particulièrement importante. L'influence de la température est moindre que pour les joints à base de fibres sans amiante ou de PTFE.

L'influence de l'insert métallique n'est pas essentielle concernant la limite en compression du joint. Elle est essentiellement notable dans la résistance à la pression interne sous faible serrage. L'insert métallique a aussi un rôle important dans la tenue du joint lors de sa manipulation. Sans insert métallique le joint est fragile et se casse facilement.

Le serrage admissible dépend aussi du rapport entre l'épaisseur et la largeur du joint. Il existe peu de références concernant ce paramètre. C'est pourtant un élément essentiel, notamment pour le graphite.

Températures admissibles

La principale caractéristique des joints à base graphite est leur performance à haute température.

Toutefois les problèmes de corrosion en milieu oxydant peuvent limiter leur usage à des températures voisines de 400 ou 450°C.

Des études menées par le PVRC ont conduit à préconiser des températures maximales de 315°C pour une utilisation en continu sur une période de 5 ans des joints à base de graphite !

Les inhibiteurs de corrosion améliorent très sensiblement le comportement dans le temps du graphite.

L'utilisation de colles pour assurer l'adhésion des couches et des inserts métalliques est aussi une source de limitation en température d'un produit qui autrement peut accepter des niveaux de température de l'ordre de 550°C.

La mesure de la perte de poids du joint est considéré comme représentative de la dégradation du matériau.

Par ailleurs le graphite a tendance à coller aux portées, notamment en température, ce qui conduit à la destruction du joint au démontage. Cela pose des problèmes pour les équipes de maintenance pour le nettoyage des portées de brides mais aussi sur un aspect « sécurité » par la libération de l'insert métallique qui devient particulièrement coupant. L'intégration de produits « anti-adhérents » peut être une solution au problème sous réserve d'une application appropriée.

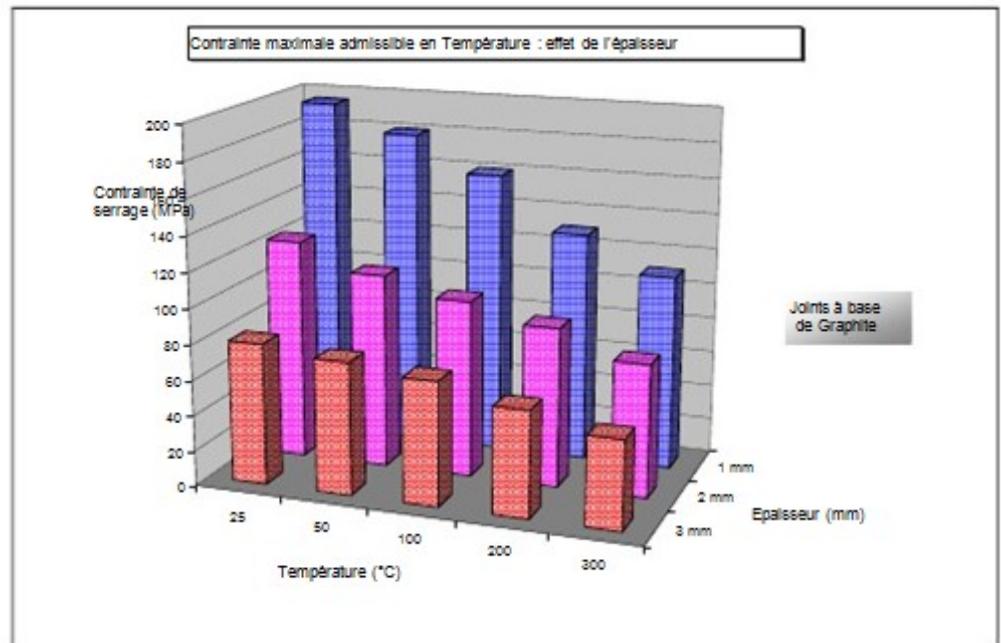


Figure 3 Contrainte maximale admissible pour un joint à base de graphite en feuille : effet de l'épaisseur et de la température

B3.4 Les Joints STRIES REVETUS ou KAMMPROFILES

B3.4.1 Présentation du joint

Ces joints répondent aux normes

- EN 12560-6 pour les joints « Class »
- EN 1514-6 pour les joints « PN »

Ces joints répondent à la norme EN 12560-6 établie par le Comité Européen de Normalisation (CEN).

Ils se présentent en concurrents des joints spirales.

Ces joints, aussi dénommés "Kammprofiles" sont constitués d'une âme métallique, d'épaisseur courante de 3,2 mm, partiellement striée sur ses deux faces. Les matériaux les plus couramment utilisés sont :

- o l'acier inoxydable,
- o l'acier au carbone,
- o l'aluminium,
- o le cuivre,
- o laiton,
- o l'Inconel®,
- o le Monel®,
- o le nickel.

L'âme métallique striée est revêtue d'un matériau tendre, le plus souvent du graphite, du PTFE ou des feuilles à base de fibres sans amiante ou de mica. Lors du serrage, ce revêtement épouse les stries formées sur l'âme métallique pour boucher le chemin de fuite, sans marquer les portées des brides. Ces revêtements, d'une épaisseur d'environ 0,5 mm, sont a priori interchangeables.

Pour le centrage sur la boulonnerie, ces joints peuvent être équipés d'un anneau métallique qui peut être monobloc (intégré à l'âme métallique du joint) ou rapporté. Dans ce dernier cas, l'anneau permet la dilatation ou la contraction sans contrainte excessive induite dans l'âme métallique.

Il semble en effet que pour des raisons économiques, certains fournisseurs utilisent non pas du graphite expansé en feuille mais du graphite en ruban pour couvrir les stries.

Cela nécessite alors, pour les joints de grande dimension, de réaliser des « soudures » pour assurer la continuité du revêtement sur la structure métallique. Le graphite est mal réparti sur la surface. Cela nuit considérablement aux performances mécaniques et étanchéité du joint.

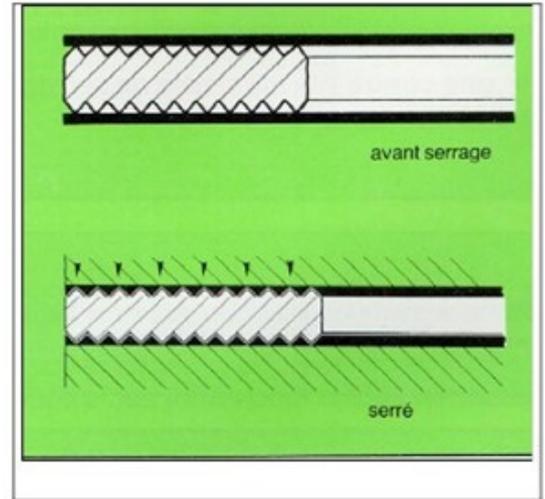


Figure 1 : Joint strié revêtu (schéma)



Figure 3 : Joint Kammprofil revêtu de graphite en ruban

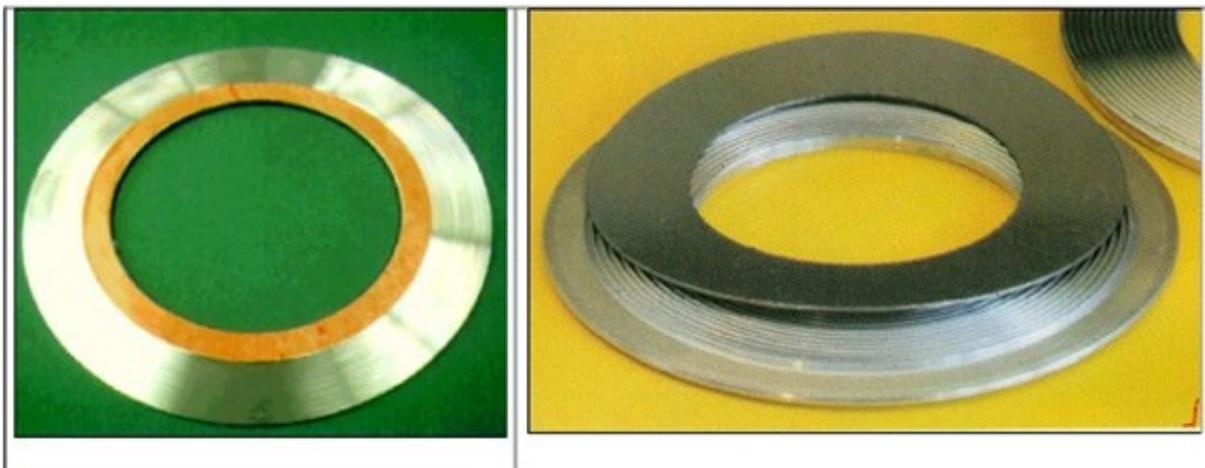


Figure 2 : Exemple de joints striés revêtus (Kammprofil)

B3.4.2 Domaine d'application

Ce type de joint est utilisé dans de nombreuses industries

- o Chimiques
- o Pétrochimie
- o Energie

Il convient particulièrement pour des applications où la boulonnerie est trop faible pour résister à la contrainte nécessaire au serrage correct des joints spiralés.

Fluides

Compte tenu des possibilités de choix entre

- Les matériaux des spires métalliques et des anneaux
 - o Aciers (304, 316, 316L...), Monel, Inconel, Nickel, Titane,...

La nature des inserts

- o Fibres sans amiante
- o PTFE
- o Graphite
- o Mica
- o Céramiques

Et la gamme de brides dans les quelles il est installé

Le joint kammprofil, comme la plupart des joints métalliques composites est adapté à une large gamme de fluide.

Pression

Cette variété de possibilités de fabrication permet de s'adapter à une très large gamme de pression.

Température

Le joint strié revêtus peut être utilisé de la cryogénie aux températures très élevées (600°C). La nature du revêtement et des matériaux métalliques sera bien évidemment à adapter aux conditions de service.

Serrage admissible

Ce joint admet un serrage élevé compte tenu de son âme métallique. On dit souvent que ce joint travaille en conditions de métal-métal.

Étanchéité

L'étanchéité de ce type de joint est adaptée à la nature du revêtement. En règle générale –cela dépend de l'usinage des stries et de l'épaisseur du revêtement le joint sera plus étanche que si le revêtement est utilisé seul.

Les stries métalliques, en pénétrant le revêtement crée une multitude de barrières qui s'opposent à la progression de la fuite.

L'étanchéité est en général obtenue sous faible niveau de serrage.

Il est apparu récemment un problème associé au revêtement graphite.

Certains fournisseurs utilisent non pas du graphite expansé en feuille mais du graphite en ruban. Cela nécessite alors, pour les joints de grande dimension, de réaliser des « soudures » pour assurer la continuité du revêtement sur la structure métallique. Le graphite est mal réparti sur la surface. Cela nuit considérablement aux performances mécaniques et surtout étanchéité du joint.

Fluage-relaxation

La résistance au fluage dépend essentiellement de la nature du matériau de revêtement et du métal du joint strié.

Influence de la température

La température maximale du joint est limitée par la tenue en température de l'âme métallique, ainsi que celle du revêtement.

Le revêtement en PTFE limite l'utilisation du joint à 260°C. Le revêtement en graphite limite l'utilisation du joint à 450°C en atmosphère oxydante, et 3000°C en atmosphère réductrice ou neutre. Suivant l'acier inoxydable employé pour l'âme, l'utilisation se limitera à 500°C ou 850°C. La température maximale d'utilisation (1100°C) est obtenue avec une âme en Inconel® associé à un revêtement en graphite en atmosphère réductrice ou neutre.

États de surfaces

Il est recommandé, pour ce type de joint un état de surface soigné

Un Ra compris entre 3.2 et 6.4 e μm est généralement requis.

Pour des applications plus sévères ou avec le vide on peut demander un état de surface de 1.6 μm .

Précautions d'utilisation

Il faut une mise en place soignée de ce type de joint. Au moment de l'accostage des portées un défaut d'alignement ou un défaut de parallélisme des portées peut faire glisser le revêtement. Il est recommandé de soigner la procédure de serrage au montage afin d'assurer un serrage le plus uniforme possible.

B3.5 LES JOINTS METALLIQUES MASSIFS

B3.5.1 Présentation du joint RTJ (Ring Joint traditionnel)

Les joints RTJ répondent aux normes dimensionnelles

- EN 12560-5 pour les joints « Class »
- Ils n'ont pas d'application en brides PN.

Aussi appelé "ring joint", ce joint a été mis au point aux USA. Ils sont conformes à la norme ANSI B16-20 et à l'API. Ce sont des joints de section ovale ou octogonale, généralement en acier inoxydable ou acier à bas carbone. D'autres matériaux tels que le Monel®, l'Incoloy® sont également disponibles pour des applications spécifiques.

Il existe des variantes à effet « autoclave », c'est à dire que la mise en pression agit sur le joint pour augmenter la pression de contact sur la portée et ainsi améliorer l'étanchéité.

Ce type de joint a été conçu pour des conditions de pression et de température élevées.

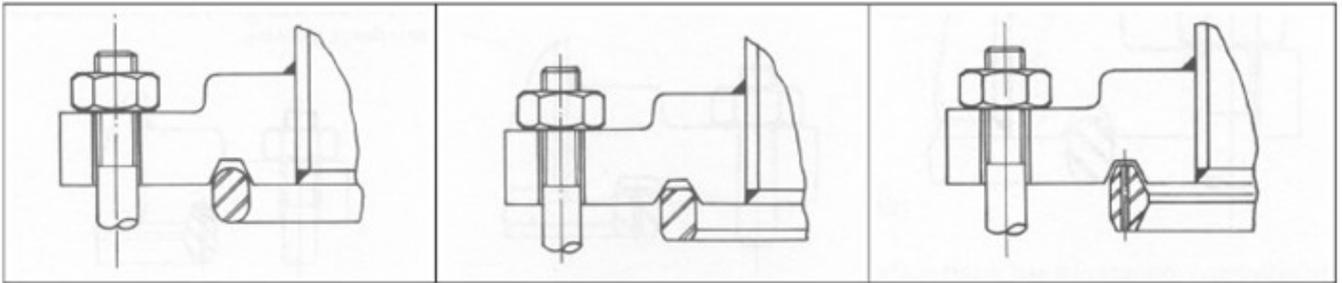


Figure 1 : Joints «ring joints » de section ovale, octogonale et « RX »

Le joint style RX est une adaptation du joint style R qui utilise l'effet de la pression interne pour se plaquer contre la paroi de la gorge. L'interchangeabilité des joints style R et RX est assurée par un profil de gorge identique. Ainsi, il est d'autant plus étanche que la pression interne augmente.

Le joint style R ovale peut être muni d'un revêtement caoutchouteux permettant de protéger les surfaces des brides et de limiter la corrosion qui peut apparaître avec les joints conventionnels.

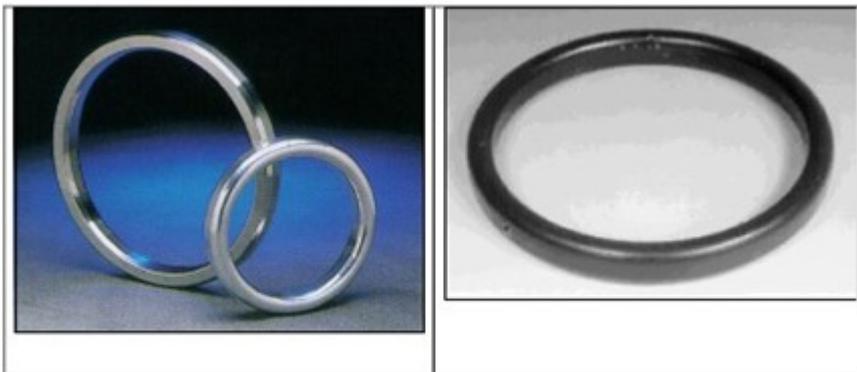


Photo 1 : Ring joint traditionnel et ring joint revêtu

L'étanchéité est assurée sur une circonférence, par la pression de contact entre le joint et la portée de bride. Le dimensionnel du joint et de la portée ont donc un rôle essentiel. La faible surface de contact engendre une forte pression de contact qui assure une excellente étanchéité à condition que l'état de surface de la portée (et du joint) soient adaptées.

B3.5.2 Domaine d'application

Pression

Le joint est spécifiquement conçu pour les applications hautes pressions.

Température

La température maximale admissible est en général très élevée. Elle est directement associée au matériau utilisé.

Dimensions

Les dimensions du joint comme celles des portées de bides sont parfaitement définies et normalisées. Elles doivent être particulièrement soignées car elles sont la base de l'efficacité de ce type de joint.

Matériaux

Il est recommandé d'utiliser des matériaux de joint dont la dureté est inférieure à celle du matériau de la bride.

Etats de surface

L'état de surface des portées doit être d'un Ra inférieur à 1,6 µm.

Précautions d'emploi

Attention au matage des portées, aux concentrations de contrainte dans les fonds de gorge.

Il convient de soigner particulièrement le montage du joint en assurant un bon parallélisme des portées.

Applications industrielles

Les joints RTJ ont été initialement développés pour des applications à hautes pressions et température rencontrées sur les sites de forage pétrolier et pour l'industrie du gaz. Aujourd'hui, on peut les trouver sur des vannes, canalisations et appareils à pression.

B3.6 Joints métalliques Massifs ondulés, plats ou striés

B3.6.1 Présentation

Ces joints répondent à la norme prEN 12560-4 établie par le Comité Européen de Normalisation (CEN).

Différents matériaux sont utilisés pour leur fabrication :

- o Aluminium,
- o Cuivre,
- o Argent,
- o Nickel,
- o Acier doux,
- o Acier inox,
- o Inconel®,
- o Incoloy®,

....

Ces joints conviennent aux hautes pressions et/ou hautes températures. Il en existe de multiples formes et types: torique, plat, strié, ondulé...

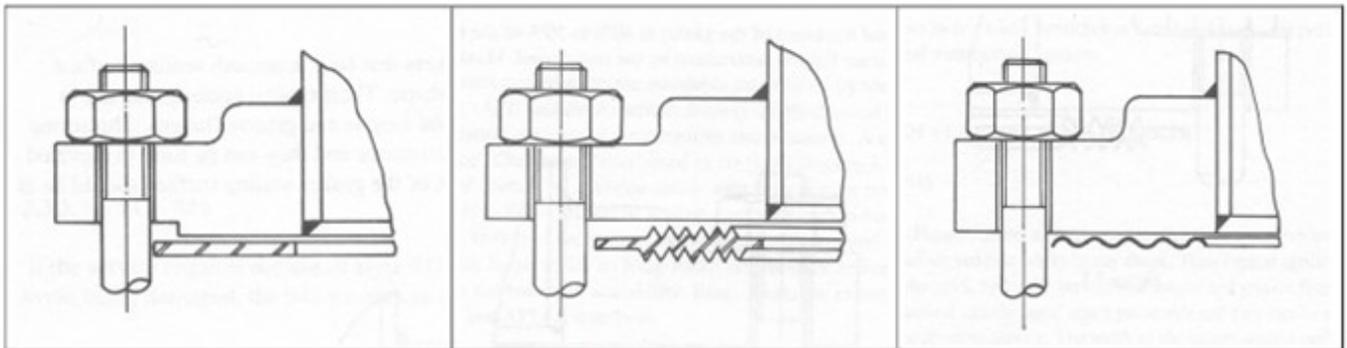
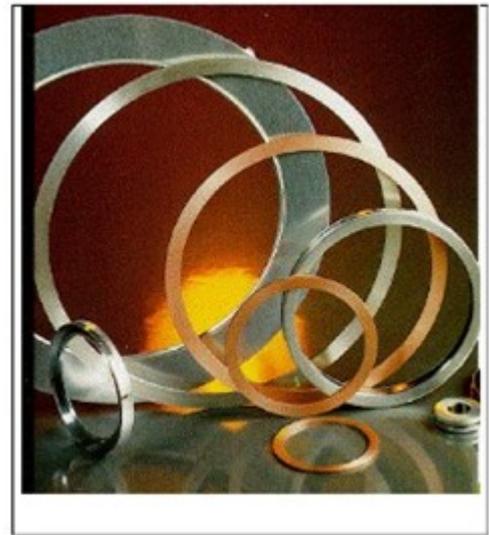


Figure 3 : Exemples de joints métalliques massifs

Pour étancher, ce type de joint doit être plus « mou » que la bride.

Pression

Le joint peut être utilisé à haute pression.

Température

La température maximale admissible est en général très élevée. Elle est directement associée au matériau utilisé.

Dimensions

La largeur du joint doit être supérieure à 1,5 fois l'épaisseur.

Matériaux

Il est recommandé d'utiliser des matériaux de joint dont la dureté est inférieure à celle du matériau de la bride.

Etats de surface

L'état de surface des portées doit être d'un Ra inférieur à 1,6 µm. Ce type de joint n'admet aucun défaut de surface.

Précautions d'emploi

Attention au matage des portées, aux concentrations de contrainte dans les fonds de gorge.

Il convient de soigner particulièrement le montage du joint en assurant un bon parallélisme des portées.

Applications industrielles

Ce type de joint est utilisé en robinetterie, dans les échangeurs et en général dans des brides à emboîtement.

Le joint strié ou ondulé est utilisé quand le serrage disponible est faible.

Le joint ondulé est utilisé à faible pression de service. Il doit comporter un minimum de 3 ondulations.

B3.7 LES JOINTS PTFE

B3.7.1 Présentation

Ces joints répondent aux normes

- CEN 12560-1 pour les joints « Class »
- CEN 1514-1 pour les joints « PN »

Différents types de joints plats sont proposés suivants les applications et les caractéristiques recherchées.

Le PTFE (Polytétrafluoréthylène) est un matériau synthétique thermoplastique qui se compose d'une chaîne d'atomes de carbone entièrement fluorée :

Il se caractérise par une 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 permet de s'adapter aux irrégularités des plans de joint. Il est facile à manipuler. Susceptible de se dégrader par irradiation.



Joints en feuille à base de PTFE

Ce produit a une double image défavorable chez les utilisateurs :

- Fluage
- Limitation en température

On retiendra cependant que c'est probablement le produit le plus étanche sur le marché.

L'inconvénient majeur du PTFE, à savoir sa faible résistance mécanique, est du au fait que les molécules ne sont pas réticulées, même par des chaînes latérales. Etant donné que la molécule est neutre vers extérieur ou en d'autres termes qu'elle n'a pas de charge électrique, il n'existe pas de force d'attraction électrostatique entre les molécules. Afin d'éviter cet inconvénient qui est à l'origine le fluage, particulièrement en température, il existe diverses manières selon lesquelles on peut l'influencer lors du traitement du PTFE.

De nombreux joints à base de PTFE sont disponibles sur le marché

- PTFE pur
- PTFE chargé (avec du verre, carbone,...),
- PTFE modifié, expansé,
- PTFE renforcé par un insert métallique.

Plusieurs générations de joints à base de PTFE ont vu successivement le jour :

•**Le 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.

•**Le 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).

•**Rôle des charges**

Afin de minimiser l'inconvénient du fluage qui est le point critique des joints en PTFE, on utilise souvent d'autres composants représentant 50% ou plus dans la fabrication des joints. Il est souvent impossible de trouver une indication claire concernant ces composants et leur identité. Les critères d'étiquetage pour joints plats spécifiés dans la norme DIN 28091 apportent une réponse à ce problème.

L'incorporation de charges se traduit d'une manière générale par les effets suivants :

- la résistance au fluage croît dans un rapport de 1 à 10,
- selon la charge incorporée, la dilatation à chaud peut diminuer dans un rapport voisin de 5. Le PTFE chargé conserve généralement l'inertie du PTFE non chargé.

Parmi les centaines de charges possibles, seules une trentaine sont utilisées dans l'industrie pour des raisons techniques et commerciales.

Les qualités que confèrent les charges aux joints sont :

- Charges de verre : Amélioration de la résistance à la compression
- Charges de carbone : Excellente résistance à la compression, faible perméabilité, diminution du coefficient de dilatation si combiné avec de la céramique.

Le module de compression du PTFE chargé est relativement supérieur à celui du polymère non chargé et par conséquent, la déformation est moindre à contrainte égale. L'écart s'atténue toutefois à mesure que la température s'élève, de sorte que la tenue respective du PTFE chargé et non chargé devient très voisine à 200°C. Il en est presque certainement ainsi parce que la diminution générale du module de compression dans la masse du PTFE l'emporte sur le renforcement dû à la répartition aléatoire des particules de charges.

PTFE expansé en ruban / cordon

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

372 Domaine d'application

Applications industrielles

Au départ le PTFE est utilisé dans la Chimie de par sa compatibilité avec la plupart des fluides de process. Par ailleurs son haut niveau d'étanchéité sous faible serrage permet une utilisation avec des brides « fragiles » (brides en verre, brides émaillées).

Du fait des améliorations apportées dans le comportement mécanique du joint et son haut niveau d'étanchéité il est de plus en plus utilisé en tant que produit de substitution de l'amiante. Il est très utilisé dans l'industrie alimentaire, l'industrie pharmaceutique et aussi dans la pétrochimie, les papeteries ...

Températures admissibles

La principale limitation des joints PTFE est un niveau de température maximale admissible températures relativement peu élevée. La température de fusion du PTFE pur est de 327°C, limitant très vite les températures d'utilisation, même lorsque le PTFE est chargé.

On admet que la température maximale pour ce type de joint est de l'ordre de 225°C.

Fluides

Il est bien sur recommandé pour les fluides agressifs, en milieu gaz ou liquide. Il est aussi adapté aux brides revêtus de verre, à surface lisse. Il est alors limité aux faibles pressions de fluide. Il est en général utilisé quand il est nécessaire d'obtenir une bonne étanchéité sous faible serrage.

Pression

Selon la normalisation CEN, le joint est limité au PN63 pour les brides PN et Class 900 lbs pour les applications Class.

Nombre de fabricants considèrent la limitation « standard » des ces joints à 40 bar pour des brides PN.

Le niveau de pression admissible dépend du serrage acceptable et est donc réduit en température ou lorsqu'il est utilisé avec des portées de brides fragiles.

L'API impose de monter des joints « composites » (spiralés, kammprofile, métaloplastiques ...) au delà de 50 bar

Serrage admissible

Comme pour les joints à base de fibres, les joints PTFE ont des niveaux de serrage très différents selon les types de PTFE et selon les fabricants. Le niveau de serrage dépend aussi fortement de l'épaisseur.

Viellissement

Les joints à base de PTFE ont un bon comportement dans le temps. Le matériau ne présente pas, en général, de dégradation dans le temps. Le joint garde son pouvoir à étancher sous réserve qu'il conserve, malgré le phénomène de fluage relaxation un serrage suffisant sur le joint.

Comme la plupart des joints, sous réserve d'un bon serrage initial, le joint admet des desserrages importants avant la perte d'étanchéité. Son intérêt est le niveau d'étanchéité conservé, supérieur à plupart des autres matériaux.

Comportement aux ambiances

La solidité de la liaison carbone-fluor, la plus forte de la chimie minérale, confère au PTFE une résistance particulière à l'action des produits chimiques et des incidences climatiques. Les dégradations se réduisent à quelques exceptions. Il est presque impossible pour un milieu quelconque de rompre la liaison entre le fluor et le carbone de telle sorte que la molécule se désintègre. Seuls les métaux alcalins qui se lient au fluor pour produire un sel (par exemple NaF) sont capables de réaliser ceci.

Un autre avantage des joints réalisés à 100% en PTFE que l'on ne doit pas ignorer est qu'il s'agit de joints qui ne présentent aucun danger de contamination. Toutefois, ceci n'est valable que pour des joints ne renfermant pas d'agents de remplissage et n'ayant pas été teints. En la matière, l'approbation des autorités deal FDA (Food and Drug Administration) aux Etats-Unis est nécessaire dans la majorité des cas. Elles fixent des standards très élevés et leur approbation est reconnue dans le monde entier. Il faut toutefois souligner que seul le PTFE à 100% est conforme à ces exigences et que les produits à base de PTFE doivent faire l'objet d'essais individuels pour déterminer s'ils sont conformes à ces exigences.

Des charges telles que le graphite, le borosilicate, le dioxyde de silicone, etc. peuvent éroder et contaminer le milieu. Elles peuvent ne pas être stables ou même avoir un effet catalytique sur le procédé.

A température et sous pression élevées, les halogènes réagissent sur le PTFE. L'utilisation du PTFE est limitée en raison de la perméabilité au chlore liquide et au brome.

A température ambiante, les hydrocarbures fluorés gonflent ou gélifient le PTFE d'une manière irréversible.

Le PTFE résiste aux acides et bases couramment employés dans l'industrie.

Par contre, le PTFE ne fait pas partie des polymères résistant aux radiations. La dégradation est d'ailleurs fortement accélérée en présence d'oxygène.

Effet de l'état de surface

L'influence de l'état de surface se montre légèrement plus marquée que pour les joints à base de fibres. Les joints PTFE nécessitent un état de surface quine soit pas trop lisse (Ra compris entre 3,2 µm et 12,5 µm), avec des stries concentriques.

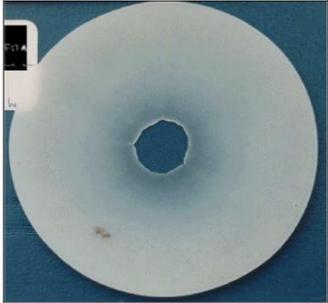
Lors d'essais selon la procédure « crush » du test ROTT de l'ASTM, les joints à base de PTFE expansé ont montré des défaillances directement liées à l'état de surface des portées. Dans le cas d'un usinage « grossier », le joint, qui a un taux de compression très élevé, peut présenter des pertes d'étanchéité significatives.

Fluage-relaxation

Au début des années 1980, des améliorations ont été apportées à la résistance au fluage, tout en maintenant la résistance chimique. Ces progrès ont permis de réduire le nombre de fuite sur les sites chimiques. Cependant, cette nouvelle génération de matériau n'a pas résolu le problème d'extrusion (souvent appelé blow-out).

Les joints à base de PTFE ont un comportement variable face au fluage. Les inserts, la nature du PTFE, la nature des charges, le serrage initial sont autant de paramètres qui influent sur le fluage. On constate des taux de fluage pouvant aller de 5% à plus de 50%. Selon les produits.

Les joints qui fluent peu sont ceux qui s'écrasent beaucoup (joints à base de PTFE expansé). Certains PTFE vierges voient leurs surfaces doubler ou tripler sous l'effet du fluage. Les PTFE modifiés recherchent un compromis entre un écrasement et un fluage contrôlé. Sous certaines conditions (faible serrage et faible température) ils ont un comportement mécanique qui se rapproche des joints à base de fibres.

	<p>Le fluage du joint conduit à une augmentation de la surface du joint, entraînant elle-même une diminution de la contrainte dans le joint si le joint ne déborde pas de la portée de bride. Pour certains joints à base de PTFE, cet élargissement du joint provoque une augmentation de surface de 2 à 3 fois la surface initiale. On comprend dans ce cas que le type de portée joue un grand rôle</p>
	<p>Certains PTFE, notamment les joints en PTFE expansé ont un taux de compressibilité qui peut atteindre 75%. On dit de ces joints qu'ils ne fluent pas. En fait, le fluage est très faible parce que l'épaisseur du joint sous charge est très faible (quelques dixièmes de mm).</p> <p>Ci contre un joint en PTFE expansé après essai de fluage en température.</p> <p>Ce joint n'admet pas de défauts des portées.</p>

B3.8 LES JOINTS SPIRALES

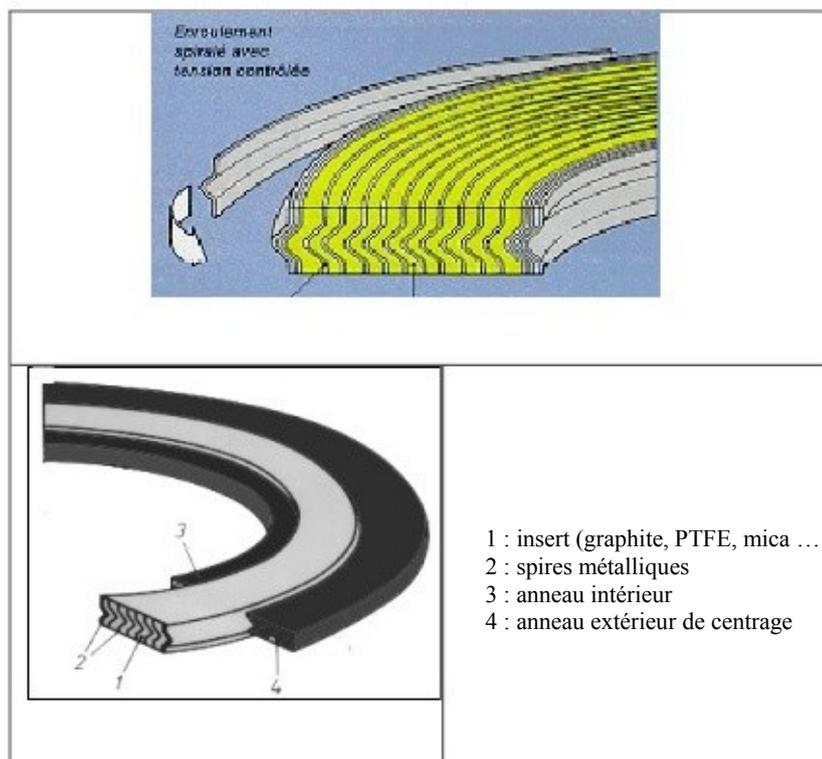
B3.8.1 Présentation

Ces joints répondent aux normes

- EN 12560-2 pour les joints « Class »
- EN 1514-2 pour les joints « PN »

La conception du joint recherche la complémentarité entre :

- Un matériau utilisé pour assurer l'étanchéité (l'insert).
- Un matériau pour assurer la tenue mécanique (les spires métalliques).
- Les joints spiralés sont constitués d'un feuillard métallique et d'un ruban intercalaire, enroulés en spirale.
- Le feuillard métallique peut être en acier inoxydable, nickel, titane, ... ou autre.
- Les intercalaires les plus courants sont le graphite, le PTFE et le mica. On peut aussi utiliser des céramiques en très haute température. Cet intercalaire est choisi en fonction du milieu à étancher (pression, température, fluide). L'utilisation simultanée de deux garnissages est possible (par exemple : PTFE/graphite ou graphite/mica).
- Le ruban métallique et l'intercalaire constituent la partie active du joint. C'est cette surface qui sert au calcul de la contrainte de serrage à appliquer au joint.



B3.8.2 Paramètres d'influence

La fabrication

Le comportement (étanchéité, écrasement, fluage,...) d'un joint spiralé est déterminé principalement par les paramètres de fabrication que s'impose le fabricant :

- la technique de fabrication
- l'automatisation de la fabrication (toutefois limitée en diamètre)
- la géométrie des spires métalliques (épaisseur du feuillard, section en V...)
- le matériau des spires
- la nature de l'intercalaire,
- l'épaisseur de l'intercalaire (dénommé aussi insert)
- la tension des spires,
- le nombre de spires sans intercalaire sur la partie intérieure et extérieure,
- les points de soudure des spires sur l'intérieur et l'extérieur (nombre et position)
- la présence d'un anneau intérieur et/ou d'un anneau extérieur.



Ces différences de fabrication expliquent les différences de comportements observés entre les joints.

L'utilisateur devra donc choisir un fournisseur lui proposant un joint dont les caractéristiques sont adaptées à l'application.

Les fabrications s'effectuent aujourd'hui manuellement ou en semi automatique, mais l'automatisation de la fabrication des joints de diamètre inférieur à 250 mm permet de garantir une bonne répétitivité des caractéristiques mécaniques pour un lot issu du même fabricant.

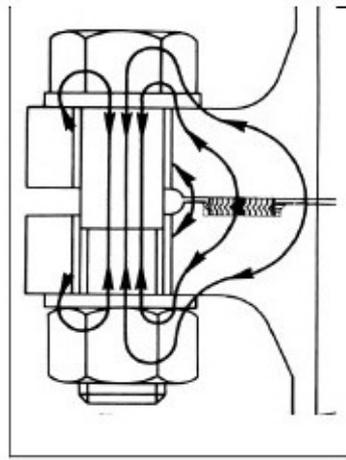
Plus que pour tout autre type de joint, lors d'un remplacement d'un joint, l'exploitant devra s'assurer, malgré une géométrie identique, de l'interchangeabilité du joint au niveau des caractéristiques mécaniques.

Métal-métal

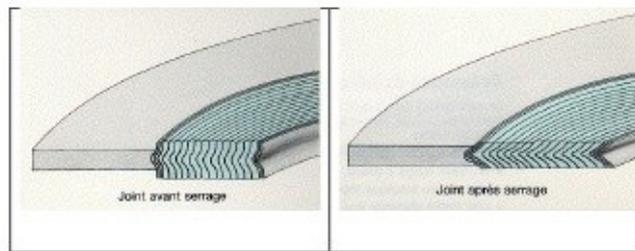
L'intérêt du joint utilisé en contact métal-métal est de ne faire remplir au joint que son rôle initial, assurer l'étanchéité. Les efforts liés aux effets thermiques et aux efforts extérieurs sont repris par les brides et non par le joint.

En ce qui concerne les joints installés en gorge, il convient de signaler qu'il faut s'assurer du bon dimensionnement des joints, et en particulier des diamètres intérieurs et extérieurs qu'il faut comparer aux dimensions de la gorge. Si le joint est monté "serré", il y a de fortes chances pour que le niveau de serrage à appliquer pour obtenir le contact métal/métal au niveau des brides soit très important, nettement plus important que le niveau de serrage théorique puisque le joint ne peut pas se déformer sans la présence d'espace libre.

Il a été montré (notamment par J.C. Vignaud d'EDF) que selon le fabricant, selon les tolérances de fabrication des joints ou des gorges, les niveaux de serrage pouvaient varier de 1 à 5 pour l'obtention du contact métal/métal entre les deux brides.

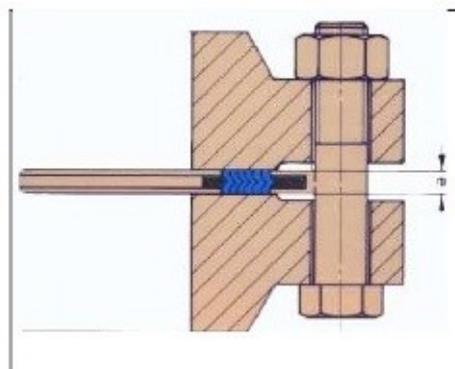


On entend dire souvent que les joints spiralés avec anneau métallique, soit intérieur, extérieur ou le plus souvent intérieur et extérieur, peuvent ou doivent être utilisés en recherchant le contact métal-métal entre les portées de brides et les anneaux métalliques dans le cas d'utilisation en brides à faces planes ou surélevées. On demande aux anneaux de jouer le rôle de la gorge.



Comme pour les joints spiralés utilisés en gorges, l'effort de serrage nécessaire à l'obtention du contact métal-métal dépend de nombreux paramètres de fabrication qui conduisent, comme pour les joints utilisés en gorges, à de grandes disparités entre les produits.

De plus, il n'y a pas unanimité chez les fabricants de joints spiralés, à leur utilisation en métal-métal. En effet le premier objectif des anneaux métalliques n'est pas le contact avec les portées, mais, le centrage sur le cercle de boulonnerie pour l'anneau extérieur



B3.8.3 Domaine d'application

Applications industrielles

Ce type de joint est largement utilisé dans de nombreuses industries

- o Chimiques
- o Pétrochimie
- o Energie
- o Agroalimentaire
- o Spatial...

Fluides

Compte tenu des possibilités de choix entre

Les matériaux des spires métalliques et des anneaux

- o Aciers (304, 316, 316L...), Monel, Inconel, Nickel, Titane,...

La nature des inserts

- o Fibres sans amiante
- o PTFE
- o Graphite
- o Vermiculite
- o Céramiques

Et la gamme de brides dans lesquelles il est installé

Le joint spiralé, comme la plupart des joints métalliques composites est adapté à une large gamme de fluide.

Pression

Cette variété de possibilités de fabrication permet de s'adapter à une très large gamme de pression. Il faudra toutefois s'assurer, au montage, que le type de joint choisi est adapté aux conditions de services de l'assemblage !

Il est donc adapté pour des pressions PN100 et Class 2500 lbs

Température

Ce qui a été dit pour la pression est valable aussi pour la température.

Le joint spiralé peut être utilisé de la cryogénie aux températures très élevées (600°C à 800°C). La nature de l'insert et des matériaux des spires et anneaux sera bien évidemment à adapter aux conditions de service. Les limitations pression / température des matériaux (P/T ratings) des brides seront une limitation à l'utilisation à ces températures. En très hautes températures, le niveau d'étanchéité n'est pas la priorité.

B3.9 Les JOINTS TORIQUES

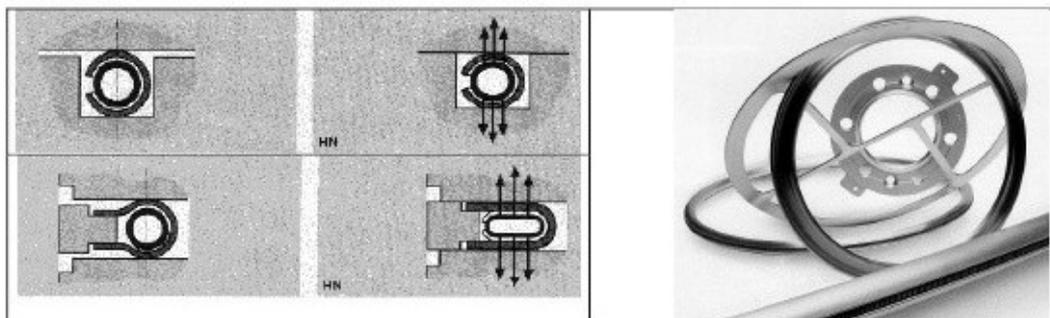
B3.9.1 Présentation des joints métalliques "élastiques"

Une solution traditionnelle de l'étanchéité des assemblages boulonnés, repose, nous l'avons dit, sur l'utilisation de joints toriques élastomères utilisés en gorges. Mais ils trouvent rapidement des limites en température, pression, corrosion, tenue dans le temps qui ont conduit à l'élaboration de produit de remplacement à base de revêtement métallique et de ressort interne.

Il existe des joints toriques métalliques qui, à l'origine, se rapprochent des joints élastomères, par leur utilisation en gorge avec contact métal-métal. Ils permettent le contact métal-métal avec des brides à faces planes ou surélevées dans sa version intégrant un anneau métallique (intérieur ou/et extérieur) limiteur d'écrasement.

Pour une utilisation sur brides à faces planes ou surélevées le joint peut inclure des anneaux métalliques (intérieurs et/ou extérieurs)

Le principe du joint repose sur la déformation plastique d'un revêtement métallique et d'une âme élastique composée d'un ressort hélicoïdal à spires jointives qui permet d'assurer le contact du revêtement métallique avec les portées de brides.



B3.9.2 Domaine d'application

Pression

Ce type de joint peut être utilisé dans une très large gamme de pression : du vide aux très hautes pressions.

Température

La température maximale admissible est en général très élevée. Elle est directement associée au matériau utilisé.

Matériaux

Il est réalisable dans une large gamme de matériaux: plomb, cuivre, argent, or, nickel, aciers inoxydables, Il est recommandé d'utiliser des matériaux de joint dont la dureté est inférieure à celle du matériau de la bride.

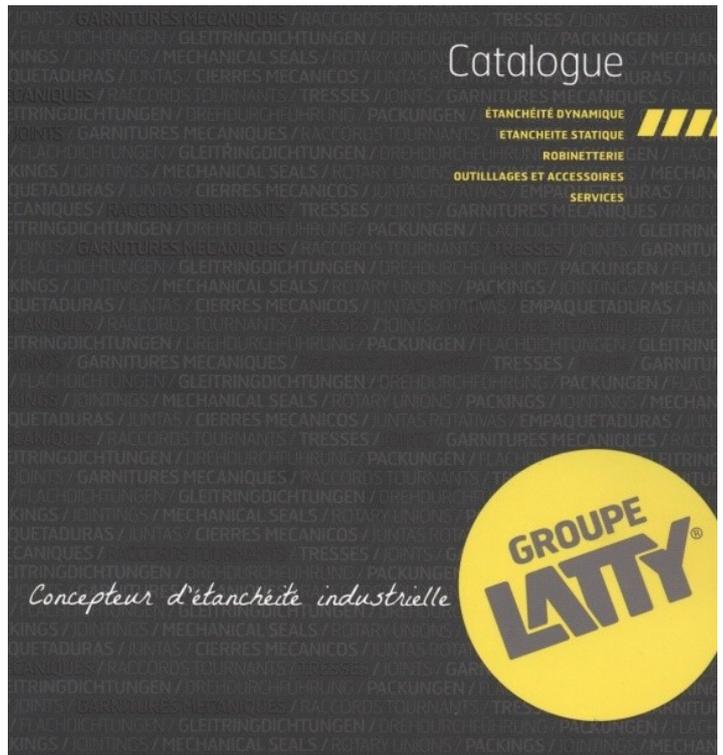
Etats surface

L'état de surface des portées doit être d'un Ra inférieur à 1,6 µm.

Ce type de joint, compte tenu des différentes possibilités de fabrication est utilisé dans de nombreuses applications industrielles, plus particulièrement en conditions « extrêmes » de fonctionnement.

Travail 4 : Identification de joints.

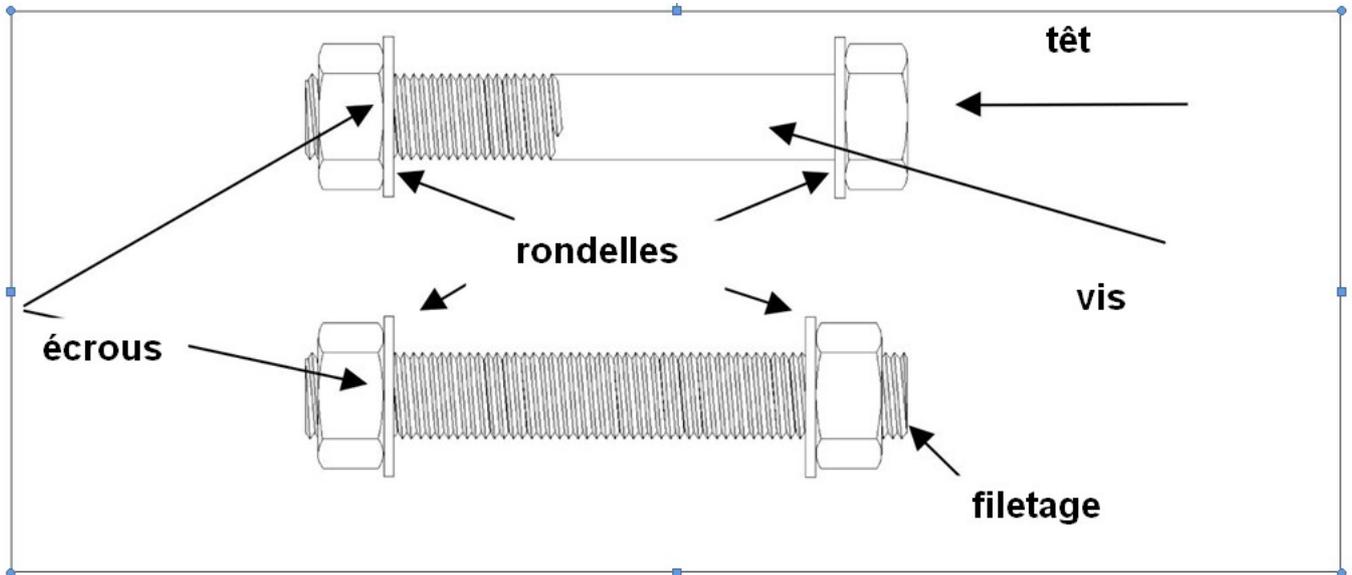
Avec le catalogue du fournisseur LATTY et des sites des fournisseurs sur internet, identifier les joints ci-dessous.



B4 Les éléments de serrage (.boulons, tiges filetées).

B4.1 Définitions

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 tension. 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).



B4.2 Son rôle

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 paramètres 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.

B4.3 Relaxation

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.

Tableau 1 : Températures de service recommandées pour les fixations en fonction des matériaux

Matériau	Température °C (°F)			
	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)

B4.4 Serrage sous tête

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 »

B4.5 Classe de qualité - Limite apparente d'élasticité – Résistance à la traction

Suivant la classe de qualité de la vis, le matériau utilisé n'a pas les mêmes caractéristiques mécaniques. Souvent sur la tête de la vis est noté par exemple 12.9.

- 12*100 = 1200 Mpa pour la résistance à la traction (résistance à la rupture)
- 12*9*10 = 1080 Mpa pour la résistance élastique (souvent associé à la limite apparente d'élasticité)

Tableau 2 : propriétés mécaniques de certaines fixations à température ambiante (adapté de la norme EN 20898 1 de 1991)

	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)

B4.6 Sélection de la boulonnerie suivant la norme NF EN 1515-1 et NF EN 1515-2

Tableau 1 — Types de boulonnerie

Norme dimensionnelle		Matériau ou classe de qualité	Remarques
Vis, tiges filetées	Écrous		
EN 24016	EN 24034	4.6/5 5.6/5 6.8/5	Vis à tête hexagonale
EN 24014	EN 24032 EN 24033 ¹⁾	Tous	Vis à tête hexagonale
Annexe A de la présente norme	EN 24032 EN 24033 ¹⁾	Tous	Tige filetée, Entièrement filetée

1) Les écrous selon l'EN 24033 sont utilisés normalement dans les installations industrielles. Pour des dimensions ≥ M39, des écrous avec m = d sont recommandés.

Pour les normes dimensionnelles, se reporter à NF EN ISO 4016 et NF EN ISO 4014 de juin 2011.

Tableau 2 — Matériaux et limites de service

PN Class jusqu'à	Gamme de températures °C	Type de matériau		Désignation symbolique d'acier ou classe de qualité Désignation numérique d'acier Norme de matériau	
		Vis	Écrous	Vis	Écrous
PN 40 Cl. 300	- 10 à 120	C-St	C-St	4.6 — EN 20898-1	5 — EN 20898-2
PN 40 ¹⁾ Cl. 300	- 10 à 300	C-St	C-St	5.6 — EN 20898-1	5 — EN 20898-2
PN 40 ¹⁾ Cl. 300	- 10 à 300	C-St	C-St	6.8 — EN 20898-1	6 — EN 20898-2
PN 40 ¹⁾ Cl. 300	- 10 à 300	C-St	C-St	8.8 — EN 20898-1	8 — EN 20898-2
tous	- 10 à 450	0,25C-1Cr-Mo	C-St à temp. élevée	25CrMo4 1.7218 EN 10269	C35E 1.1181 EN 10269
tous	- 10 à 450	0,42C-1Cr-Mo	C-St à temp. élevée	42CrMo4 1.7225 EN 10269	C45E 1.1191 EN 10269
tous	- 60 à 400	0,25C-1Cr-Mo	18Cr-9Ni	25CrMo4 1.7218 EN 10269	A2-50, A2-70 — EN ISO 3506-2

(à suivre)

Tableau 1 — Classification des matériaux de boulonnerie

Matériaux de bride selon l'EN 1092-1		Matériaux de boulonnerie selon l'EN 1515-1				Classification de la résistance mécanique
Groupe	Type	Matériau/Classe de propriété	Norme	Diamètre	N° ligne	
1E0	Acier au carbone	4.6	EN ISO 898-1	Tous	01	Faible
		A4-50, A2-50	EN ISO 3506-1	<=39	16, 18	
		X5CrNiMo17-12-2 AT	EN 10269	<=160	20	
		X5CrNi18-10	EN 10269	<=160	22	
		5.6	EN ISO 898-1	Tous	02	Normale
		6.8	EN ISO 898-1	Tous	03	
		25CrMo4	EN 10269	<=100	05, 07	
		21CrMoV5-7	EN 10269	<=160	12	
		X7CrNiMoBNb16-16	EN 10269	<=160	15	
		A4-70, A2-70	EN ISO 3506-1	<=24	17, 19	
		X5CrNiMo17-12-2 AT+C	EN 10269	<=160	21	
		X5CrNi18-10 AT+C	EN 10269	<=160	23	
		8.8	EN ISO 898-1	Tous	04	Élevée
		42CrMo4	EN 10269	<=60	06, 08	
30CrNiMo8	EN 10269	<=100	09			
42CrMo5-6	EN 10269	<=100	10			
40CrMoV4-6	EN 10269	<=100	11			
20CrMoVTiB4-10	EN 10269	<=160	13			
X6NiCrTiMoVB 25-15-2	EN 10269	<=160	14			
3E0	Acier au carbone haute température	4.6	EN ISO 898-1	Tous	01	Faible
		A4-50, A2-50	EN ISO 3506-1	<=39	16, 18	
		X5CrNiMo17-12-2 AT	EN 10269	<=160	20	
		X5CrNi18-10	EN 10269	<=160	22	
		5.6	EN ISO 898-1	Tous	02	Normale
		6.8	EN ISO 898-1	Tous	03	
		25CrMo4	EN 10269	<=100	05, 07	
		21CrMoV5-7	EN 10269	<=160	12	
X6NiCrTiMoVB 25-15-2	EN 10269	<=160	14			

Travail 5 : Identification de boulons.

Avec des catalogues fournisseur,
des sites sur internet,

identifier les boulons ci-dessous,
(classe de qualité, taille, forme...)



C Comment exercer un effort de serrage sur le joint avec la boulonnerie ?

(Extrait CETIM ressources CAP1591)

De nombreux moyens de serrage sont mis à disposition des monteurs. Mais encore faut-il pouvoir le mettre en œuvre pour des raisons de poids, d'encombrement, de temps imparti pour l'opération... La précision du serrage va dépendre en premier lieu de l'outil de serrage utilisé. Cependant, l'étalonnage des matériels devra intervenir régulièrement afin de garantir les tolérances annoncées.

Pour obtenir la meilleure homogénéité possible du serrage, les paramètres appliqués à chaque boulon doit être identique.

Plusieurs méthodes sont actuellement utilisées suivant l'accessibilité, l'effort à développer, la précision recherchée.

C1 Le serrage par vissage

Il s'agit de la méthode la plus répandue et la plus simple à mettre en œuvre, mais elle ne donne pas les meilleurs résultats car de nombreux paramètres viennent influencer sur le serrage effectif.

C1.1 Moyens de serrage

Les moyens de serrage par vissage les plus couramment utilisés sont :

- la clé manuelle avec un éventuel bras de levier (à utiliser avec beaucoup de précautions)



- les clés à frapper: Clé à choc, clé à impact manuel, pneumatique ou hydraulique. Elles sont peu précises.
- la clé dynamométrique
- le multiplicateur de couple pour des dimensions de boulons supérieures à M50.
- clé hydraulique : Elle se justifie lorsque le couple à appliquer est important.



Le serrage manuel à la clé à main ou la clé à choc est en général limité à de la boulonnerie de 25mm de diamètre. Il en est de même pour l'utilisation de la clé dynamométrique.

C1.2 Incertitude du niveau de serrage appliqué

La pratique industrielle montre des dispersions importantes sur les valeurs de serrage, principalement dues aux dispersions:

- des valeurs de **coefficient de frottement au niveau des filets et sous tête**. L'effort à développer pour vaincre les frottements, donc pour faire tourner l'écrou, est d'autant plus important que les efforts de contact écrou/rondelle/bride et ceux au niveau des filets sont élevés. **Ce coefficient de frottement est très versatile et il est très difficile de fournir des valeurs types**. Néanmoins, il est possible d'affirmer que le frottement dépend :

- du lubrifiant,
- du milieu dans lequel baignent les pièces : vide, gaz (oxydant), eau, sels,
- de la rugosité et de la déformation des surfaces frottantes,
- de la température,
- de la vitesse de déplacement : un vissage régulier nécessite moins d'effort qu'un serrage par à-coups pour lequel un effort supplémentaire est nécessaire pour "décoller" et mettre en rotation l'écrou,
- de l'opérateur,
- de l'instrument,

Précision des différents moyens de serrage (selon EN 1591-1)

Méthode de serrage Méthode de contrôle	Paramètres affectant la dispersion	Incertitude sur le couple	Incertitude sur la pré charge
Clé à main / jugement de l'opérateur	Frottement, raideur des éléments, qualification de l'opérateur	± 50%	± 60%
Clé à choc	Frottement, raideur des éléments, étalonnage	± 40%	± 60%
Clé dynamométrique = clé indiquant la valeur du couple (uniquement)	Frottement, étalonnage, lubrification	± 15%	± 20%
Tendeurs hydrauliques / mesure de la pression hydraulique	Raideur des éléments, longueur des boulons, étalonnage	± 15%	± 20%
Clé ou tendeurs hydrauliques / mesure de l'allongement des boulons	Raideur des éléments, longueur des boulons, étalonnage	± 10%	± 10%
Clé. Mesure de la rotation d'écrou (serrage au voisinage de la limite d'élasticité des boulons)	Frottement, raideur des éléments, étalonnage	± 10%	± 10%
Clé. Mesure du couple et de la rotation d'écrou (serrage au voisinage de la limite d'élasticité des boulons)	Etalonnage	± 5%	± 5%

D'après Good Bolting Practice /EPRI		Assemblage avec joint	Assemblage métal métal
Serrage à la clef, à l'appréciation de l'opérateur <M25		± 100% (voir plus !)	
Au couple, avec une clef dynamométrique étalonnée	Par calcul utilisant les coefficients de frottement de la littérature	± 30% à ± 70%	± 20% à ± 40%
	Après calibration (lubrifiant, procédure,...) sur le matériel utilisé	± 20% à ± 40%	± 15% à ± 25%
Clé à choc		±60% à ± 100%	± 45% à ± 80%
Vérins hydrauliques	Avec pression vérin pour consigne	± 40% à ± 70%	± 30% à ± 50%
	Après calibration (mesure d'allongement)) sur matériel utilisé	± 20% à ± 40%	± 10% à ± 20%
Contrôle de l'allongement	Par pige	± 10% à ± 20%	± 10% à ± 20%
	Par micromètre	± 5% à ± 30%	± 5% à ± 30%
	Par ultrasons	± 2% à ± 25%	± 2% à ± 25%
Précision requise pour éviter les ennuis	Pour diamètre < 600	± 20% à ± 40%	± 15% à ± 30%
	Pour diamètre > 600	± 10% à ± 30%	± 15% à ± 30%

CE TABLEAU N'EST DONNE QU'A TITRE PUREMENT INDICATIF ET NE TIEN PAS COMPTE DE L'INFLUENCE DE LA LUBRIFICATION, REPETITIVITE DE L'OPERATEUR...

Le risque de grippage (soudure localisée) est important aux endroits les plus sollicités. On notera que les aciers inoxydables sont en général sensibles à ce phénomène. Toutes les causes susceptibles d'augmenter localement les contraintes favorisent le grippage:

- dégradation du filet,
- corps et produits étrangers,
- absence de lubrifiant,
- jeux réduits,
- efforts excessifs,
- température.

On prendra toutes les précautions pour éviter le grippage, notamment au serrage.

En effet, si l'on se fie au COUPLE nécessaire pour serrer l'écrou, on s'imaginera avoir atteint la bonne valeur de l'EFFORT de serrage, alors que le boulon ne sera pas suffisamment serré, avec les risques de fuites ultérieures que cela implique.

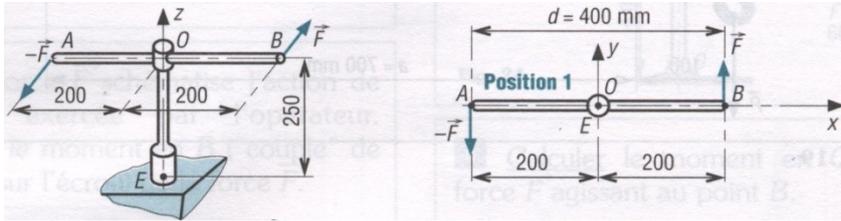
Un autre inconvénient de cette méthode est d'introduire des efforts de TORSION dans la vis.

Travail 6 : Expérimentation pour visualiser la relation Couple – Effort sur un boulon.

61 Couple (Action de deux forces opposées)

Il ne faut pas confondre le couple et le moment exercé sur une vis, même s'ils sont exprimés dans la même unité, le N.m

Dans l'exemple de la croix de serrage, le couple exercé sur l'écrou est la somme de deux moments exercés par les forces des mains gauche et droite.



Main gauche en A

Main droite en B

Bras de levier = 200mm

Couple = Force *main gauche* * bras de levier + Force *main droite* * bras de levier

Couple = Moment *en O* de Force *main gauche* + Moment *en O* de Force *main droite*

On remarque qu'avec ce type de clef, on exerce un « couple pure » sur la vis, on « n'abîme » pas la tête car l'effort de la main gauche s'annule avec celui de la main droite, ce qui n'est pas le cas avec une clef plate.



Si on exerce une force F de 15N, déterminer le couple de serrage en N.m et kg.m

62 Relation Couple – Effort sur un boulon

Expérience à l'atelier avec la clef dynamométrique et des rondelles ressort type « Belleville »

Vous avez besoin de deux boulons de taille identique, l'un complètement rouillé et l'autre, neuf et graissé. La tête de la vis est maintenue dans l'étau, vous positionnez une grande rondelle plate, puis une série de rondelle ressorts (« type Belleville ») montés en parallèle et série, puis d'autres rondelles et l'écrou.

- Vous accostez l'écrou à la main, puis mesurez la hauteur de l'ensemble des rondelles.



• Avec la clef dynamométrique étalonnée pour un couple donné, vous serrez l'ensemble jusqu'à déclenchement du couple, puis mesurez la hauteur de l'ensemble des rondelles. La variation de hauteur des rondelles ressort est proportionnelle à l'effort de serrage.

• Vous menez la deuxième expérience avec le boulon neuf graissé et les rondelles plates graissées au maximum.

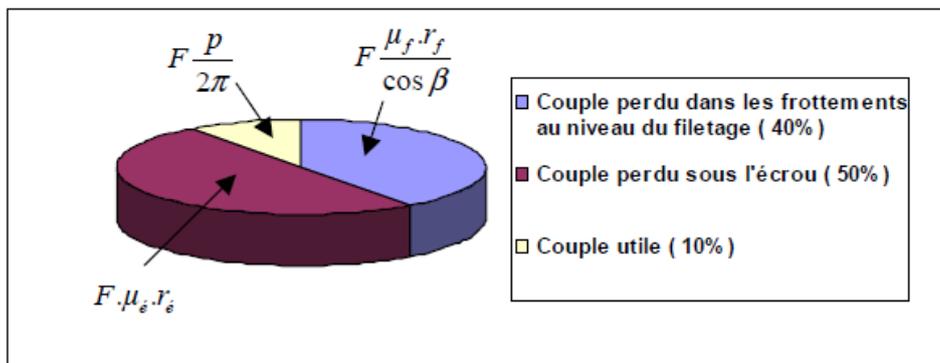


• Vous comparez les deux hauteurs et serez très surpris de la différence de serrage pour un couple donné suivant le graissage du boulon....

A retenir : Suivant le graissage des filets et des rondelles d'appui, pour un couple donné, l'effort de serrage peut perdre plus de 25%. D'où le respect des normes et la vérification des revêtements de surfaces des vis, des rondelles et des écrous.

A noter : Vous pouvez à l'aide de la documentation constructeur des rondelles ressort retrouver l'effort de serrage, pour ma part, seule la variation d'effort m'intéressait ici.

Tableau 10 : les pertes de serrage lors du serrage au couple



C1.3 Amélioration du coefficient de frottement

L'utilisation de rondelles dures graissées sous les écrous permet de réduire la dégradation des surfaces frottantes, et donc d'améliorer considérablement l'efficacité et la précision du serrage en limitant les dispersions.

La perpendicularité de la portée d'écrou par rapport à la surface de la bride est également primordiale. A ce sujet, la présence de rondelles dures sous les écrous autorise des défauts de perpendicularité plus importants.

Les serrages, desserrages répétés conduisent à une détérioration des coefficients de frottement. Dans certains cas, une bonne lubrification permet d'obtenir des efforts de serrage plus importants après plusieurs cycles de serrage – desserrage du fait du polissage et de l'écrouissage des filets.

C1.4 Estimation des efforts par la mesure du couple

Du fait de la difficulté à préciser les valeurs des coefficients de frottement, il est admis la simplification : $C = 1,2 F \cdot d \cdot \mu$

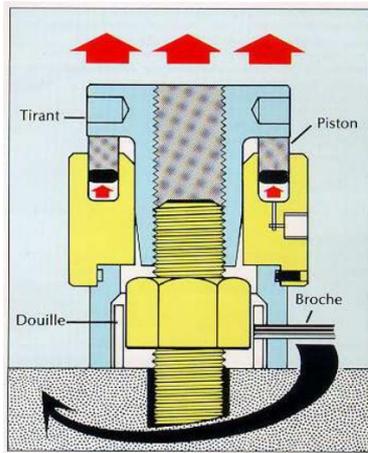
- d diamètre nominal du boulon,
- μ Coefficient de frottement supposé identique sous l'écrou et au niveau des filets.

μ	filets). Des valeurs indicatives pour μ se rapportant aux aciers austénitiques sont données ci-dessous.
	- $\mu=0.10$ à 0.15 pour des surfaces lisses et lubrifiées
	- $\mu=0.15$ à 0.25 pour des conditions moyennes « standard »
	- $\mu=0.20$ à 0.35 pour des surfaces rugueuses non lubrifiées

C2 Le serrage par tendeurs hydrauliques

Ce type de montage est généralement réalisé au moyen d'un tendeur hydraulique qui permet de s'affranchir de la charge sur l'écrou. Il convient donc tout particulièrement au serrage de gros boulons pour lesquels les valeurs du couple deviennent gigantesques. La vis sert uniquement au maintien de l'allongement et non plus à l'opération de serrage proprement dite. Le grippage est pratiquement éliminé puisque le vissage se fait hors charge.

L'utilisation de tendeurs implique que la tige filetée dépasse d'au moins l'équivalent d'un diamètre de boulon pour pouvoir fixer le tendeur.



Il consiste à tendre la vis avec un effort connu, à mettre en place l'écrou contre l'assemblage et à relâcher la tension de la vis. Pour anticiper l'adaptation des filets et l'assise de l'écrou, ainsi que la différence de longueur tendue après annulation de la pression dans le vérin, la pression dans le tendeur doit être portée à environ 130% de la pression théoriquement nécessaire pour étirer le boulon à la valeur requise. La recherche de la tension à imposer pour obtenir la charge requise devra être recherchée expérimentalement pour maîtriser les problèmes de plastification lors de la mise en place. Pour les montages de joint sans limiteur d'écrasement, ce sur-serrage est intéressant pour la compacité du joint, donc pour son étanchéité intrinsèque. Il faudra toutefois s'assurer que le joint peut supporter cette sur-contrainte.

C3 Dilatation des boulons par cannes chauffantes

Comme la mise en tension par tendeur hydraulique, cette méthode convient lorsque les couples à appliquer sont énormes. L'allongement est obtenu par dilatation thermique du boulon. L'allongement par dilatation thermique est bien inférieur à l'écrasement du joint, et de nombreuses passes de chauffe sont alors nécessaires.

En comparaison avec l'étirement par vérins, de nouveaux paramètres interviennent dans le calcul de la dilatation à donner à la boulonnerie. En plus de l'allongement théoriquement nécessaire, de l'adaptation des filets et de l'assise de l'écrou, il faut tenir compte de l'écrasement du joint, de son fluage et de la déformation des brides.

Des essais sont nécessaires afin de déterminer le temps de chauffe, mais ils ne dispensent pas du contrôle final.

C4 Serrage à l'angle ou méthode dite "tour d'écrou"

Cette méthode développée dans le cadre de la construction métallique consiste à imposer un pré couple sur le boulon, en général 0,4 fois le couple de serrage recommandé et à tourner l'écrou d'un certain angle, en remarquant qu'un tour d'écrou allonge la vis de la valeur du pas. Ce premier serrage doit s'effectuer suivant la méthode classique de serrage en croix.

Cependant, du fait de la déformation de l'assemblage, cet allongement est inférieur à cette valeur théorique. L'assise de l'écrou, l'adaptation des filets, l'écrasement du joint, la déformation de l'assemblage sont autant de paramètres qui modifient l'effort de serrage.

Cette méthode nécessite naturellement des étalonnages préalables. Basée sur la relation pas du filetage / allongement du boulon / pré charge, cette technique donne, d'après ses utilisateurs, une précision meilleure que le serrage traditionnel par couple.

C5 Les moyens de contrôle

Il faut bien évidemment associer au moyen de serrage un moyen de contrôle du serrage appliqué. Mis en œuvre pendant l'opération de serrage, il permet de mieux contrôler cette phase et d'atteindre plus sûrement un meilleur résultat.

Certains de ces moyens de contrôle sont associés au moyen de serrage (clé à cliquet, tendeurs hydrauliques,...). On contrôle alors directement le couple de manœuvre appliqué, la pression hydraulique, l'angle de vissage de l'écrou. Dans le domaine des clés dynamométriques ou des visseuses, on trouve actuellement sur le marché des outils précis équipés de moyens de visualisation et de contrôle fiables. Par contre, la dispersion des valeurs de frottement, entache les résultats d'imprécisions. L'orientation est aujourd'hui l'utilisation de capteurs à jauges permettant d'imposer au boulon un couple dans une fourchette précise, sans dispenser pour autant d'étalonnages périodiques. Ces étalonnages devront si possible être effectués sur un dispositif proche de l'assemblage réel de préférence par vérification de la pré-charge.

Les autres moyens de contrôle sont basés sur la mesure de l'allongement de la tige sous l'effet du serrage appliqué. De la façon dont on mesurera cet allongement dépendra la précision de la mesure du serrage. On utilise, au choix, le comparateur, le boulon "pigé", les jauges de déformations, le contrôle par ultra sons. Le contrôle de l'allongement de la vis est aujourd'hui la méthode la plus satisfaisante pour apprécier le serrage exercé par un boulon. La contrainte dans le boulon se déduit simplement à l'aide de la loi de Hooke.

Nous ne parlerons pas du dynamomètre placé sous l'écrou, ni des rondelles piézoélectriques qui demeurent des solutions de laboratoire et qui s'avèrent onéreuses.

C5.1 Mesure de l'allongement du boulon

Il est admis que cette méthode est la plus précise.

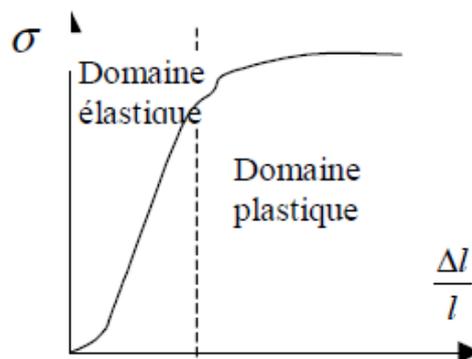
C5.1.1 Loi de Hooke et module d'élasticité

La loi de déformation élastique, ou loi de Hooke, relie la contrainte à l'allongement relatif par un coefficient E appelé module d'élasticité ou module de Young.

$$\sigma = \frac{F}{S} = E \cdot \frac{\Delta l}{l}$$

où

- F est l'effort de traction (en N)
- S est la section résistante (en mm²)
- σ est la contrainte (en MPa)
- E est le module d'élasticité (en MPa)
- Δl est l'allongement dû à l'effort F (en mm)
- l est la longueur soumise à l'effort (en mm)



Il faut noter que le module d'élasticité diminue avec la température.

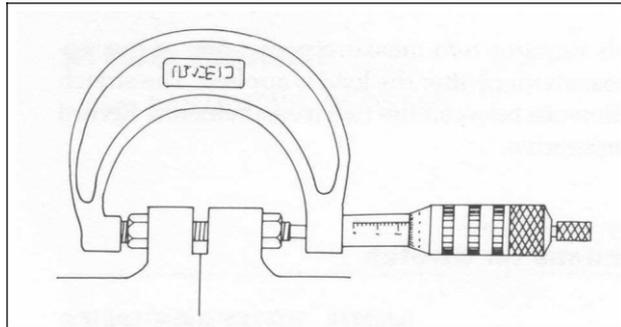
Il faut noter que l'allongement par dilatation thermique n'est pas négligeable par rapport à l'allongement sous charge : les aciers couramment utilisés s'allongent de 2/100 mm pour 10°C et pour un boulon de 100 mm. Cela représente environ 10% de l'allongement provoqué par le serrage. Il faudra donc veiller à ce que la température soit sensiblement la même lors de toutes les mesures. On prendra également garde à la diminution du module de Young lorsque l'assemblage est soumis à la température.

Certaines règles doivent être observées pour la caractérisation des paramètres indiqués dans la loi de Hooke :

- La section résistante est égale à la moyenne de la section du noyau et de la section à flanc de filet.
- On considère que la tête de vis, et la hauteur de l'écrou participent pour moitié de leur hauteur à la longueur soumise à l'effort. Il en est de même pour un goujon engagé dans un taraudage. Toute la longueur entre la tête de vis et l'écrou est comptabilisée pour la longueur soumise à l'effort.

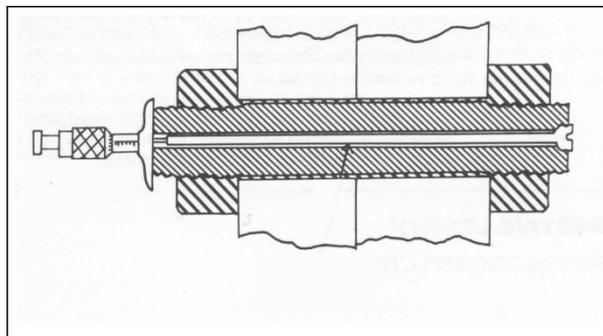
C5.1.2 Utilisation d'un micromètre

Lorsque les deux extrémités du boulon sont accessibles, on peut mesurer sa longueur à l'aide d'un palmer à touches plates ou d'un comparateur. On aura évidemment pris soin d'étalonner l'appareil. Plusieurs mesures doivent être faites pour éviter une seule mesure incorrecte due au défaut de planéité des extrémités.



C5.1.3 Utilisation d'une jauge de profondeur

Ce contrôle a posteriori nécessite des vis spéciale permettant une mesure d'allongement à l'aide d'un micromètre de profondeur. Il s'agit en général de vis creuses de gros diamètre.



La mesure d'allongement s'effectue entre la tête et l'extrémité du perçage. Cette méthode est utilisée pour les gros boulons. Compte tenu des faibles déformations, un étalonnage précis est nécessaire, et malgré toutes les précautions, son application reste délicate.

C5.1.4 Boulonnerie « pigée »

Nous décrivons ci-après la procédure d'une variante plus courante et plus aisée avec vis "pigées" et nu comparateur :

Pour aller plus vite, et si l'on a une bonne idée du couple réel nécessaire pour serrer les boulons à leur valeur nominale, on peut effectuer les deux premières passes à l'aide de la clef dynamométrique seule, et ne prendre en compte l'allongement des goujons qu'à partir de la troisième passe.

Le "zéro" du comparateur sera réglé sur le bout d'une vis non pigée, ce qui correspond au cas où la pige vient juste affleurer le bout de la vis (cas d'une vis neuve dont le bout a été rectifié).

Avant de commencer le serrage, les boulons étant libres, on mesurera et on notera la valeur de l'enfoncement de chacune des piges (si la pige affleure bien le bout de la vis, le comparateur doit indiquer "0"). Ces valeurs seront notées et conservées, ce qui permettra de connaître ultérieurement la valeur du serrage de ces boulons.

Si l'on possède autant de comparateurs que de boulons, on pourra les installer sur chacune des vis et les régler au départ pour qu'ils indiquent "zéro" pour serrage nul. On pourra ainsi lire directement la valeur de l'allongement des boulons lors du serrage. Mais il n'est jamais inutile de mesurer et de conserver la valeur de l'enfoncement initial de la pige, le comparateur n'étant jamais à l'abri d'un choc qui le dérèglera (on! n'aurait alors aucune référence pour connaître le serrage).

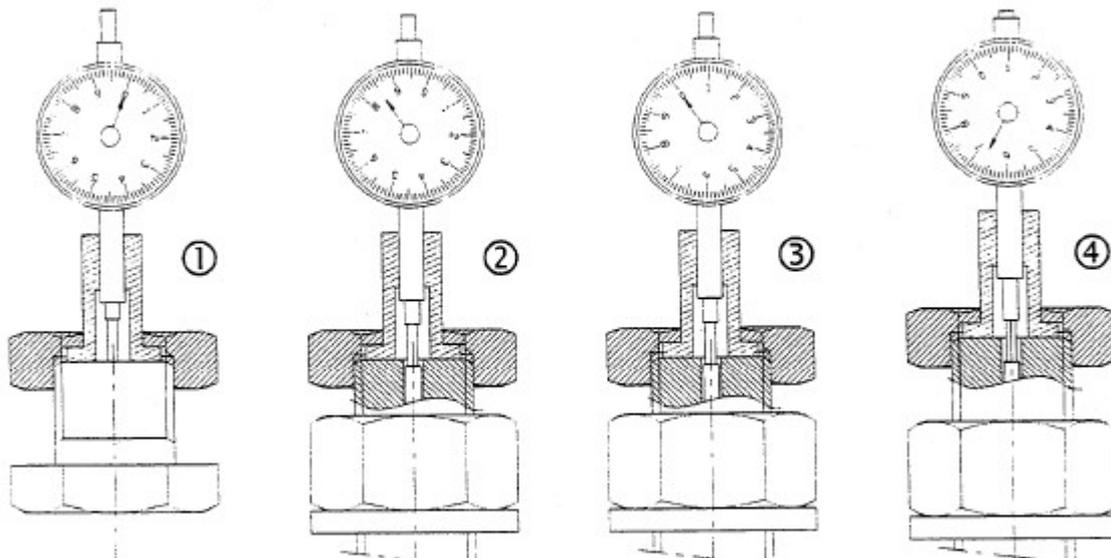


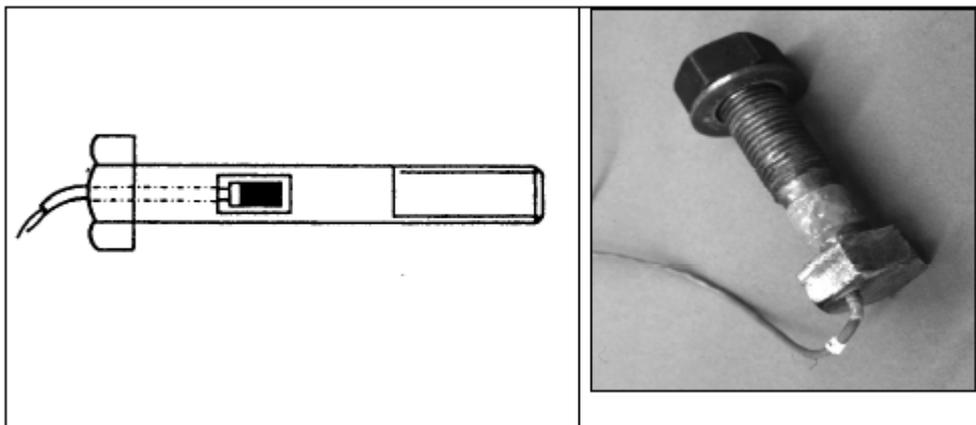
Figure 15 : Exemple d'utilisation de boulonnerie « pigée »

L'allongement des boulons doit faire l'objet d'une tolérance à définir en fonction de la précision souhaitée. Par exemple, la tolérance sur l'allongement du boulon que l'on s'accorde habituellement dans les centrales EDF est de l'ordre de ± 10 à 15% : par exemple 15 centièmes ± 2 centièmes de millimètre. Au-delà, le serrage du boulon doit être repris, et le serrage des boulons voisins vérifiés après cette reprise.

Lors du brasage de la pige, la tige fileté subit localement un échauffement qui nuit au frottement de l'écrou. On aura donc intérêt à serrer l'écrou qui se trouve du côté opposé. Pour des mesures en température, on aura avantage à choisir une pige du même matériau pour éviter les dilatations différentielles avec le corps du boulon. Cela ne dispense néanmoins pas d'apporter les corrections sur le module de Young.

C5.1.5 Contrôle par jauges de déformations

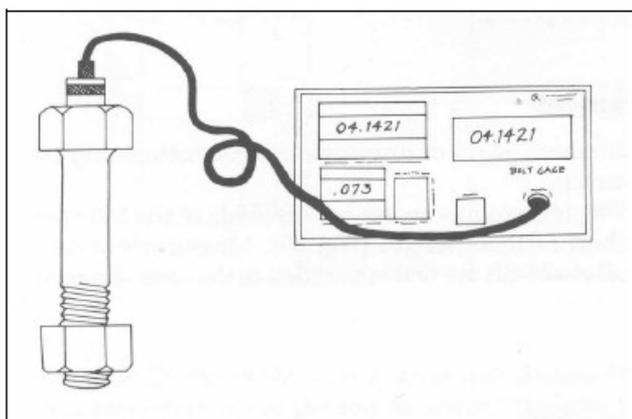
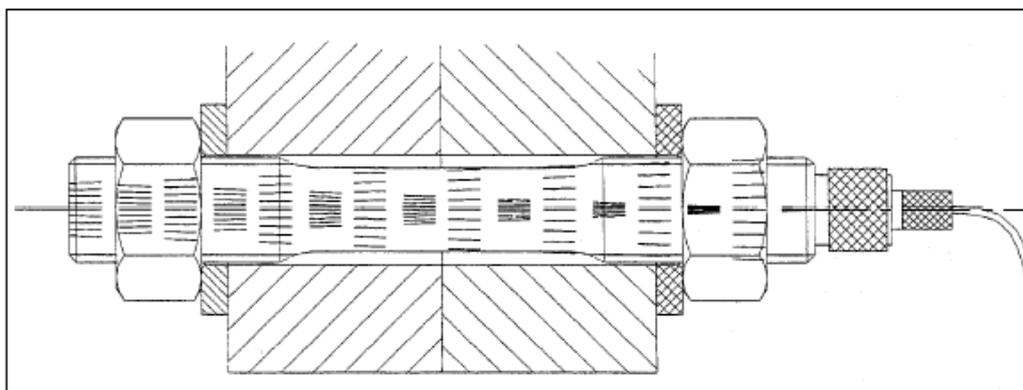
Ce moyen de contrôle onéreux peut servir pour l'étalonnage des moyens de serrage ou éventuellement être utilisé dans le cadre de la fabrication. Il consiste à instrumenter la partie lisse du corps de la vis au moyen de jauges de déformations (cf photo ci-dessous) dont les fils doivent ressortir par la tête de vis.



Cette technique classique en résistance des matériaux permet suivant le nombre de jauges et leur orientation de mesurer les déformations dues à la traction, à la torsion ou à d'éventuelles flexions, et donc de remonter aux contraintes, efforts et moments correspondants, en séparant chacun des paramètres.

C5.1.6 Contrôle de la pré-charge par ultrasons

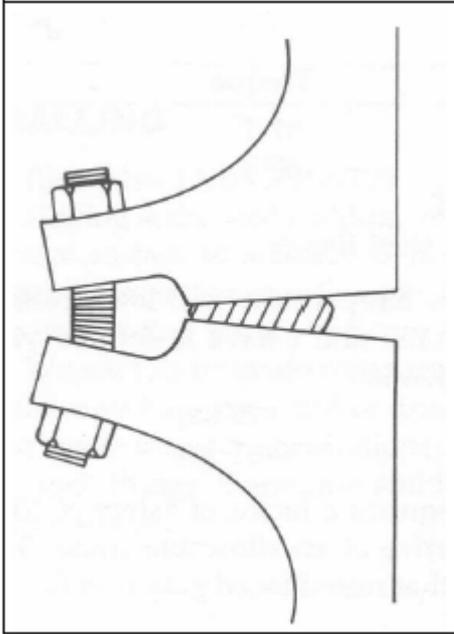
Il s'agit d'un équipement lourd qui est difficile à mettre en œuvre en situation industrielle. La méthode consiste à transmettre une onde ultrasonore à l'aide d'un transducteur (émetteur) placé sur une extrémité libre de la boulonnerie. Cette onde se réfléchit sur la face opposée au palpage et est enregistrée en retour par le transducteur fonctionnant à cet instant en récepteur.



Cette méthode de la mesure de la pré-charge est basée sur la variation du temps de parcours d'une onde ultrasonore au sein de la boulonnerie sur un aller-retour entre l'émetteur de l'onde et l'extrémité de la vis. L'écho se produit d'autant plus tardivement que l'allongement de la vis est important (accroissement du parcours).

Ce phénomène est accentué par l'état de contrainte au sein de l'élément : la vitesse des ondes longitudinales diminue lorsqu'on introduit une contrainte de traction de même direction que celle de propagation des ondes.

La flexion de la boulonnerie associée à la rotation (mise en parapluie) des bruits peut conduire à la perte du signal ultrasonore donc à une impossibilité de mesure.



Le matériau et la température sont également des paramètres qui viennent influencer sur la propagation de l'onde, donc sur le résultat. Cette technique pointue ne doit pas faire oublier qu'elle est plus que toute autre sujette à de nombreux paramètres, et peut donner des résultats totalement erronés si des précautions ne sont pas prises.

La variation de temps de parcours, notée dT , est une fonction linéaire de la tension de serrage. A noter que les contraintes de cisaillement et de torsion dans la vis n'influencent pas le temps dT mesuré.

C6 La certification des monteurs

C6.1 La démarche globale

Face aux nombreuses défaillances de joints rencontrées lors des redémarrages d'installations, ou encore suite au bouleversement des habitudes entraîné par l'interdiction de l'amiante, certaines sociétés ont réagi à l'emploi de personnel non qualifié en dispensant une formation sanctionnée par un certificat pour leur personnel "jointeur". Ce certificat autorise le personnel attesté à intervenir sur les installations des neuf sociétés regroupées pour la circonstance.

Le programme comporte une épreuve théorique, où des questions d'ordre Sécurité côtoient les questions techniques, et une épreuve pratique consistant à effectuer la dépose d'un vieux joint et le remontage d'un joint neuf. A la fin des épreuves, une carte personnelle "certification jointage" est délivrée au candidat ayant satisfait aux critères. Cette carte est à durée indéterminée, mais elle peut être retirée si une fuite est constatée alors qu'il est établi que la cause provient du montage.

Le monteur d'un assemblage doit apposer sur l'assemblage boulonné une étiquette renseignée permettant de l'identifier. Cette pratique permet de responsabiliser le monteur.

C6.2 Exemples de diapositives « chocs » proposées en formation

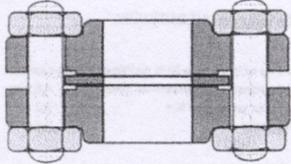
Certification et recyclage
Joint et brides
Qualité et sécurité
Des interventions techniques
Sur sites industriels



Joint serré

La dimension du joint :

- Elle est déterminée par le diamètre de la bride et de la série.
- Si le joint est mal centré, c'est qu'il n'est pas du bon diamètre ou de la bonne série.



Serrage du joint :

C'est une opération très importante pour obtenir l'étanchéité.
 Le serrage doit être réparti équitablement sur chaque tige de la bride.

Il faut savoir que la force de serrage d'un joint doit être comprise entre :

- un minimum déterminé par la pression du fluide dans la tuyauterie,
- un maximum suivant la température.

- Les liquides exigent un serrage moins élevé que le gaz.
- Un joint mince assure une meilleure fiabilité.



Serrage minimum :

Il est déterminé par la pression.

Il faut prendre aussi en considération ce que l'on appelle "l'Effet de Fond".

- Quand on met en pression une ligne ou une capacité, l'ensemble est soumis à une force qui tend à desserrer le joint et générer une fuite.
- Dans le cas du serrage minimum, il faudra tenir compte de cet élément et augmenter la force de serrage minimum pour que le joint soit étanche. Sinon, il faudra resserrer en cas de fuite.

Serrage maximum admissible :

- Il faut tenir compte de l'épaisseur du joint.
- C'est surtout la température du fluide qui conditionne le serrage maximum admissible.
- Une faible température permet un serrage plus important.

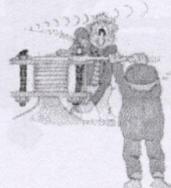
Le dépassement de la contrainte maximum détruit l'élasticité du joint qui risque de fuir.

Nous devons donc assurer une fourchette de serrage entre :

- la contrainte minimum de serrage c'est-à-dire l'Effet de Fond et
- la contrainte maximum.

Voyons maintenant les variations du serrage par Effet de Fond :

- Serrage au montage (manuel sans contrôle)
- Mise en service, le serrage diminue - serrage insuffisant = fuite
- Serrage en service (manuel sans contrôle) serrage adapté = pas de fuite
- Arrêt de l'installation, le serrage augmente
- Destruction du joint, serrage > maxi admissible
- Mise en route, le serrage diminue, serrage correct mais joint détérioré



LES OPERATIONS DE JOINTAGE

La Préparation :

Pour connaître l'opération à effectuer, vous avez lu votre bon de travail ou demande d'intervention.

Il vous sera remis avec le BT :

- un "permis de travail" et/ou de feu,
- une attestation de consignation,
- un plan de prévention,
- une gamme ou procédure d'intervention.

Le permis de travail vous indiquera le travail à exécuter, les conditions d'exécution, les risques particuliers et les précautions à prendre.

L'attestation de consignation vous confirmera la mise en sécurité de l'installation.

Le plan de prévention vous désignera les risques d'interférence et citera les mesures de prévention à respecter.

LES OPERATIONS DE JOINTAGE (suite)

Le matériel de sécurité :

- les vêtements adéquats (chaussures de sécurité, combinaison,...)
- les lunettes de sécurité ou visière si nécessaire (voir permis de travail)
- les gants de protection
- le casque de protection
- et tout autre équipement de protection stipulé sur le permis de travail

Après l'organisation et la mise en sécurité du chantier, il faudra préparer les pièces de remplacement et l'outillage :



LES OPERATIONS DE JOINTAGE (suite)

Préparation du joint :

- nature
- dimensions, série

vous devez vérifier : l'état du joint

- l'état de la boulonnerie

vous devez préparer : l'outillage

- le matériel de remplacement

Parmi l'outillage indispensable, il faut :

- des clés appropriées (plate - pipe)
- un coin ou écarteur de brides
- une massette
- un grattoir pour nettoyage des brides
- une brosse métallique
- une broche
- un pinceau avec boîte de graisse
- un jeu de cales ou un pied à coulisse au 1/10e pour les joints spiralés

LES OPERATIONS DE JOINTAGE (suite)

Le matériel de remplacement :

Joint :

- ✓ Le joint de remplacement sera de la même qualité que celui remplacé sauf indication contraire.
- ✓ Le diamètre et la série sont en principe indiqués sur le côté de la bride.

S'assurer de la bonne qualité du joint :

- défauts sur joint élastomère
- soudure des spires sur joints spiralés
- martelage ou bavure sur joint R.T.J.
- Tiges et écrous :

- ✓ Prendre la précaution d'emmener quelques tiges et écrous de remplacement du diamètre et de la longueur appropriés.



La Dépose

C'est l'opération la plus dangereuse :

Même lorsque toutes les garanties ont été prises, quand vous intervenez sur une bride en raffinerie ou sur site pétrochimique, il faut toujours vous dire :

- il y a du produit dans la ligne
- ce produit est en pression
- Prendre toujours les mêmes précautions, soit :
 - avoir le vent dans le dos
 - ne jamais se placer dans l'axe des brides
 - desserrer la première tige à l'opposé de sa position
 - ne jamais desserrer la tige de dessous en premier



Desserrer toutes les tiges et écarter les brides pour s'assurer que la ligne est bien vide.

Lorsque les tiges sont enlevées en totalité ou partiellement, écarter les brides pour vérifier et nettoyer les portées.

La Dépose (suite)

Le joint abîmé doit être examiné avant d'être jeté, son aspect peut donner une indication sur l'état des portées :

- manque de particules sur un joint en élastomère
- striures sur un joint spiralé
- bavures ou martelage sur un joint R.T.J.

En cas d'anomalies constatées, il est indispensable de prévenir le superviseur qui décidera de la suite à donner.



La Pose

- Les portées ont été nettoyées et vérifiées avec un grattoir ou une brosse métallique.
- Il faut ensuite approcher les brides et s'assurer qu'elles sont parallèles, cette vérification est très importante pour les joints spiralés.
- Vérifier la concentricité.
- En cas d'anomalie, prévenir le superviseur avant de monter le joint.
- Mettre en place 3 ou 4 tiges pour que le joint se centre correctement. La face plane de l'écrou doit être du côté de la bride.
- Avant d'introduire le joint, s'assurer qu'il est en bon état et bien propre, la moindre bavure ou particule sur la surface de portée peut nuire à l'étanchéité.

La Pose (suite)

- Toutes les tiges doivent être graissées sauf spécifications particulières (exemple : pas de graissage sur l'oxygène).
Le graissage facilite le serrage et surtout évite la rouille.
- Approcher tous les écrous à la main puis commencer le serrage. Procéder toujours en croix en passant par le centre quel que soit le nombre de tiges.
- Serrer les tiges à la main, en exerçant une pression sur chacune d'elles.
- La longueur des clés pour chaque diamètre d'écrou est différente et calculée pour qu'un homme de force moyenne puisse obtenir un serrage sans forcer avec excès.

Rappelez-vous du serrage minimum et du serrage maximum.
Plusieurs passes sont nécessaires pour obtenir un bon serrage.



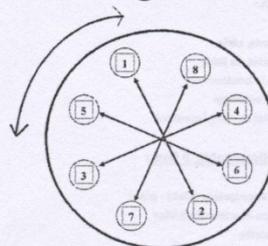
Cas des joints spiralés :

Approcher les brides jusqu'à la limite de l'épaisseur des spires.



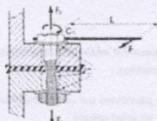
- Mesurer à l'aide d'un jeu de cales ou d'un pied à coulisse l'écartement des brides et le parallélisme.
- Faire une première passe puis contrôler la cote et le parallélisme.
- N'oubliez pas qu'un joint spiralé ne se serre qu'à 30% de l'épaisseur, soit environ 1,5 mm.
- Lorsque la cote de serrage est obtenue, s'assurer que toutes les tiges sont serrées mais sans forcer pour éviter d'écraser le joint plus que la cote prévue.
- Rappelez vous :
on monte un joint
on ajuste un joint spiralé
- Comme nous l'avons déjà vu, le serrage d'un joint est une des phases les plus importantes pour obtenir l'étanchéité.

Le Serrage en Croix



Démarrer dans le 1/4 de cercle du haut et mettre tous les impairs du même côté

Le Serrage Contrôlé



- F : force appliquée sur la clé
- L : distance d'application de la force de serrage par rapport à l'axe
- Cs : couple de serrage d'un boulon = $F \times L$ (unité : Newton mètre Nm)
- Fo : coefficient de frottement lié au revêtement (bruni, zingué...), à l'état de surface des filets et à la lubrification



L'Épreuve - Le Contrôle

- Il est possible de contrôler le bon serrage des tiges en frappant au marteau le bout des tiges.
- Une tige insuffisamment serrée donne un bruit caractéristique et l'écrou se desserre.
- Cette méthode est plus efficace que la frappe au marteau sur l'écrou qui même bien serré peut se desserrer (surtout sur un joint spiralé).
- Contrôle de la dimension du joint.
- Normalement, le diamètre extérieur du joint doit effleurer chaque tige.

L'épreuve peut s'effectuer soit :

- à l'azote
- à la vapeur
- à l'air
- avec le produit véhiculé.

Dans tous les cas, il existe des tolérances de fuite normalisées mais très faibles et calculées suivant la qualité du joint.

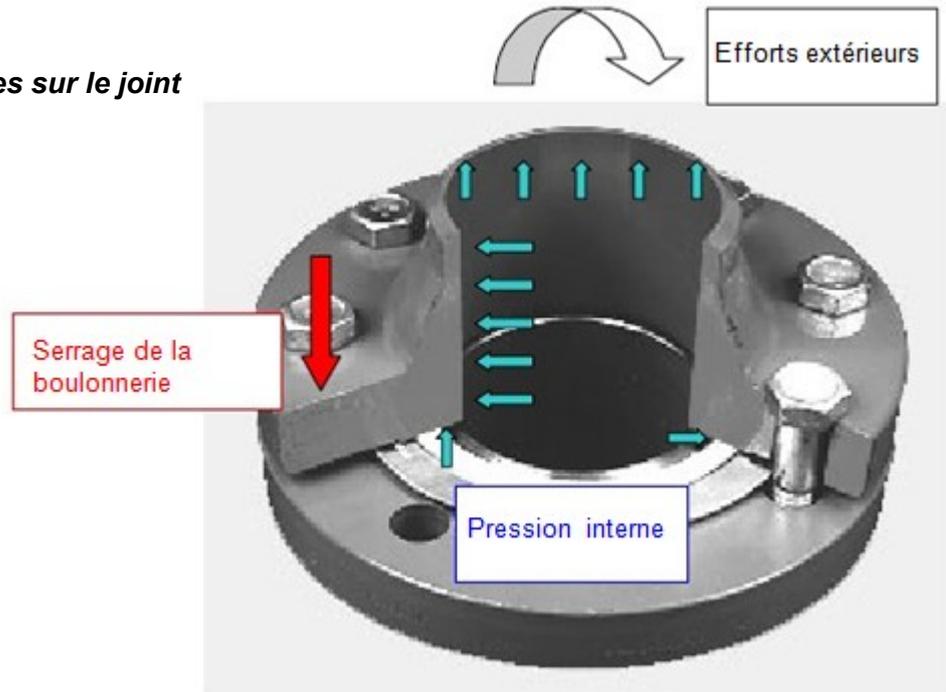


D Calculs

D1 Généralités (Extrait CETIM ressources CAP1591)

Ce chapitre présente les notions nécessaires à la définition d'un assemblage boulonné avec joint. Il définit les caractéristiques mécaniques intrinsèques du joint, les efforts et contraintes à prendre en compte, la température.

D1.1 Actions mécaniques sur le joint



Une fois assemblé, un assemblage à brides avec joint d'étanchéité 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.

Le serrage initial va conditionner la durée de vie du joint.

Il faut trouver un compromis entre :

- Un effort initial de serrage élevé qui autorise un bon niveau d'étanchéité à l'assise mais aussi, ensuite, des niveaux de desserrage important sans perte d'étanchéité en service, ceci pour compenser le phénomène de **fluage relaxation** de l'assemblage.
- Un effort initial qui soit inférieur au niveau de serrage admissible par le joint à l'**assise** mais aussi au niveau de **serrage maximal admissible en service**.
- Un effort initial qui soit le plus uniformément réparti sur le joint pour assurer un serrage le plus uniforme possible, gage d'une bonne étanchéité.

Souvent le serrage initial contribue à rapprocher des brides à cause :

- Des défauts d'alignement de la tuyauterie
- Des défauts de parallélisme des portées de brides

L'effort radial lié à la pression

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.

L'effort radial de la pression tend également à mettre en parapluie les brides.

Les efforts extérieurs

Les assemblages sont en général soumis à des efforts extérieurs qui sont liés :

- Au défaut d'alignement des tuyauteries
- Au non parallélisme des portés,
- Aux dilatations différentielles liées aux températures de Process.

ON MINIMISERA LEURS EFFETS EN PRENANT LE PLUS GRAND SOIN AU MONTAGE ET AU SERRAGE DU JOINT.

Les études menées au CETIM (dans le cadre des travaux confiés par la commission Chaudronnerie tuyauterie) ont montré que dans une très grande majorité de cas, les efforts extérieurs n'ont que peu d'influence sur le comportement à l'étanchéité de l'assemblage si le joint est correctement monté.

D1.2 Caractéristiques du joint

D1.2.1 Epaisseur

Plus l'épaisseur du joint est faible, meilleurs seront la compression, le fluage, l'étanchéité et plus faible sera l'effet de la température.

Par contre, l'épaisseur permet de compenser les défauts de surface et les défauts de parallélisme des portées.

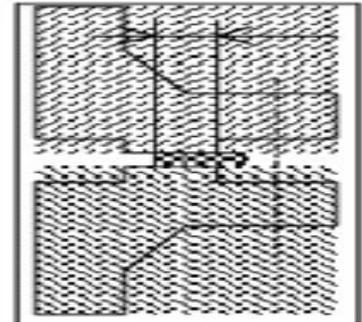
Les joints à base d'amiante pouvaient être utilisés en forte épaisseur (5 mm et plus). Désormais, avec les joints à base de nouvelles fibres, il convient d'être prudent au delà de 2 mm, particulièrement pour les joints montés sur des brides à faces surélevées.

Pour les joints montés en gorge, par exemple les joints spiralés, on recherche le contact métal/métal au niveau des brides afin de délester le joint des efforts extérieurs. L'épaisseur après serrage correspond donc à la profondeur de la gorge. Le joint est alors tenu latéralement, et il est donc moins sensible au paramètre épaisseur.

D1.2.2 Largeur

Il semble difficile de parler de largeur d'un joint sans parler de la bride associée. La largeur à prendre en compte dans la conception du joint doit être la largeur en contact avec les portées afin de calculer la pression de contact. De plus, la largeur agit sur la répartition de l'équilibre des forces.

Il paraît très critiquable de jouer sur la largeur du joint, en la réduisant par exemple, pour augmenter la pression de contact sous prétexte que l'on ne peut pas modifier la boulonnerie et l'effort de serrage. Cela peut conduire très rapidement à la destruction du joint. Cela peut sembler efficace a priori, mais l'étanchéité n'est réalisée que sur une faible largeur et le risque est grand.



D1.2.3 Compressibilité

Afin de comparer le comportement en compression de différents types de joints, l'écrasement est rapporté à l'épaisseur initiale du joint pour donner la compressibilité exprimée en %. C'est le rapport entre l'écrasement du joint Δh et son épaisseur initiale.

$$\text{Compressibilité (\%)} = \Delta h / 100$$

La compressibilité est un paramètre important, souvent oublié dans les procédures d'essais (notamment l'EN 13555). Les joints à base de graphite ou de PTFE peuvent avoir des compressibilités supérieures à 50%. Il faut en tenir compte dans le montage d'une tuyauterie qui inclue plusieurs assemblages.

D1.2.4 Fluage

Il s'agit de la variation d'épaisseur du joint lorsque l'on maintient l'effort de serrage constant. Le fluage se manifeste pendant le serrage, mais il est surtout perceptible dès la fin du serrage. Il évolue dans le temps et dépend notamment de la température.

L'essentiel du fluage d'un joint se situe dans l'heure qui suit le serrage. Un resserrage deux heures environ après le serrage initial permet de compenser la perte de serrage. Dans ce cas, le fluage est très atténué. On notera :

- h_f l'épaisseur du joint après la période de fluage à température ambiante
- Δh_f la variation d'épaisseur due au fluage.

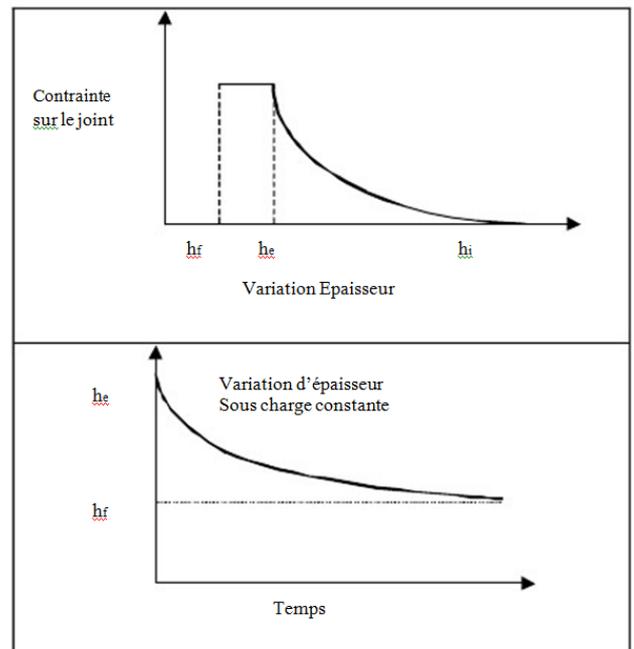
$$\Delta h_f = h_e - h_f$$

Pour comparer le fluage de différents joints, on définit le taux de fluage en % comme le rapport entre le Δh_f et l'épaisseur initiale du joint h_i :

$$\text{Taux de fluage (en \%)} : (\Delta h_f / h_i) \times 100$$

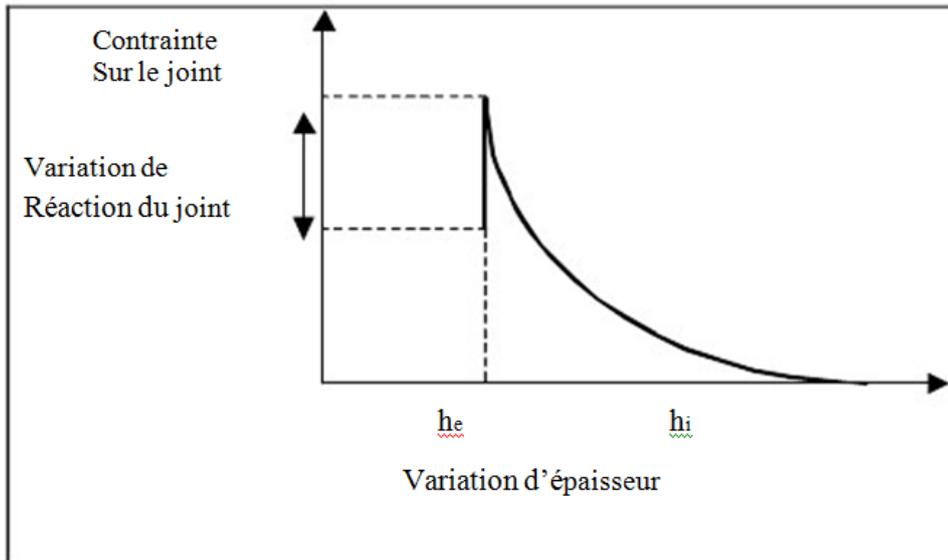
La notion de température limite est difficile à établir car s'il est des joints, notamment à base de fibres, qui se détruisent brutalement, d'autres, tels que les PTFE, continuent à s'écraser et la notion de destruction est difficile à préciser.

L'essai de fluage en température est simple, rapide, et permet d'éliminer rapidement les produits inadaptés.



D1.2.5 Relaxation

C'est la variation de la réaction du joint sur la portée de bride quand l'épaisseur du joint est maintenue constante.



La relaxation pure concerne essentiellement les joints utilisés en contact métal/métal (joints en gorge ou entre anneaux spécialement conçus pour le contact métal/métal).

D1.2.6 Fluage - Relaxation

En application industrielle, le joint subit un effet combiné de fluage et de relaxation, excepté s'il est monté en contact métal/métal.

Il en résulte, en général, un desserrage du joint.

Le resserrage une à deux heures après le serrage initial est préconisé afin de compenser le desserrage lié au phénomène de fluage relaxation.

On peut aussi utiliser des rondelles élastiques de type "Belleville" pour maintenir un effort constant dans le temps (live loading). On obtient dans ce cas du fluage pur, les rondelles assurant un serrage constant.

Le type du joint utilisé et le phénomène de fluage relaxation lié au caractère visco-plastique des matériaux constitutifs. La plupart des joints, sous un serrage donné, un écartement donné des boulons, continuent de s'écraser. Cela a pour conséquence, dans la plupart du temps, un desserrage du joint et donc des risques de perte d'étanchéité.

Pour essayer de compenser cette perte de serrage on utilise souvent des rondelles élastiques chargées d'assurer le « rattrapage » des déformations de l'assemblage pour maintenir un effort constant.

Mais le plus souvent, le serrage de la boulonnerie dépendra du montage du joint et du soin apporté à l'installation du joint.

D1.3 Situation d'Assise

Par définition il s'agit de l'effort de serrage initial à température ambiante.

•La méthode Taylor Forge, à la base du code ASME, du CODAP, du CODETI définit la pression d'assise par les paramètres « y » ou « Pa » qui ne font pas référence à l'étanchéité.

•Dans la norme de calcul EN1591, on peut assimiler Q_{min} comme la pression d'assise du joint en se référant à une classe d'étanchéité et à une pression de fluide.

La contrainte à l'assise doit prendre en compte la contrainte maximale admissible sur le joint en température.

D1.4 L'effet de fond

Dans des conditions de service normales, la pression sur le joint sera modifiée par l'effet de la pression dans l'axe de la tuyauterie ou des boulons qui est la force produite par la pression interne qui tend.

- à séparer les brides
- à faire tourner les brides (mise en parapluie)

C'est l'action de la pression interne du fluide qui s'exerce sur la surface calculée à partir du diamètre interne du joint, créant un effort qui s'oppose à l'effort de serrage.

Cet effet de fond se calcule, traditionnellement, de la manière suivante :

$$A_f = \pi D_i^2 / 4$$

$$F_{\text{fond}} = p \times A_f$$

- A_f est la surface sur laquelle s'applique l'effet de fond
- D_i est le diamètre intérieur de la surface commune à la bride et au joint
- p est la pression interne du fluide

Le diamètre D_i est très souvent remplacé par le diamètre moyen de la surface commune à la bride et au joint. Cependant, l'effet de fond se manifeste de deux façons possibles, selon que l'on est en présence de brides DIN ou ANSI. Dans le cas des brides ANSI, relativement rigides, l'effet de fond aura tendance à décharger le joint. Avec les brides DIN, plus flexibles, l'effet de fond peut accentuer la rotation des brides, et ainsi décharger la partie interne du joint et sur serrer la partie externe.

D1.5 Serrage en service

C'est l'effort de serrage qui doit subsister sur le joint en condition de service pour maintenir l'étanchéité requise. Il dépend

- de l'effort de serrage initial appliqué
- du type de joint.

La valeur de l'effort minimal à ne pas dépasser est définie par le paramètre Q_{min} dans la norme EN13555.

La méthode Taylor Forge utilise le **paramètre « m »** comme coefficient permettant de prendre en compte la pression de service.

Elle prend en considération l'effet de fluage relaxation, les efforts extérieurs, les effets de dilatations thermiques ...

D1.6 Contrainte de serrage, pression de contact au niveau du joint

C'est le rapport entre l'effort de serrage F appliqué en général par la boulonnerie divisé par la surface active du joint A_g .

- A_g est la surface de contact commune au joint et à la bride.

$$A_g = \pi / 4 \times (D_e^2 - D_i^2)$$

- D_e est le diamètre externe de la surface de contact commune à la bride et au joint
- D_i est le diamètre interne de la surface de contact commune à la bride et au joint

On calcule alors la contrainte de serrage :

$$\sigma = F / A_g$$

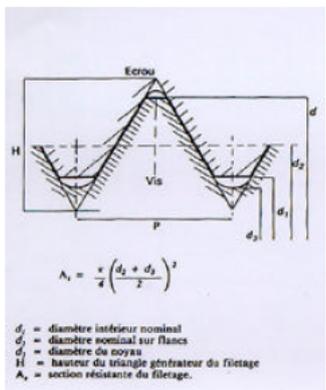
Nota : Par abus de langage, on utilise "contrainte de serrage" au lieu de "pression de contact" pour éviter la confusion avec la "pression du fluide".

D1.7 Contrainte effective de serrage

C'est la contrainte de serrage diminuée de l'effet de fond résultant de la mise en pression interne. La contrainte effective représente la contrainte réellement appliquée sur le joint.

D1.8 Contrainte dans la boulonnerie

La contrainte de traction dans la vis est définie par la relation : $\sigma = F / A_s$ où A_s est la section résistante du boulon.

	<p>La section résistante du boulon est la valeur la plus faible entre :</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ la section du fût (si la vis en est équipée) ○ la section résistante du filetage définie par $A_s = \frac{\pi}{4} \left(\frac{d_2 + d_3}{2} \right)^2$ <p>Les valeurs de d_2 et d_3 sont définies à partir du diamètre nominal "d" et du pas "p" du filetage :</p> <ul style="list-style-type: none"> - $d_2 = d - 0,6495 \cdot p$ - $d_3 = d - 1,2268 \cdot p$
--	---

D2 Calculs de l'effort de serrage du joint suivant le CODAP section C6

et vérification de la boulonnerie (Vérification de la section minimale des boulons)

Caractéristiques d'un joint, coefficient Y, Pression d'assise du joint, coefficient de serrage m

PARTIE C CONCEPTION ET CALCULS

SECTION C6 RÈGLES DE CALCUL DES ASSEMBLAGES À BRIDES BOULONNÉES SOU MIS À UNE PRESSION INTÉRIEURE

C6.1 - ASSEMBLAGES A BRIDES AVEC JOINT INTERIEUR AU CERCLE DE PERÇAGE DES TROUS DE BOULONS - SITUATIONS A ETUDIER - CARACTERISTIQUES DU JOINT - VERIFICATION DE LA BOULONNERIE

C6.1.1 - Objet

a) Les règles du présent chapitre concernent les assemblages soumis à une pression intérieure et dont le joint est situé à l'intérieur du cercle de perçage des trous de boulons.

Note : De manière alternative à la présente procédure, la méthode proposée par la norme NF EN 1591 peut être utilisée dans le cadre de la présente Division notamment lorsque le respect d'un critère d'étanchéité est requis.

Elles s'appliquent aux assemblages à joint plat ou à joint annulaire métallique plein d'un des types indiqués au tableau C6.1.1 ou d'un type équivalent.

b) Ces assemblages peuvent être constitués :

- de deux brides relevant des règles du chapitre C6.2 (brides normales),
- d'une bride normale et d'une bride inversée relevant des règles du chapitre C6.3,
- d'une bride, normale ou inversée, assemblée à :
 - un fond plat boulonné relevant de la règle C3.3.5,
 - un fond à calotte sphérique boulonné relevant de la règle C3.4.5,
 - une plaque tubulaire formant bride relevant de la règle de l'Annexe C7.A4,

- d'un fond à calotte sphérique boulonné assemblé à une plaque tubulaire formant bride.

Un tel assemblage peut comporter un élément intermédiaire (par exemple, plaque tubulaire) pincé entre brides. Dans ce cas, si l'assemblage concerne deux enceintes, les dispositions de l'Annexe C6.1.A1 sont à respecter.

c) Les assemblages à brides normalisées peuvent être utilisés sans vérification de leur résistance dans les conditions indiquées en Annexe C6.A1.

d) Les présentes règles sont applicables :

- aux assemblages à joint annulaire en élastomère ou métallique creux, moyennant les adaptations indiquées en Annexe C6.1.A2,
- aux assemblages par boulons à griffes ou par boulons basculants, moyennant le respect des dispositions de l'Annexe C6.2.A2,
- aux assemblages à lèvres soudées, moyennant les adaptations indiquées en Annexe C6.2.A3.

e) Les règles du présent chapitre couvrent la défaillance par déformation excessive de la boulonnerie.

Il appartient au Fabricant de s'assurer par ailleurs de l'adéquation de l'assemblage (nature du joint, caractéristiques des portées de joint, etc.) à l'ensemble des conditions de fonctionnement de l'appareil, en particulier pour ce qui concerne la qualité d'étanchéité requise.

Tableau C6.1.1 - Types de joints concernés par les règles

Joints plats non métalliques	
- Sans enveloppe	
- Avec enveloppe non métallique	
Joints plats métalloplastiques	
- Non ondulés	
- Ondulés	
- Spirales	
Joints plats métalliques	
- Lisses	
- Striés	
- Ondulés avec ou sans garnissage	
Joints annulaires métalliques pleins	

Tableau C6.1.5 - Largeur efficace du joint b et diamètre G du cercle sur lequel s'applique la force de compression du joint.

1 - Joint plat	
a) Faces plates	
	<ul style="list-style-type: none"> Largeur de base du joint b_0 : $b_0 = \frac{w}{2}$
b) Faces surélevées	
	<ul style="list-style-type: none"> Largeur efficace du joint b : <ul style="list-style-type: none"> si $b_0 \leq 6,3 \text{ mm}$: $b = b_0$ si $b_0 > 6,3 \text{ mm}$: $b = 2,52\sqrt{b_0}$ ⁽¹⁾ Diamètre G : $G = G_0 - 2b$ ⁽²⁾
c) Emboîtement simple	
d) Emboîtement double	
	<p>⁽¹⁾ Dans cette formule, la largeur b_0 doit être exprimée en millimètres.</p> <p>⁽²⁾ Si $b_0 \leq 6,3 \text{ mm}$, G est alors le diamètre moyen de contact du joint sur sa portée.</p>
2 - Joint annulaire métallique plein	
	<ul style="list-style-type: none"> $b = \frac{w}{8}$ $G = \text{diamètre moyen du joint}$

C6.1.2 - Condition d'application

C6.1.2.1 - Assemblage

a) L'assemblage doit être de révolution.

b) Les boulons ou goujons doivent être répartis régulièrement sur le cercle de perçage.

Leur nombre doit être au moins égal à 4.

C6.1.2.2 - Sollicitations

Les règles du présent chapitre ne prennent en compte que l'action de la pression intérieure et des efforts à exercer sur le joint.

Elles ne prennent pas en compte les efforts agissant sur l'enveloppe cylindrique. (voir Note)

Note : L'Annexe C6.A5 propose une méthode simplifiée de prise en compte de ces efforts.

Elles ne prennent pas en compte non plus les différences de dilatation pouvant exister entre la boulonnerie et les éléments assemblés, qui peuvent être négligées tant que, pour une situation donnée :

- la différence de température entre la boulonnerie et les éléments assemblés n'excède pas 50°C,
- si la température de calcul est $\geq 120^\circ\text{C}$, le coefficient de dilatation des éléments assemblés n'excède pas de plus de 10% le coefficient de dilatation de la boulonnerie.

C6.1.3 - Notations

A_b = Section totale de la boulonnerie :

$$A_b = n \cdot a_b \quad (\text{C6.1.3.1})$$

$A_{b,\min}$ = Section minimale nécessaire de la boulonnerie

a_b = Section d'un boulon ou goujon :

- pour un boulon ou goujon à filetage à filet triangulaire au profil ISO (NF ISO 68-1 : Mars 1999) : section résistante définie par la norme NF ISO 262 : Mars 1999 (voir Annexe C6.A4),
- pour un boulon ou goujon à filetage d'un autre type : section à fond de filet,
- pour un boulon ou goujon à tige allégée : section de la tige cylindrique non filetée.

b = Largeur efficace du joint (voir C6.1.5.)

f_b = Contrainte nominale de calcul des boulons ou goujons pour une situation sous pression

$f_{b,A}$ = Contrainte nominale de calcul des boulons ou goujons pour la situation d'assise du joint

$f_{b,A}$ est la contrainte nominale de calcul pour une situation normale de service à température ambiante.

G = Diamètre du cercle sur lequel s'applique la force de compression du joint (voir C6.1.5)

G_0 = Diamètre extérieur de la surface de contact d'un joint plat sur sa portée

H_G = Force de compression du joint dans une situation sous pression

m = Coefficient de serrage du joint (voir C6.1.5)

n = Nombre de boulons ou goujons

P = Pression de calcul pour la situation sous pression considérée

W_A = Force minimale à exercer par la boulonnerie dans la situation d'assise du joint

W'_A = Force exercée par la boulonnerie à prendre en compte pour le calcul des éléments assemblés dans la situation d'assise du joint.

W_P = Force de traction s'exerçant sur la boulonnerie dans une situation sous pression

w = Largeur de contact du joint sur sa portée (voir C6.1.5)

γ = Pression d'assise du joint (voir C6.1.5)

C6.1.4 - Situations à étudier

La règle C6.1.6 ainsi que les règles concernant les éléments assemblés doivent être appliquées pour chacune des situations suivantes :

a) La situation relative au serrage initial du joint avant mise sous pression, dite *situation d'assise du joint*.

Dans cette situation, l'assemblage est soumis uniquement à l'effort résultant de la compression du joint nécessaire pour réaliser l'étanchéité attendue.

La compression minimale γ à exercer sur le joint, dite *pression d'assise du joint*, dépend de la nature de celui-ci.

La situation d'assise du joint est unique pour un assemblage donné ; elle doit être considérée comme une situation normale de service à température ambiante.

b) La ou les situations normales de service, exceptionnelles de service ou d'essai de résistance susceptibles d'être déterminantes pour l'assemblage, dites *situations sous pression*.

Dans ces situations, l'assemblage doit résister à l'action de la pression qui tend à écarter les deux éléments, tout en maintenant sur le joint un effort de compression suffisant pour assurer l'étanchéité.

Le rapport m entre la compression minimale du joint et la pression intérieure est une caractéristique du joint dite *coefficient de serrage du joint*.

C6.1.5 - Caractéristiques du joint

a) Les valeurs de la pression d'assise y et du coefficient de serrage m doivent être indiquées par le fournisseur du joint ; à défaut il est possible d'utiliser les valeurs données en Annexe C6.A2.

b) La largeur efficace du joint b et le diamètre G du cercle sur lequel s'applique la force de compression du joint sont définis par le tableau C6.1.5.

C6.1.6 - Vérification de la boulonnerie

a) La force minimale que doit exercer la boulonnerie dans la situation d'assise du joint est donnée par la formule :

$$W_A = \pi b \cdot G \cdot y \quad (C6.1.6a)$$

b) La force de traction s'exerçant sur la boulonnerie dans une situation sous pression est donnée par la formule :

$$W_P = \frac{\pi}{4} G^2 \cdot P + H_G \quad (C6.1.6b1)$$

dans laquelle :

$$H_G = 2 \pi b \cdot G \cdot m \cdot P \quad (C6.1.6b2)$$

c) La section minimale nécessaire de la boulonnerie est donnée par la relation :

$$A_{b,\min} = \text{MAX} \left\{ \left[\frac{W_A}{f_{b,A}} \right], \left[\left(\frac{W_P}{f_b} \right)_{\max} \right] \right\} \quad (C6.1.6c)$$

dans laquelle $\left(\frac{W_P}{f_b} \right)_{\max}$ est la plus grande valeur du rapport $\left(\frac{W_P}{f_b} \right)$ pour l'ensemble des situations sous pression étudiées.

d) La section totale de la boulonnerie doit être telle que :

$$A_b \geq A_{b,\min} \quad (C6.1.6d)$$

e) La force exercée par la boulonnerie à prendre en compte pour le calcul des éléments assemblés dans la situation d'assise du joint est donnée par la formule :

$$W'_A = \frac{A_b + A_{b,\min}}{2} f_{b,A} \quad (C6.1.6e)$$

f) Dans le cas d'un joint plat, lorsque la portée de joint n'est pas à emboîtement double ou qu'aucune disposition mécanique (telle qu'un anneau ou emboîtement limiteur d'écrasement) ne protège le joint contre un serrage excessif, la force W'_A doit vérifier la relation :

$$W'_A \leq 2 \pi w \cdot G \cdot y \quad (C6.1.6f)$$

Travail 7

Travail 7.1 Démontrer les formules du Codap C616a et C616b

Isoler un joint plat et penser à l'effet de fond sur une couronne mince.

- Démontrer en situation d'assise la formule de W_a
- Démontrer en situation de service sous pression la formule W_p .

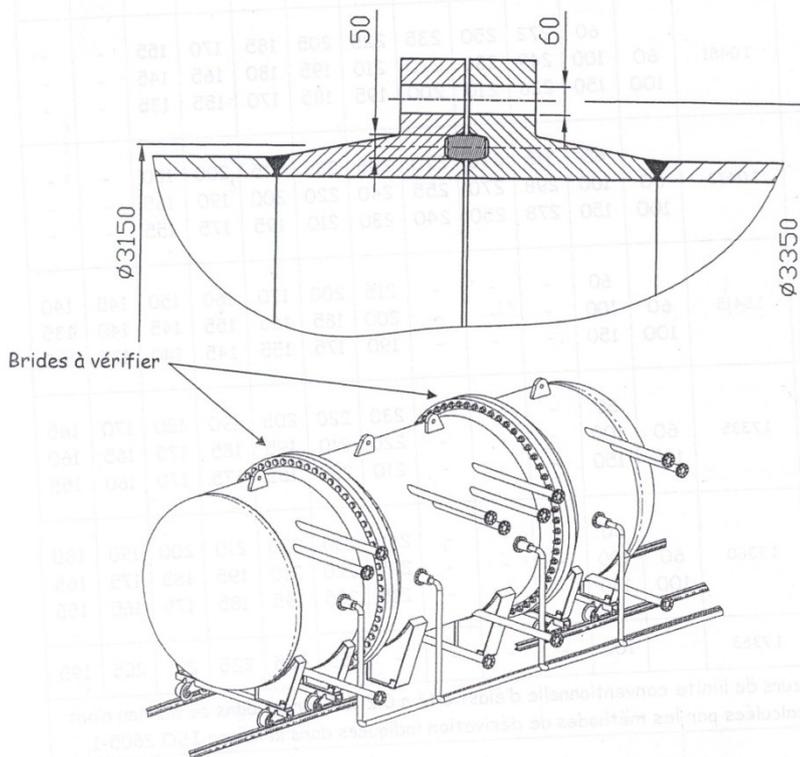
Travail 7.2 Application à la main (épreuve BTS CRCI 2009)

5. Vérification de la boulonnerie

A.5.1: Conformément à la partie C6 du CODAP (DT6-U41-A à DT10-U41-A), vérifier que le nombre de boulons utilisés est suffisant pour assurer l'assemblage par brides boulonnées soumis à la pression en situation normale de service.

On vous donne :

- f_b : contrainte nominale de calcul des boulons pour une situation sous pression $f_b = 240 \text{ MPa}$
- $f_{b,A}$: contrainte nominale de calcul des boulons pour la situation d'assise du joint $f_{b,A} = 240 \text{ MPa}$
- Type de joint : joint annulaire métallique plein (DT5-U41-A)
- Les dimensions nécessaires sont données sur le dessin ci-dessous
- On utilise 60 boulons : HM56-360 12.9 section d'un boulon $a_b = 1910 \text{ mm}^2$



$$W = 50 \text{ mm et } G = 3120 \text{ mm et } b = 6.25 \text{ mm}$$

$$m = 3 \text{ et } y = 75 \text{ Mpa}$$

$$W_a = 4\,638\,757.9 \text{ N}$$

$$H_G = 1\,113\,301.9 \text{ N}$$

$$W_p = 24\,492\,641.7 \text{ N}$$

$$A_{bmin} = 102\,052.67 \text{ mm}^2$$

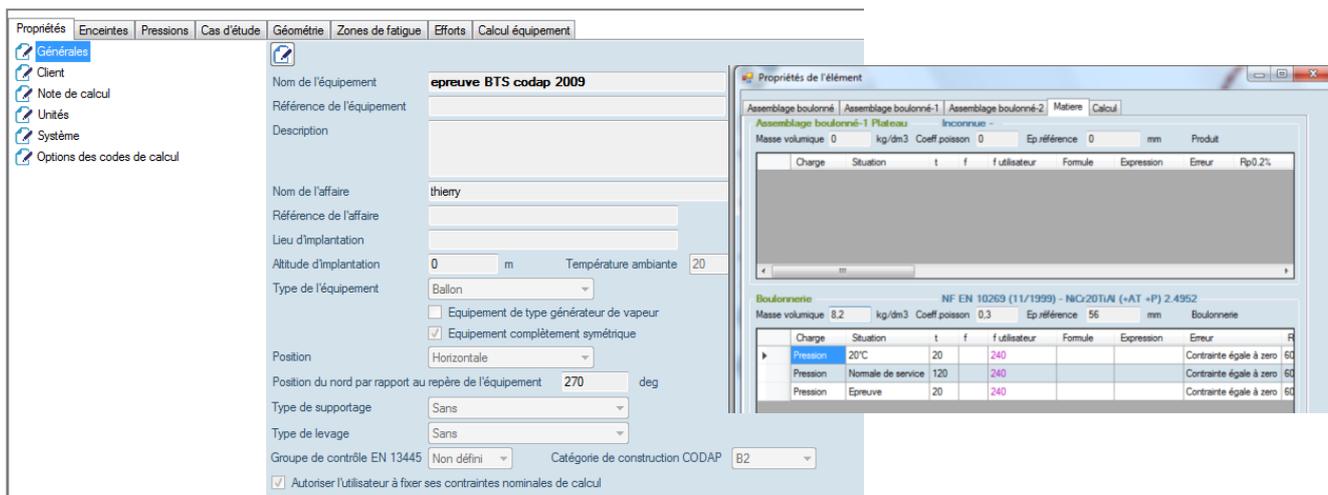
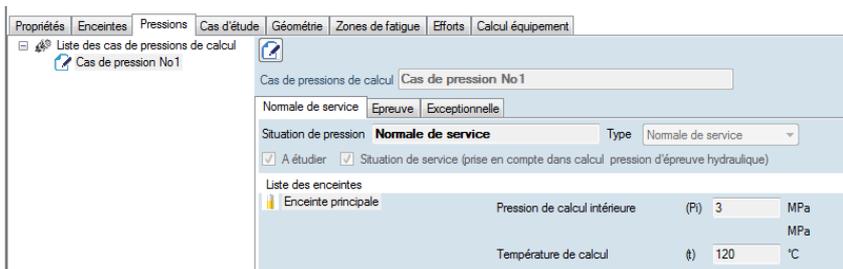
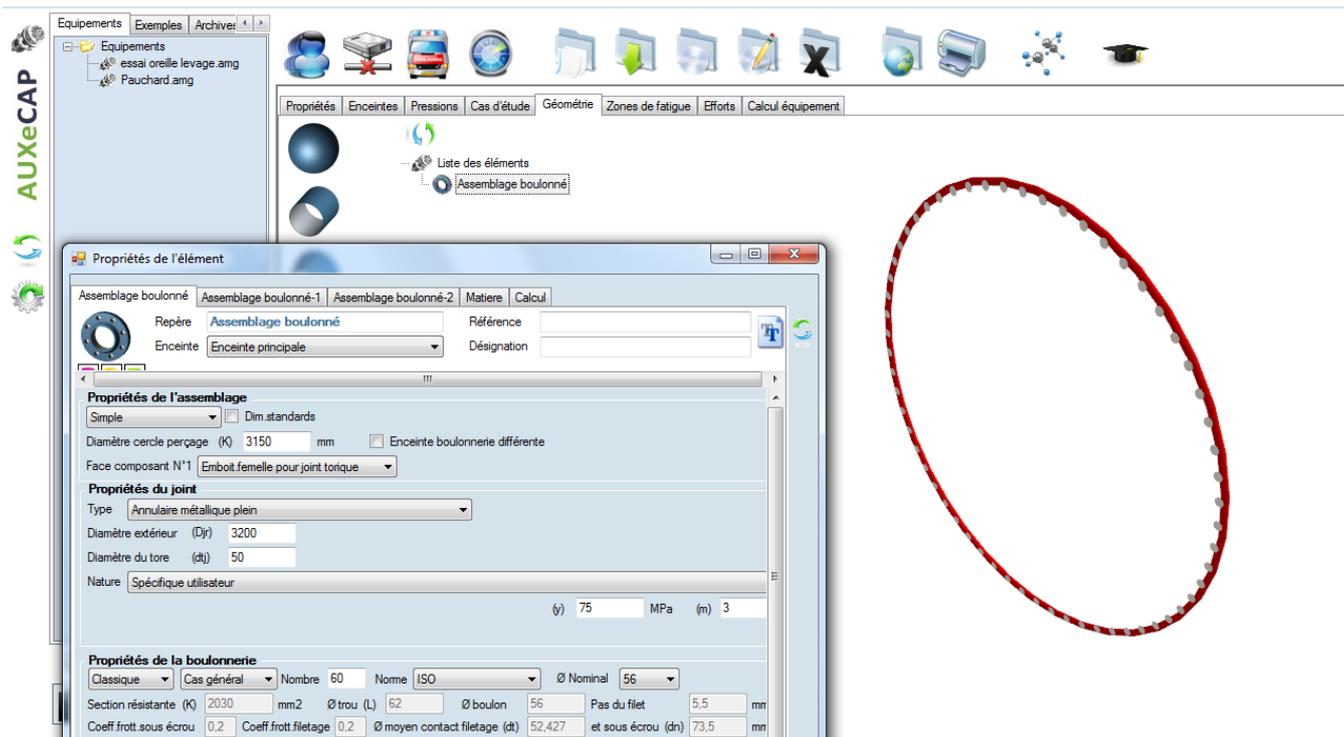
$$n > 53.43, 60 \text{ boulons conviennent}$$

Coefficient de serrage et pression d'assise des joints

Nature du joint		Coefficient de serrage m	Pression d'assise Y (MPa)
JOINTS PLATS NON MÉTALLIQUES	Elastomère non entoilé, sans forte proportion de fibres d'amiante : <ul style="list-style-type: none"> • Dureté shore < 75 • Dureté shore ≥ 75 	0.50 1.00	0 1.4
	Elastomère avec entoilage coton	1.0	2.8
	Elastomère avec toileage amiante, avec ou sans armature métallique : <ul style="list-style-type: none"> • 1 pli • 2 plis • 3 plis 	2.75 2.50 2.25	25.5 20.0 15.2
	Fibre végétale	1.75	7.6
	Amiante-élastomère avec ou sans armature métallique, avec ou sans enveloppe PTFE ou similaire : <ul style="list-style-type: none"> • épaisseur 1 mm • épaisseur 2 mm • épaisseur 3 mm 	3.25 2.50 2.00	39.8 21.7 12.6
	Amiante enrobé d'une enveloppe métallique non ondulée : <ul style="list-style-type: none"> • aluminium recuit • cuivre ou laiton recuit • fer ou acier doux • monel • acier allié type 5% Cr-0.5% Mo • acier inoxydable 	3.25 3.50 3.75 3.50 3.75 3.75	38.0 44.8 52.4 55.2 62.1 62.1
	Amiante enrobé d'une enveloppe métallique ondulée ou métal ondulé avec garniture d'amiante : <ul style="list-style-type: none"> • aluminium recuit • cuivre ou laiton recuit • fer ou acier doux • monel ou acier allié type 5% Cr-0.5% Mo • acier inoxydable 	2.50 2.75 3.00 3.25 3.50	20.0 26.0 31.0 38.0 44.8
JOINTS PLATS MÉTALLIQUES	Métal enroulé en spirale avec garniture amiante, PFTE ou similaire, graphite ... : <ul style="list-style-type: none"> • acier non allié • acier inoxydable ou monel 	2.50 3.00	69.0 69.0
	Joint métallique annulaire plein	3.00	75

Travail 7.3 Application avec le logiciel AUXECAP (épreuve BTS CRCI 2009)

Modélisation de la problématique.



Lorsque le matériau est inconnu, l'utilisateur peut imposer la contrainte nominale de calcul

Résultats de l'étude




Propriétés Encintes Pressions Cas d'étude Géométrie Zones de fatigue Efforts Calcul équipement

9 Erreur(s) au total
 1 Commentaire(s) au total
[Page de garde](#)
[Système d'unités](#)
[Informations client](#)
[Propriétés de l'équipement](#)
[Liste des cas d'études](#)
[Liste des enceintes](#)
[Fiches matières](#)
[Liste des éléments](#)
[Liste des zones de fatigue](#)
[Liste des standards](#)
[Liste des habillages](#)
 Liste des efforts
 Masses
 Volumes
 Pression d'essai hydraulique
 Résultats de calcul de pression
 Résultats de calcul supportage
 Résultats de calcul levage
 Résultats de calcul efforts sur tubulures
 Résultats de calcul au vent
 Résultats de calcul en fatigue exemption

Calculs de pression

Assemblage boulonné

Assemblage boulonné (Simple)
 Composant N°1 & N°2 Bride endroit Emboite.femelle pour joint torique
 Ø perçage C=3150 mm

Joint
 Type Annulaire métallique plein
 Nature Spécifique utilisateur
 Diamètre extérieur Dr=3200 mm Epaisseur ej=50 mm
 Coeff. serrage m=3 Pression d'assise y=75 MPa

Boulons
 Type Classique Norme ISO
 Matière : NF EN 10269 (11/1999) - NiCr20TiAl (+AT +P) 2.4952
 Nombre 60 Diamètre De=56 mm Diamètre passage L=62 mm
 Section Sr=2030 mm² Pas 5,5 mm Angle filetage α=30 deg
 Ø moyen de surface de contact tête boulon 73,5 mm Ø moyen de contact sur le filetage 52,427 mm
 Coeff. frottement sous la tête de boulon μn=0,2
 Coeff. frottement sur le filetage μt=0,2



Page de garde
 Système d'unités
 Informations client
 Propriétés de l'équipement
 Liste des cas d'études
 Liste des enceintes
 Fiches matières
 Liste des éléments
 Liste des zones de fatigue
 Liste des standards
 Liste des habillages
 Liste des efforts
 Masses
 Volumes
 Pression d'essai hydraulique
 Résultats de calcul de pression
 Résultats de calcul supportage
 Résultats de calcul levage
 Résultats de calcul efforts sur tubulures
 Résultats de calcul au vent
 Résultats de calcul en fatigue exemption
 Résultats de calcul en fatigue synthèse
 Résultats de calcul en fatigue détail

Boulons	Normale de service
Contrainte admissible boulonnerie	f _{bA} =240 MPa <i>(Utilisateur)</i>
Contrainte admissible boulonnerie	f _b =240 MPa <i>(Utilisateur)</i>
Largeur de contact du joint	w=50 mm e _{ij} C6.1.5.2
Largeur efficace du joint	b =6,25 mm w/8 C6.1.5
Ø de réaction du joint	G =3150 mm D _m C6.1.5
Force minimale a exercée en assise	W _A =4638757,903 N π·b·G·y C6.1.6e
Force de traction s'exerçant sous pression	W _P =24492641,726 N π/4·G·D ² ·P·HG C6.1.6b1
Section installée boulonnerie	Ab=121800 mm ² n·ab C6.1.3.1
Section nécessaire boulonnerie pour la situation considérée	Abmin=102052,674 mm ² MAX{W _A /f _{bA} };{W _P /f _b } C6.1.6c
Section nécessaire boulonnerie retenue	Abmin=102052,674 mm ² MAX{W _A /f _{bA} };{W _P /f _b } C6.1.6c
Force exercée par la boulonnerie	W _{pA} =26862320,863 N (Ab+Abmin)/2·f _{bA} C6.1.6e
Coefficient	k _B =14,2791 pax/(2·π)·μt·dt/(2·cos(α)+μn·dt)/2 EN13445,68.9
Couple serrage	M _s =5828,882 mN k _B ·M _A {W _A /f _{bA} }/n

AUXeCAP nouveautés 2018 double enveloppe
[plus d'info ...](#) publié le 04/09/2018

AUXeCAP FATIGUE - exemption, analyse simplifiée et détaillée
[plus d'info ...](#) publié le 04/06/2018

Forum de la Chaudronnerie, Tuyauterie et Maintenance Industrielle à Strasbourg 17 et

On note :

- On retrouve les mêmes efforts de serrage du joint
- Le nombre de boulon est validé.
- Le logiciel propose un couple de serrage suivant la norme EN13445,G8.9

D3 Calculs de l'assemblage suivant la norme 1591 (Extrait CETIM ressources CAP1591)

D3.1 Introduction

La norme EN 1591 est une norme européenne qui définit une méthode de calcul des assemblages à brides boulonnées circulaires avec joint. Son objectif est d'en assurer l'intégrité structurale **et** la maîtrise de l'étanchéité. Cette méthode de calcul présente des améliorations par rapport à la méthode de type Taylor-Forge, en prenant en compte notamment le paramètre étanchéité dans le calcul des assemblages à brides boulonnées.

Ainsi cette méthode utilise des coefficients déterminés en effectuant les essais décrits dans la norme EN 13555, définissant les caractéristiques mécanique et d'étanchéité des joints. Contrairement aux méthodes de calcul précédentes, celle-ci propose une modélisation du comportement du joint et des boulons, et permet de prendre en compte les situations de service rencontrées par l'assemblage.

Cette méthode est moins connue des constructeurs que la méthode dite de TAYLOR-FORGE.

Le but de ce document n'est pas de reprendre le détail des formulations incluses dans la norme, mais plus simplement d'exprimer les différentes étapes de réalisation de l'assemblage qui sont implicitement considérées dans la norme.

La norme EN 1591 composée de différentes parties :

- EN 1591-1+A1 :2009 : Partie 1 : méthode de calcul
- EN 1591-2 : 2008 : Partie 2 : paramètres de joint
- XP CEN/TS 1591-3 :2007 : Partie 3 : méthode de calcul pour les assemblages à brides de type contact métal-métal
- XP CEN/TS 1591-4 :2007 : Partie 4 : Qualification des compétences du personnel en charge du montage des assemblages à brides boulonnés sur des équipements relevant de la Directive Équipements sous pression.

Les valeurs des paramètres affichés dans la deuxième partie ne sont qu'indicatives. Il est vivement conseillé à l'utilisateur d'obtenir les paramètres auprès du fournisseur de joints pour l'utilisation de la méthode de calcul donnée dans la première partie de l'EN 1591. Lorsque cela n'est pas possible les valeurs de l'EN 1591-2 peuvent être utilisées.

Cette norme vérifie le respect des critères à la fois d'étanchéité et de résistance durant tout le cycle de vie de l'assemblage. Elle prend en compte le comportement de l'ensemble des différents composants de l'assemblage «brides, joints, boulonnerie». Les paramètres qui interviennent sont non seulement les paramètres de base :

- La pression du fluide.
- La résistance mécanique des matériaux des brides, des boulons et des joints.
- Le coefficient de serrage du joint
- Les efforts nominaux dans les boulons

Cette méthode prend également en compte des paramètres nouveaux par rapport aux pratiques habituelles des codes de construction :

- Les conditions de services et notamment la température et le phénomène de fluage-relaxation.
- L'éventuelle dispersion due à la méthode mise en œuvre pour le serrage initial.
- Les variations d'efforts sur le joint dues à la déformation des divers éléments de l'assemblage.
- L'influence de la virole ou de la tuyauterie raccordée.
- L'effet des forces axiales et moments de flexion extérieurs.
- L'effet des différences de température entre les boulons et les plateaux des brides.

D3.2 DOMAINE DE VALIDITE

D3.2.1 Géométrie

La présente méthode est applicable aux configurations présentant :

- Deux brides (monobloc, pleine, ou tournante) identiques ou différentes.
- Quatre boulons identiques au moins repartis régulièrement.
- Un joint d'étanchéité circulaire, situé à l'intérieur du cercle de boulonnage.

Dans l'état actuel de son développement, la méthode n'est pas applicable aux assemblages à contact métal-métal, que ce contact soit limité à l'intérieur du cercle de boulonnage par exemple sur un anneau limiteur d'écrasement, ou qu'il s'étende au-delà. De même les brides présentant une géométrie globalement non axisymétrique sont hors du domaine d'application de la norme.

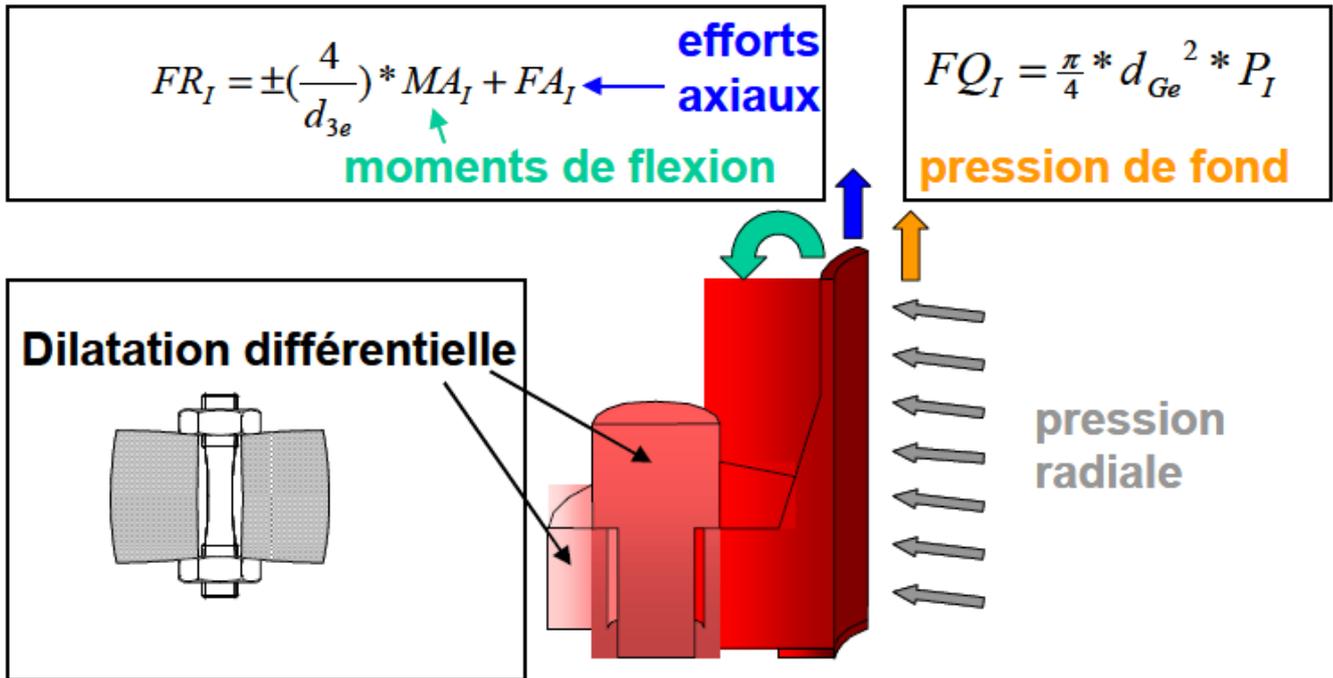
D3.2.2 Prise en compte des sollicitations

Les sollicitations suivantes sont prises en compte dans le calcul :

- Pression du fluide : interne ou externe (prise en compte de l'effet de fond)
- Charges extérieures : efforts axiaux et moments de flexion

Les moments de flexion ne pouvant être traités directement à cause de l'axi-symétrie du modèle. C'est pourquoi ils sont transformés en efforts axiaux de compression et de traction induits par ceux-ci (voir équation ci-dessous). On mène alors 2 calculs en parallèle en considérant les efforts induits par les moments de flexion, tantôt comme des efforts de compression, tantôt des efforts de traction. Au terme des deux calculs, le cas le plus critique est retenu.

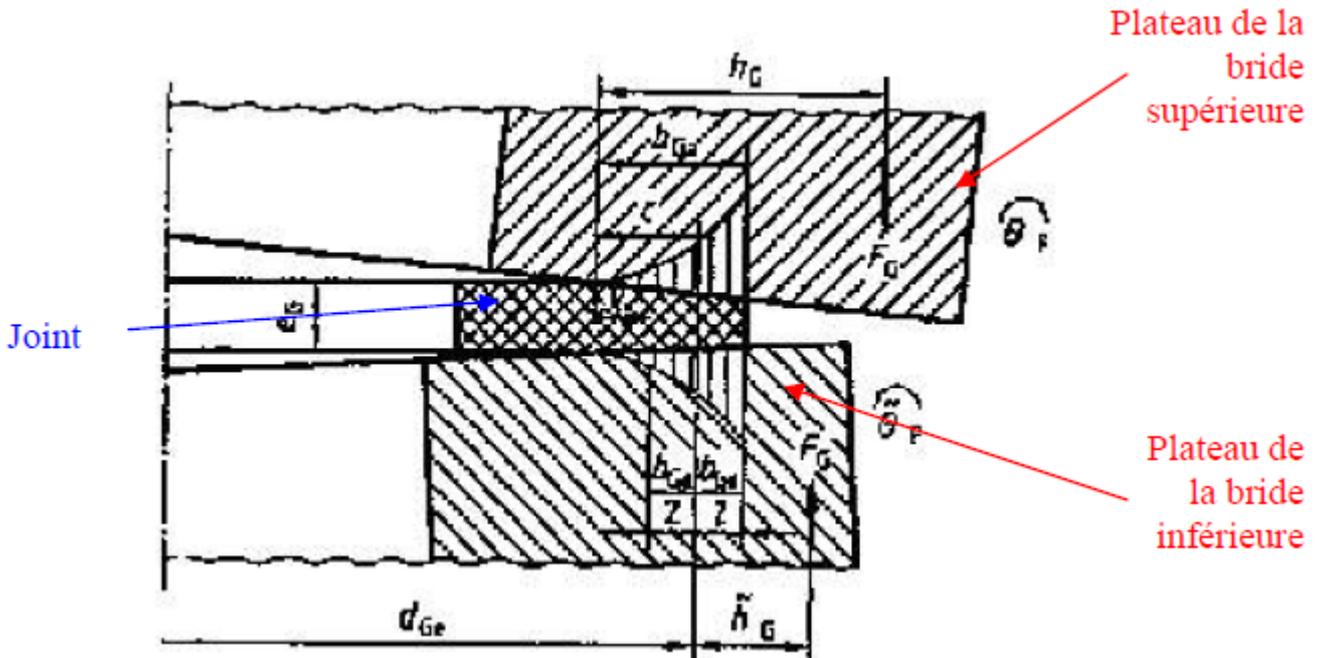
- Dilatations axiales des brides, boulons et joint dues aux températures



D3.2.3 Modèle mécanique

La méthode est basée sur le modèle mécanique suivant :

- La géométrie des deux brides et du joint est axisymétrique.
- La section droite de l'anneau de bride (section radiale) est indéformable.
- L'anneau d'une bride monobloc est assemblé à une enveloppe cylindrique. Une collerette conique est traitée en enveloppe cylindrique équivalente, dont l'épaisseur calculée différemment pour l'analyse du comportement élastique et pour celle du comportement plastique, est toujours comprise entre les épaisseurs minimales et maximales réelles. Les enveloppes coniques et sphériques sont traitées en enveloppe cylindrique équivalente de même épaisseur ; la différence avec une enveloppe cylindrique apparaît explicitement dans la formule de calcul. A la liaison anneau de bride/enveloppe assemblée, la continuité de la rotation est respectée dans le calcul.
- Le contact entre le joint et les faces de brides s'effectue sur une surface annulaire (calculée). La largeur effective (radiale) de contact b_{Ge} peut être inférieure à la largeur réelle du joint. Cette largeur effective b_{Ge} est déterminée dans la situation d'assise ($I=0$) et est supposée invariable dans toutes les situations ultérieures ($I=1,2,\dots$) Le calcul de b_{Ge} tient compte des rotations élastiques des brides ainsi que de la déformation élastiques et plastique (approximativement) du joint.



- Le module d'élasticité du joint varie avec la contrainte de compression Q appliquée sur le joint. La méthode prend donc en compte la dépendance du module d'élasticité en décompression en fonction de la contrainte vue par le joint au serrage.

- Le fluage du matériau du joint est pris en compte de manière simplifiée au moyen du coefficient PQR (ou anciennement g_c .) Le coefficient de fluage PQR représente le ratio de la contrainte résiduelle sur le joint pour une contrainte initiale et une rigidité d'assemblage données. Il est utilisé comme un coefficient multiplicatif de l'effort à appliquer sur le joint pour maintenir la contrainte désirée après développement du phénomène de fluage/relaxation. Le coefficient g_c est étaiit lui utilisé comme un coefficient multiplicatif du module d'élasticité du joint. Ce coefficient g_c étant inférieur à 1, cette modification revenait à diminuer le module d'élasticité.

- Les déformations axiales thermiques et mécaniques des brides, des boulons et du joint sont prises en compte.
- Le chargement appliqué à l'assemblage est axisymétrique. Un moment extérieur non axisymétrique est remplacé par un effort axial équivalent transmis par les boulons.

- La variation des sollicitations correspondant au passage de l'une à l'autre des diverses situations entraîne une variation des efforts internes exercés sur les boulons et le joint. Les calculs prennent en compte les déformations élastiques des différents éléments de l'assemblage. Pour garantir l'étanchéité, l'effort initial de serrage nécessaire est déterminé de manière à assurer que l'effort requis sur le joint soit atteint dans toutes les situations.

- La vérification de l'admissibilité des sollicitations est basée, pour chaque élément sur la théorie des charges limite. Cette approche garantie l'absence de déformations excessives. Pour les joints, les charges limites employées, fonctions de Q_{max} , ne sont que des évaluations.

Les aspects suivants ne sont pas pris en compte dans le modèle de calcul :

- La résistance et la rigidité en flexion des boulons. Ceci constitue une simplification.
- Par contre la rigidité en traction des boulons tient compte approximativement de la déformation de la partie filetée engagée dans les écrous ou logement de vis ou goujons.
- Le fluage des brides et boulons au niveau de la déformation dans le temps. (les contraintes sont calculées suivant les codes de construction et les valeurs de contraintes admissibles en fluage).
 - Les déformations radiales différentes au niveau du joint (simplification sans effet quand les deux brides sont identiques).
 - Les moments extérieurs de torsion et efforts extérieurs de cisaillement, par exemple ceux transmis par la tuyauterie.

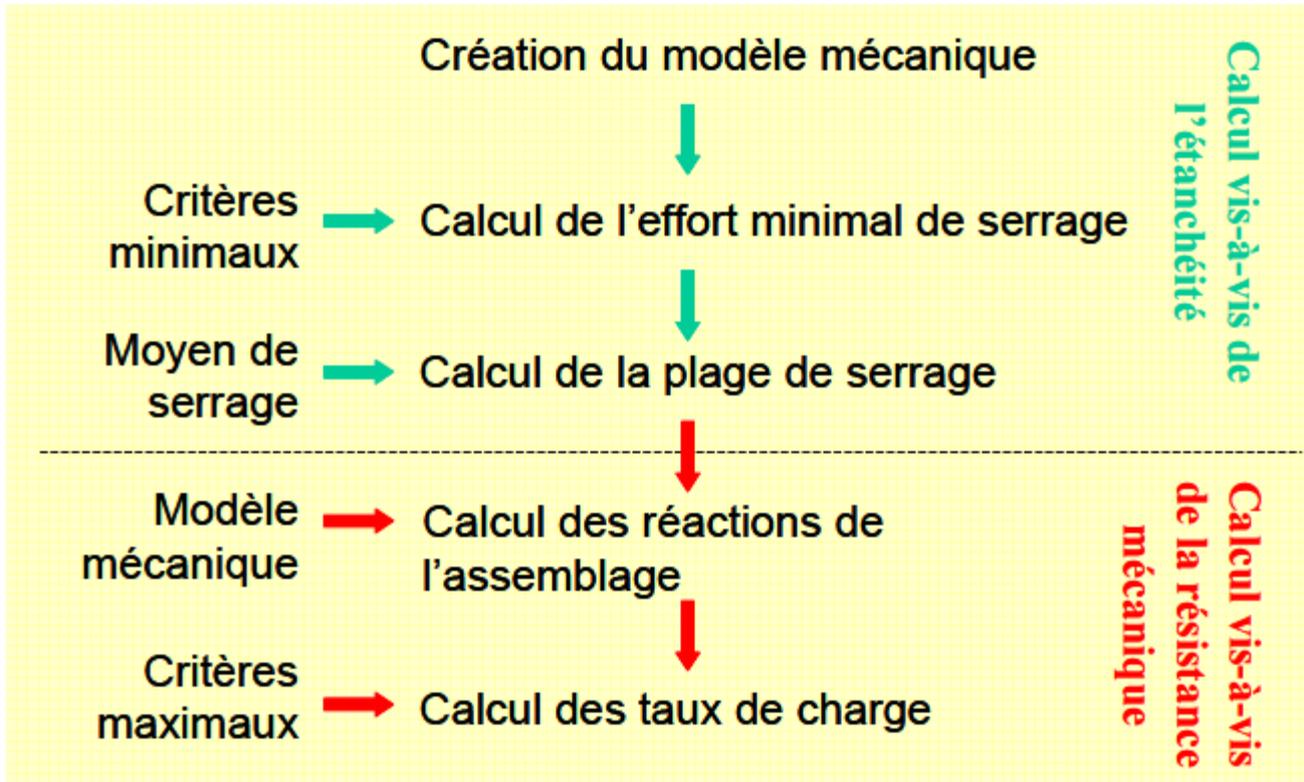
D3.3 Comparaison EN1591/Méthode Taylor Forge (ASME, CODAP, CODETI)

	Modèle TAYLOR-FORGE	Modèle EN 1591
Modélisation du comportement du joint	<i>aucune relation entre l'effort et la déformation</i>	Compression (restitution élastique)
Modélisation du comportement des boulons		traction
Modélisation du comportement des brides	Flexion de plaque	Rotation d'anneau

	Modèle TAYLOR-FORGE	Modèle EN 1591
Modélisation des Matériaux du joint	<i>aucune caractérisation</i>	linéaire variant avec la temp. et avec la charge maximale
Modélisation des matériaux de la boulonnerie		Modèle élastique linéaire (variant avec la température)
Modélisation des matériaux des brides		

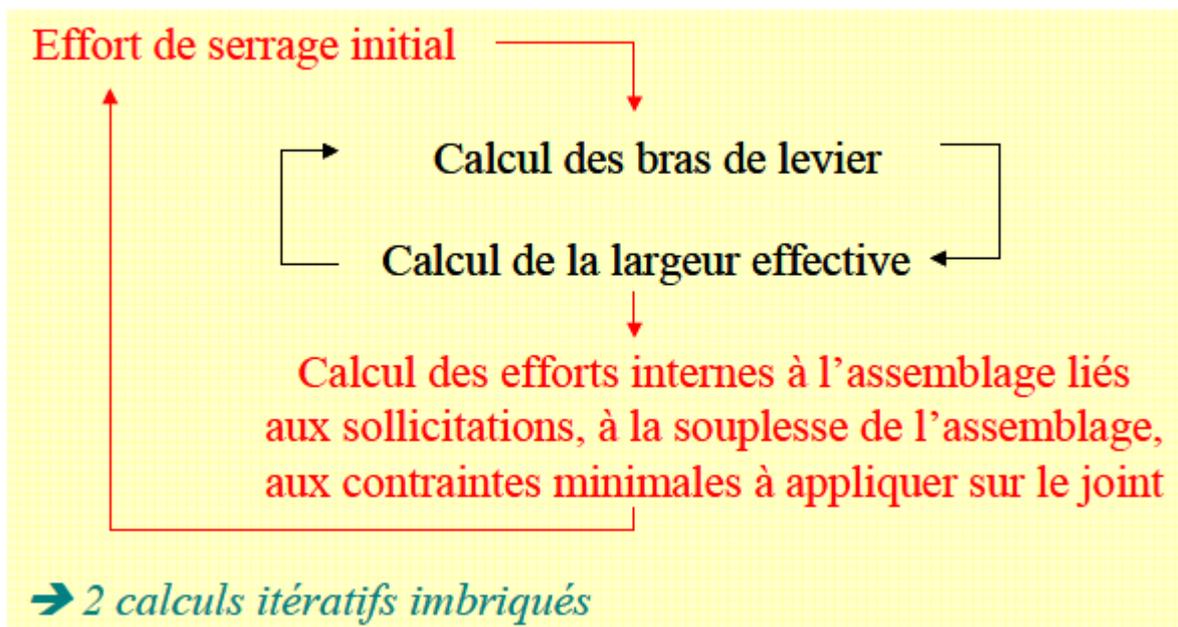
	Modèle TAYLOR-FORGE	Modèle EN 1591
Traitement des charges de pression	effet de fond	effet de fond et pression radiale
Traitement des charges thermiques	<i>aucun traitement</i>	dilatation différentielle
Traitement des charges extérieures		efforts axiaux et moments de flexion

D3.4 Les étapes du calcul



Le calcul est mené de la façon suivante :

– L'effort minimum nécessaire de serrage initial des boulons est déterminé de manière à ce que, dans aucune des situations de services ultérieures spécifiées, l'effort résiduel sur le joint ne descende en dessous de la valeur minimale requise pour ce joint. La détermination de cet effort s'effectue de manière itérative, car il est fonction de la largeur effective du joint, elle-même fonction de l'effort de serrage initial.



- Les efforts internes qui résultent de la valeur sélectionné pour l’effort de serrage initial sont calculés pour toutes les situations, et l’admissibilité de leur combinaison avec les efforts extérieurs est vérifiée comme suit :
 - Serrage initial : la vérification est faite pour l’effort de serrage maximal qui est susceptible d’être atteint compte tenu de la méthode de serrage utilisée.
 - Situation d’épreuve et de service : les vérifications sont faites pour les efforts minimaux nécessaires, afin d’assurer que l’assemblage pourra supporter ces effort sans donner lieu à la plastification.
 - Si nécessaire les rotations des brides peuvent être estimées et les valeurs obtenues comparées à d’éventuelle limites qui seraient applicable au joint.

Les coefficients de sécurité que couvrent implicitement les règles de vérification de l’admissibilité des sollicitations sont ceux qui sont appliqués à la limite d’élasticité des matériaux pour déterminer les contraintes nominales de calcul. La méthode ne spécifie aucune valeur pour ces contraintes nominale de calcul : elles sont à fixer conformément au code ou à la réglementation qu’il y a lieu de respecter.

Pour la situation d’assise du joint, les contraintes nominales de calcul ont les mêmes valeurs que pour l’épreuve hydraulique.

Pour les boulons, les contraintes nominales de calcul des boulons sont déterminées selon les mêmes règles que celles applicables aux matériaux des brides et virole raccordées (par exemple même coefficient de sécurité sur la limite d’élasticité).

Les efforts minimaux nécessaires sur le joint pour conserver le niveau d’étanchéité requis, peuvent être déterminés de deux manières différentes :

- Utilisation de coefficients tabulés del’EN1591-2.
- Détermination à partir de données expérimentales définies suivant la norme d’essai EN 13555 reliant le taux de fuite à la compression du joint. Ceci permet de baser la conception de l’assemblage sur une valeur spécifiée du taux de fuite.

D3.5 Facteurs caractéristiques des joints

Les facteurs caractéristiques des joints sont obtenus soit en utilisant les coefficients de joint tabulés dans l’EN1591-2, soit à partir d’essais réalisés selon la norme EN13555. Les valeurs des paramètres affichés dans l’EN1591-2 ne sont qu’indicatives. Il est vivement conseillé à l’utilisateur d’obtenir les paramètres auprès du fournisseur de joints pour l’utilisation de la méthode de calcul donnée dans la première partie de l’EN 1591. Lorsque cela n’est pas possible les valeurs de l’EN1591-2 peuvent être utilisées.

D3.5.1 Facteur Q_{smax}

Ce facteur représente la contrainte maximale admissible sur le joint :

- A la température ambiante à l’assise.
- A la température de service.

Il est déterminé suivant la séquence présentée ci dessous, décrite dans la norme européenne EN 13555 par les essais de compression.

D3.5.2 Facteurs $Q_{min}(L)$, $Q_{smin}(L)$

$Q_{min}(L)$, c’est la contrainte minimale à exercer sur le joint lors de l’assemblage à température ambiante (assise) pour atteindre la classe d’étanchéité requise pour une pression de fluide donné. Elle est déterminée (EN 13555) par un essai d’étanchéité à l’ambiante.

$Q_{smin}(L)$, il s’agit de la contrainte minimale à conserver sur le joint dans les conditions de service de façon à conserver l’étanchéité requise à la pression de service. Elle est déterminée (EN 13555) par un essai d’étanchéité à l’ambiante.

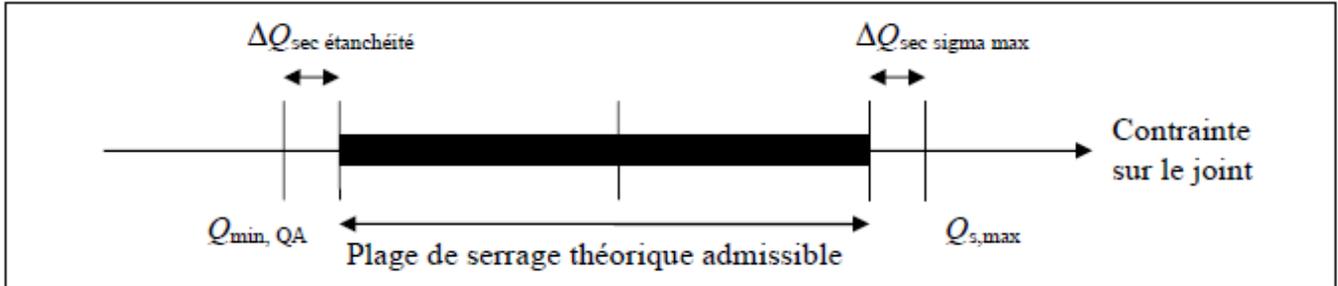
D3.6 La détermination du serrage optimal

D3.6.1 La plage de serrage

Il faut bien évidemment assurer un effort initial Q supérieur à Q_{\min} et Q_A , effort minimal de serrage, à l'ambiante, pour atteindre la classe d'étanchéité requise à la pression de service P .

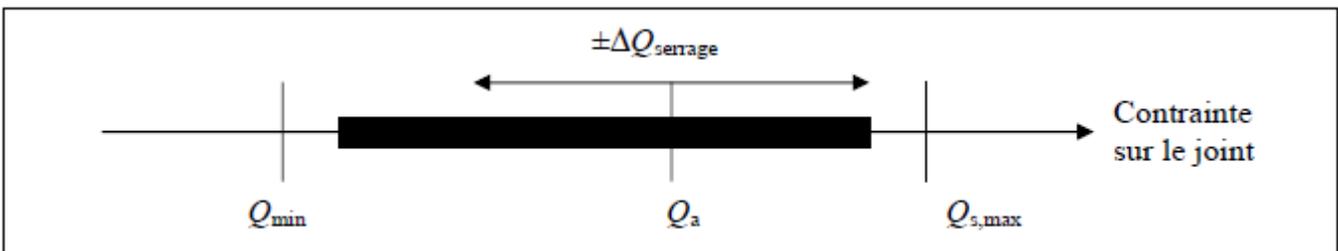
Mais cet effort initial ne doit pas excéder $Q_{s,\max}$ la contrainte maximale admissible par le joint.

Le niveau de serrage appliqué pourra inclure ou non une marge de sécurité par rapport au serrage requis pour assurer l'étanchéité ou par rapport à l'effort maximal admissible par le joint.

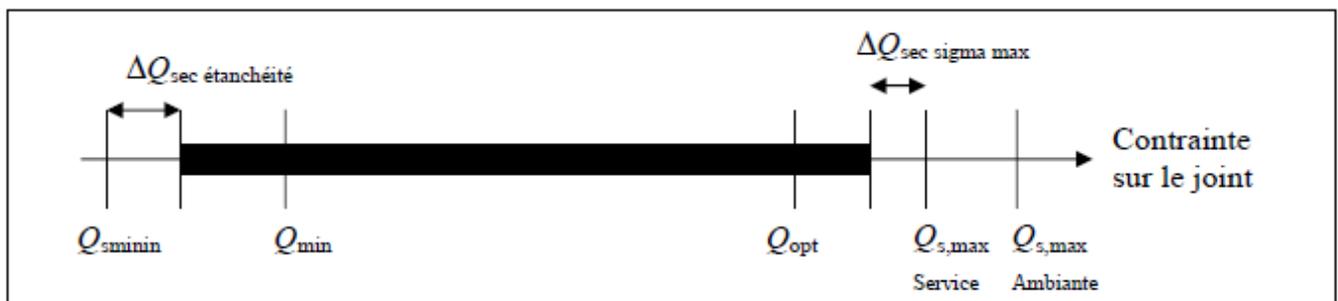


$\Delta Q_{\text{sec étanchéité}}$ et $\Delta Q_{\text{sec sigma max}}$ couvrent une bonne pratique industrielle.

On devra aussi prendre en compte l'influence de l'outil de serrage utilisé. Plus le serrage initial est élevé, plus la valeur de $Q_{s,\min}$ est faible (pour une classe d'étanchéité et une pression donnée P). Pour rechercher la valeur la plus élevée on aura donc intérêt à utiliser un moyen de serrage permettant de réduire la plage d'incertitude.



En conditions de service, il faudra que le serrage (calculé) appliqué sur le joint soit, inférieur à la contrainte maximale en service $Q_{s,\max}$, supérieur à la valeur $Q_{s,\min}$ du joint pour la classe d'étanchéité requise pour une pression donnée. (Q_{opt} est positionné arbitrairement à titre d'exemple.)



Fonctions principales de CAP 1591

Type d'analyse

- Calcul des assemblages à brides avec joints d'étanchéité selon la norme EN 1591

Paramètres d'entrées

- Saisie des données géométriques (base de données de normes européennes incluses dans le logiciel) et des caractéristiques physiques des brides, des joints et de la boulonnerie.
- Saisie des conditions de service:
 - Nombre de situations
 - Données matériaux des brides, du joint et des boulons
 - Températures des différents éléments de l'assemblage
 - Pressions
 - Efforts et moments extérieurs

Etapes du calcul

Les étapes du calcul effectuées par le logiciel, correspondant à la norme, sont les suivantes :

- Calcul des dimensions effectives des brides
- Calcul des dimensions effectives des boulons
- Calcul des dimensions effectives du joint
- Calcul des sollicitations exercées par les efforts de pression, par les efforts additionnels et par les variations de température
- Calcul de la souplesse de l'assemblage
- Calcul des efforts nécessaires sur le joint
- Calcul de la dispersion du serrage

- Calcul des efforts internes dans toutes les situations
- Calcul des taux de charges du joint, des boulons et des brides
- Calcul des angles de rotation des brides

Interface utilisateur

- Menus contextuels
- Prise en main simple et rapide

Interprétation des résultats

- Plage de serrage admissible dans la boulonnerie
- Résultats brides :
 - Tableaux des valeurs de taux de charge et angle de rotation pour la bride (et collet si la bride est type tournante)
 - Graphiques des valeurs de taux de charge et angle de rotation pour la bride (et collet si la bride est de type tournante)
- Résultats joints
 - Tableau et diagramme des conditions d'utilisation
 - Tableaux et graphiques des valeurs de taux de charge et de contrainte
- Résultats boulonnerie
 - Tableaux et graphiques des valeurs de taux de charge, contrainte et allongement
- Criticité de l'assemblage
 - Mise en évidence des points critiques de l'assemblage.

Travail 8 : Application avec le logiciel CAP 1591

Définition des Brides 1 et 2



Matériau		Matériaux et PN associés									
Type	Norme de référence	Nuance	2.5	6	10	16	25	40	63		
Fonte ductile FD	ISO 1083	350-22			X	X	X	X	X		
	ISO 1083	400-15			X	X	X	X	X		
	ISO 1083	400-18			X	X	X	X	X		
	EN 545	420-5			X	X	X	X	X		
Fonte grise FG	ISO 1083	500-7			X	X	X	X	X		
	ISO 1083	600-3			X	X	X	X	X		
	ISO 185	200	X	X	X	X	X	X	X		
Fonte malléable FM	ISO 5922	B 30-06		X	X	X	X	X	X		
	ISO 5922	B 32-12		X	X	X	X	X	X		
	ISO 5922	B 35-10		X	X	X	X	X	X		

PN	Température °C			
	-10 à 120	150	200	250
10	10	9.5	9	8
16	16	15.2	9.5	12.8
25	25	22.8	14.4	20
40	40	38	22.5	32
63	63	60.8	36	51.2

PN	Température °C			
	-10 à 120	150	200	250
10	10	9.7	9.2	8.7
16	16	15.5	14.7	13.9
25	25	24.3	23	21.8
40	40	38.8	36.8	34.8
63	63	62	58.8	55.5

Relations pression/Température

1092-1	matériaux ASTM	Codes matériaux Aciers austénitiques et austénitiques-ferritiques Aciers non-austénitiques
1092-2		Matériaux et PN associés Relations pression/température pour les brides en fonte ductile à haute résistance Relations pression/température pour les brides en fonte ductile à basse résistance Relations pression/température pour les brides en fonte grise Relations pression/température pour les brides en fonte malléable
1092-3		Relations pression/température (p/T) pour application générale
1092-4		Relations pression/température (p/T) pour les types d'alliages CC333G et CW354H
1759-1	matériaux EN	Relations pression/température pour les brides Class 150 en matériaux ASTM Relation pression/température pour les brides Class 300 en matériaux ASTM Relation pression/température pour les brides Class 600 en matériaux ASTM Relation pression/température pour les brides Class 900 en matériaux ASTM Relation pression/température pour les brides Class 1500 en matériaux ASTM Relation pression/température pour les brides Class 2500 en matériaux ASTM Relation pression/température pour les brides en matériaux EN
1759-3		Relations pression/température (p/T) pour application générale Relations pression/température (p/T) pour les types d'alliages CC333G et CW354H Relations pression/température (p/T) pour les brides de grands diamètres
1759-4		Relations pression/température (p/T)

CAP 1591 Assemblage Calcul Documents ?

BRIDE 1 | BRIDE 2 | BOULONNERIE | JOINT | CONDITIONS D'UTILISATION ET MATERIAUX

Bride normalisée :

Type d'enveloppe :

Diamètre intérieur de l'anneau de la bride (d0) : mm

Diamètre moyen de la collerette à son extrémité (d1) : mm

Diamètre moyen de la collerette à sa base (d2) : mm

Diamètre réel du cercle de boulonnage (d3) : mm

Diamètre extérieur de la bride (d4) : mm

Diamètre des trous de passage des boulons (d5) : mm

Longueur de la collerette (lH) : mm

Epaisseur de paroi à l'extrémité de la collerette (e1) : mm

Epaisseur de paroi à la base de la collerette (e2) : mm

Epaisseur de la bride soumise à une pression radiale (eP) : mm

Epaisseur de la bride non soumise à une pression radiale (eQ) : mm

Type de bride : | Type de collerette :

VALIDER ET DEFINIR LA BRIDE 2

Définition de la boulonnerie

CAP 1591 Assemblage Calcul Documents ?

BRIDE 1 BRIDE 2 **BOULONNERIE** JOINT CONDITIONS D'UTILISATION ET MATERIAUX

Boulons normalisés : oui non Norme : Annexe B EN1591-1 Taille : M56

Nombre de boulons (nB) : Epaisseur de l'écrou (eN) : mm

Présence de trous taraudés : oui non

Boulons avec partie lisse : oui non

Rondelles sous écrous ? Pas de rondelles Pas de rondelles

Veillez remplir la longueur de la partie lisse

Force de serrage spécifiée : oui non

Valeur de la force de serrage spécifiée (FBO, spécifiée) : N

Méthode de serrage :

- Clé à main sans contrôle ; dispersion : $\pm(0.3+0.5\mu)$
- Clé à chocs ; dispersion : $\pm(0.2+0.5\mu)$
- Clé dynamométrique ; dispersion : $\pm(0.1+0.5\mu)$
- Tendeur hydraulique mesure P¹ ; dispersion : (-0.2;+0.4)
- Tendeur hydraulique allongement boulon ; dispersion : (-0.15;+0.15)
- Clé à main mesure rotation écrou ; dispersion : (-0.1;+0.1)
- Clé à main mesure rotation + couple ; dispersion : (-0.07;+0.07)
- Clé sans contrôle ; dispersion : choix utilisateur
- Clé avec contrôle ; dispersion : choix utilisateur
- Tendeur sans contrôle ; dispersion : choix utilisateur
- Tendeur avec contrôle ; dispersion : choix utilisateur

ISO : oui non

Coefficient de frottement de l'écrou (μ_n) :

Coefficient de frottement des filets (μ_t) :

Diamètre moyen d'appui sous tête (dn) :

Pas de filetage (pt) :

Diamètre sur flancs de la boulonnerie (dB2) :

VISUALISER LES PARAMETRES

VALIDER ET DEFINIR LE JOINT

Définition des joints

CAP 1591 Assemblage Calcul Documents ?

BRIDE 1 BRIDE 2 BOULONNERIE **JOINT** CONDITIONS D'UTILISATION ET MATERIAUX

Joint normalisé : oui non

Données relatives au joint sélectionné

Diamètre intérieur de l'aire de contact théorique du joint (dG1) : mm

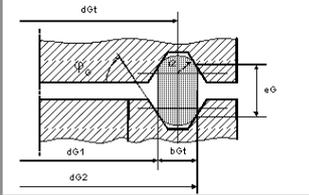
Diamètre extérieur de l'aire de contact théorique du joint (dG2) : mm

Epaisseur de joint (eGt) : mm

Rayon de courbure des faces du joint dans sa section droite (r2) : mm

Angle d'obliquité de la portée de joint (phiG) : deg

Type de joint : Annulaire plein surface courbe double contact Annulaire plein surface courbe simple contact



VALIDER ET DEFINIR LES CONDITIONS

Définition des conditions d'utilisation

CAP 1591 Assemblage Calcul Documents ?

BRIDE 1 BRIDE 2 BOULONNERIE JOINT CONDITIONS D'UTILISATION ET MATERIAUX

Nombre de situations : 1 La situation d'assise est considérée exceptionnelle

Pressions / Températures Efforts extérieurs Matériau de la bride 1 Matériau de la bride 2 Matériau du boulon Matériau du joint

Température homogène

Température de la bride 1 (T1) : °C 120,0

Température de la bride 2 (T2) : °C 120,0

Température des boulons (TB) : °C 20,0 120,0

Température du joint (TJ) : °C 120,0

Pression du fluide (P) : MPa 0 3,0

CAP 1591 Assemblage Calcul Documents ?

BRIDE 1 BRIDE 2 BOULONNERIE JOINT CONDITIONS D'UTILISATION ET MATERIAUX

Nombre de situations : 1 La situation d'assise est considérée exceptionnelle

Pressions / Températures Efforts extérieurs Matériau de la bride 1 Matériau de la bride 2 Matériau du boulon Matériau du joint

Force extérieure selon X (FX) : N 0 0 0

Force extérieure selon Y (FY) : N 0 0 0

Force extérieure selon Z (FZ) : N 0 0 0

Moment extérieur selon X (MX) : N.m 0 0 0

Moment extérieur selon Y (MY) : N.m 0 0 0

Moment extérieur selon Z (MZ) : N.m 0 0 0

Axe Z = Axe de révolution de l'assemblage

BRIDE 1 BRIDE 2 BOULONNERIE JOINT CONDITIONS D'UTILISATION ET MATERIAUX

Nombre de situations : 1 La situation d'assise est considérée exceptionnelle

Pressions / Températures Efforts extérieurs Matériau de la bride 1 Matériau de la bride 2 Matériau du boulon Matériau du joint

Module d'élasticité de la bride (EB) : MPa 210000 210000

Coefficient de dilatation de la bride (αB) : /°C 12,00 12,00

Contrainte normale de calcul de la bride (σB) : MPa 240,0 140,0

Contrainte normale de calcul de l'écrou (σE) : MPa 240,0 140,0

ES = FE

CAP 1591 Assemblage Calcul Documents ?

BRIDE 1 BRIDE 2 BOULONNERIE JOINT CONDITIONS D'UTILISATION ET MATERIAUX

Nombre de situations : 1 La situation d'assise est considérée exceptionnelle

Pressions / Températures Efforts extérieurs Matériau de la bride 1 Matériau de la bride 2 Matériau du boulon Matériau du joint

Module d'élasticité des boulons (EB) : MPa 210000 210000

Coefficient de dilatation des boulons (αB) : /°C 12,00 12,00

Contrainte normale de calcul des boulons (σB) : MPa 240,0 240,0

Contrainte nominale pour les écrous (σE) : MPa 0 0

CAP 1591 Assemblage Calcul Documents ?

BRIDE 1 BRIDE 2 BOULONNERIE JOINT CONDITIONS D'UTILISATION ET MATERIAUX

Nombre de situations : 1 La situation d'assise est considérée exceptionnelle

Pressions / Températures Efforts extérieurs Matériau de la bride 1 Matériau de la bride 2 Matériau du boulon Matériau du joint

Caractéristique

Visualisation et Gestion des caractéristiques de joint

Rigidité simulée par le montage d'essais (K) : 500000 N/mm

Coefficient de frottement du joint (μJC) : mm 0,00 0,00

Coefficient de dilatation du joint (αG) x1e-6 : /°C 10,00 10,00

Pression de contact max. admissible du joint (σmax) : MPa 0,0 0,0

Pression de contact minimale sur le joint (σmin ou σdmin) : MPa 0,0 0,0

Contrainte initiale (σa) associée à σdmin : MPa 0,0 0,0

Coefficient de frottement joint/face de bride (μG) : 0,0 0,0

Classe d'étanchéité* : mg/s/m <L10-9 <L10-9

* données additionnelles informatives (sans impact sur la suite du calcul). Valeurs provenant d'une extrapolation

Sélection des courbes de compression

Caractéristique :

- Feuille à base de fibre, sans amiante
- Feuille à base de fibre, sans amiante, "I" calandrée 1
- Feuille à base de fibre, sans amiante, "II" calandrée 2
- Feuille à base de fibre, sans amiante, EOI ["I" calandrée, à faible teneur en liant]
- Feuille à base de fibre, sans amiante, non tissé imprégné flexitallic CGI
- Graphite expansé à noyau en acier inoxydable 1
- Graphite expansé avec inserts métalliques minces et multiples
- Joint à enveloppe métallique avec garniture graphite 1
- Joint à enveloppe métallique avec garniture graphite 2
- Joint à enveloppe métallique revêtue de graphite avec garniture graphite et anneau de renforcement externe 1
- Joint à enveloppe métallique revêtue de graphite avec garniture graphite et anneau de renforcement externe 2
- Joint à noyau métallique ondulé à revêtement graphite
- Joint à noyau métallique ondulé à revêtement graphite, avec oeillet en acier inoxydable
- Joint à noyau métallique strié (Kammprofil) à revêtement graphite
- Joint spirale à garniture graphite avec anneau de renforcement externe
- Joint spirale à garniture graphite avec anneaux de renforcement interne et externe
- Joint spirale à garniture PTFE avec anneaux de renforcement interne et externe de faible dureté
- Joint spirale à garniture PTFE avec anneaux de renforcement interne et externe
- Kammprofil à revêtement graphite de marque déposée avec garniture secondaire métal/métal
- PTFE modifié 1
- PTFE modifié 2
- PTFE modifié avec garniture en carbure de silicium
- PTFE modifié avec garniture en fibre de verre
- PTFE modifié, expansé avec garniture graphite
- PTFE modifié, expansé avec oeillet interne réalisé en TFM 1600
- PTFE/Graphite avec oeillet métallique

CAP 1591 Assemblage Calcul Documents ?

BRIDE 1 BRIDE 2 BOULONNERIE JOINT CONDITIONS D'UTILISATION ET MATERIAUX

Nombre de situations : 1 La situation d'assise est considérée exceptionnelle

Pressions / Températures Matériau de la bride 1 Matériau de la bride 2 Matériau du boulon Matériau du joint

Caractéristique : Joint à enveloppe métallique avec garniture graphite 1

Visualisation et Gestion des caractéristiques de joint

Rigidité simulée par le montage d'essais (K) : 500000 N/mm

Coefficient de frottement du joint (μJC) : mm 0,075

Coefficient de dilatation du joint (αG) x1e-6 : /°C 10,00 10,00

Pression de contact max. admissible du joint (σmax) : MPa 400,0 400,0

Pression de contact minimale sur le joint (σmin ou σdmin) : MPa 0,0 0,0

Contrainte initiale (σa) associée à σdmin : MPa 0,0 0,0

Coefficient de frottement joint/face de bride (μG) : 0,0 0,0

Classe d'étanchéité* : mg/s/m <L10-9 <L10-9

* données additionnelles informatives (sans impact sur la suite du calcul). Valeurs provenant d'une extrapolation

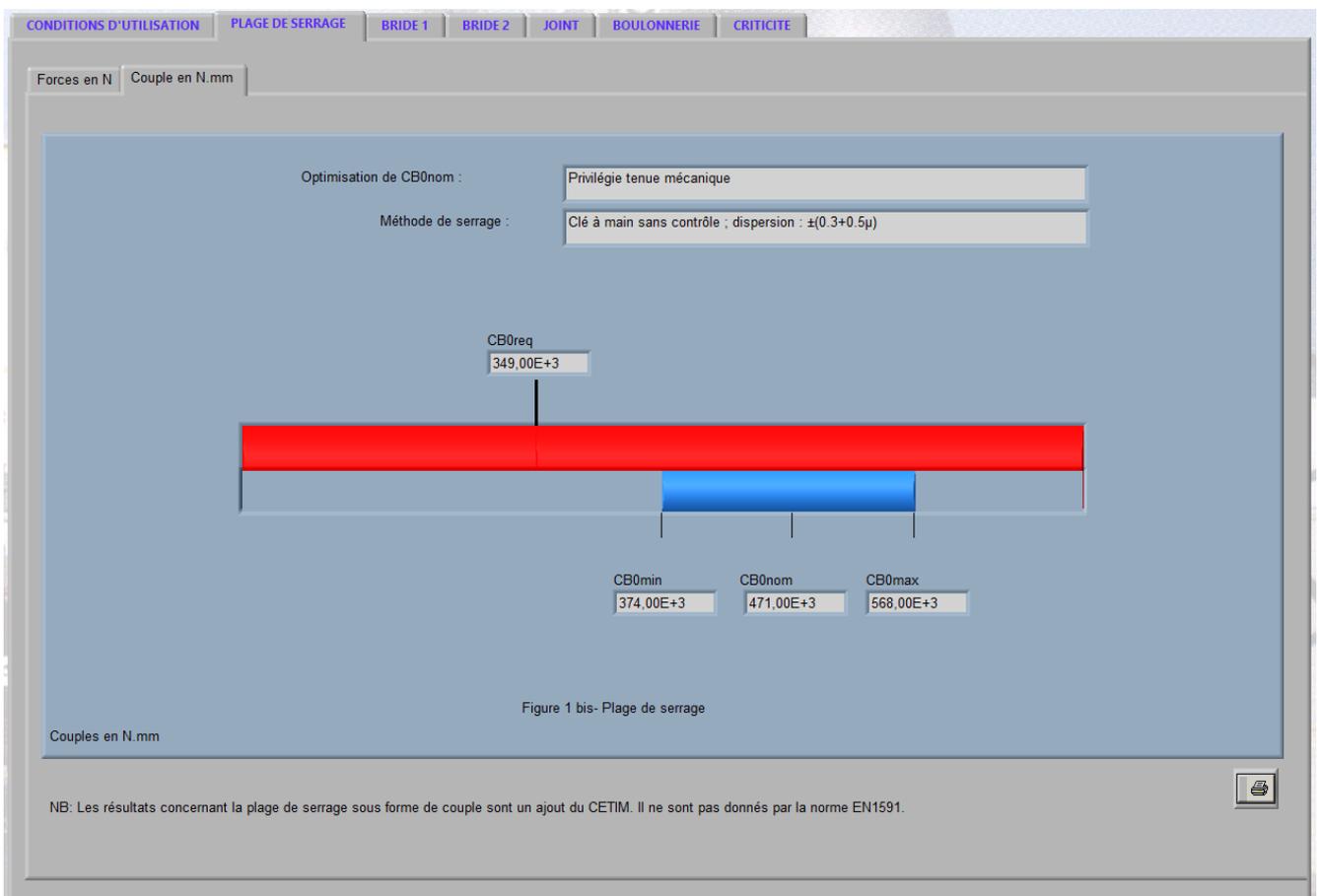
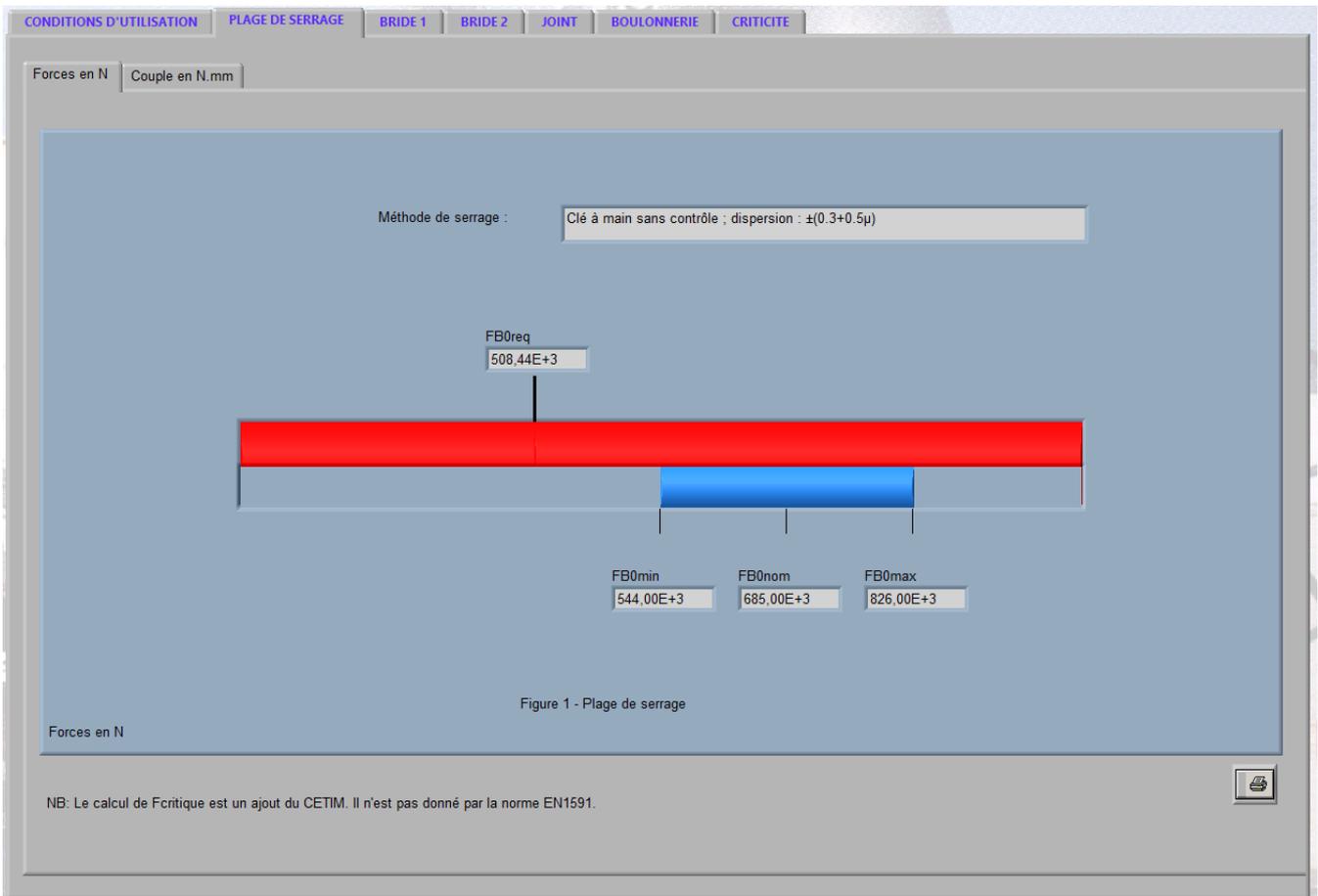
VALIDER LES CONDITIONS D'UTILISATION ET LES MATERIAUX

RETOURNER A LA FENETRE PRINCIPALE SANS SELECTIONNER DE CARACTERISTIQUES

NOUVELLE CARACTERISTIQUE DE JOINT

SELECTIONNER CETTE CARACTERISTIQUE ET RETOURNER A LA FENETRE PRINCIPALE

Résultats :



CONDITIONS D'UTILISATION | PLAGE DE SERRAGE | BRIDE 1 | BRIDE 2 | JOINT | BOULONNERIE | CRITICITE

N° Situation	Tx. de charge bride 1 (%)	Angle de rotation bride 1 (°)		
		Min	Nom	Max
0-assise	60	0,19	0,24	0,29
1-Situation 1	17	0,25	0,29	0,34

Tableau 2 - Résultats bride (et collet) N° 1

CONDITIONS D'UTILISATION | PLAGE DE SERRAGE | BRIDE 1 | BRIDE 2 | JOINT | BOULONNERIE | CRITICITE

N° Situation	Tx. de charge bride 2 (%)	Angle de rotation bride 2 (°)		
		Min	Nom	Ma
0-assise	60	0,19	0,24	0,29
1-Situation 1	17	0,25	0,29	0,34

Tableau 3 - Résultats bride (et collet) N° 2

CONDITIONS D'UTILISATION | PLAGE DE SERRAGE | BRIDE 1 | BRIDE 2 | JOINT | BOULONNERIE | CRITICITE

N° Situation	Tx. de charge boulon. (%)	Contrainte boulonnerie*			Allongement boulonnerie*		
		Min	Nom	Ma	Min	Nom	Ma
0-assise	105	278	350	422	0,079	0,099	0,120
1-Situation 1	32	318	388	459	0,090	0,111	0,131

*: Résultats additionnels CETIM non calculés dans la norme EN1591.

Tableau 5 - Résultats boulonnerie

CONDITIONS D'UTILISATION | PLAGE DE SERRAGE | BRIDE 1 | BRIDE 2 | JOINT | BOULONNERIE | CRITICITE

Taux de charge | Plage d'utilisation

N° Situation	Tx. de charge joint (%)	Effort sur le joint (N)*		
		Min	Nom	Max
0-assise	20	544000	685000	826000
1-Situation 1	2	565000	703000	840000

*: Résultats additionnels CETIM non calculés dans la norme EN1591.

Tableau 41 - Résultats du joint

CONDITIONS D'UTILISATION | PLAGE DE SERRAGE | BRIDE 1 | BRIDE 2 | JOINT | BOULONNERIE | CRITICITE

N° Situation	Valeur du taux de charge max (1)	Element le plus critique (2)	Signe produisant le cas le plus critique (3)
0-assise	105	boulonnerie	+
1-Situation 1	32	boulonnerie	+

Tableau 6 - Criticité de l'assemblage

Informations

Situation dimensionnante en bleu.

(1): Valeur maximale du taux de charge obtenue pour l'ensemble des éléments de l'assemblage (brides, collets, joints, boulons), dans la situation étudiée.

(2): Élément de l'assemblage (brides, collets, joint, boulons), soumis au taux de charge maximum dans la situation étudiée.

(3)

+ : Le taux de charge maximal obtenu dans la situation étudiée se situe du côté de l'assemblage où le moment extérieur induit un effet additionnel de traction.

- : Le taux de charge maximal obtenu dans la situation étudiée se situe du côté de l'assemblage où le moment extérieur induit un effet additionnel de compression.

NB : Sans moment extérieur, le signe + est retenu par défaut.

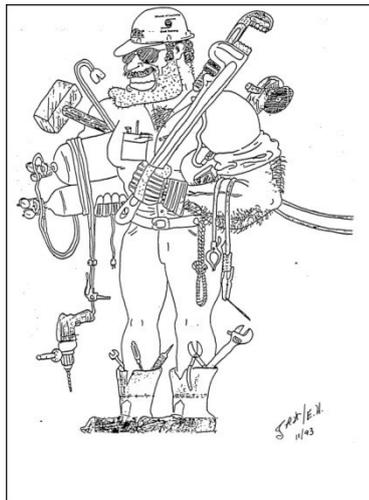
E Montage – Démontage, Serrage. (Extrait CETIM ressources CAP1591)

E1 Le contexte

Sur chaque site industriel il y a des robinets, des pompes, et des réservoirs sous pression. Ils sont, pour la plupart, raccordés à des tuyauteries par des assemblages boulonnés afin d'en faciliter le montage et le démontage. Pour assurer la continuité du fluide véhiculé on insère des joints d'étanchéité aux points de raccordements, qui sont des brides généralement. Chacune de ces liaisons est une source potentielle de fuite.

Les process évoluent et les niveaux de pression ou de température du fluide véhiculé sont de plus en plus élevés. En parallèle, les réglementations sur l'environnement, les recherches de fiabilité, de sécurité conduisent les concepteurs, les fabricants de composants, les utilisateurs à ne plus considérer que le seul comportement mécanique de la jonction, mais à prendre en compte également le paramètre "étanchéité" qui devient un critère de défaillance au même titre que les contraintes ou les déformations.

Il est admis que, sur site, de l'ordre de **80% des "problèmes de fuite" sont liés à des défauts de montage plus qu'à des défauts de conception ou à des "mauvais joints"**.



La présence du joint d'étanchéité ne permet pas d'aborder la phase de serrage de l'assemblage comme pour les assemblages mécaniques ou il y a contact immédiat entre les pièces métalliques.

Le joint assure en général l'étanchéité entre un fluide sous pression, coté intérieur, et l'atmosphère extérieure. L'effet de cette pression intérieure (effet de fond) tend à écarter les portées des brides en contact avec le joint et à les déformer (mise en parapluie). Les efforts extérieurs associés aux tuyauteries accentuent encore le phénomène: moments liés à de mauvais alignements, dilatations thermiques, fluctuations de pression.

Cet écartement des faces de brides peut conduire à une perte d'étanchéité.

On remarque que si le serrage du joint est trop faible, il y a risque de fuite, si le serrage est trop élevé il y a risque de destruction du joint (avec l'effet combiné de la température).

E2 Procédures de démontage

Avant de monter un joint il faut généralement démonter le précédent !

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
- 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 fileté 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)

E3 Procédures de montage

E3.1 Mise en place du joint

La mise en place du joint est généralement présentée comme la première phase du montage.

Il ne faut pas perdre de vue que la phase montage commence bien souvent au magasin ou l'on va choisir les joints à installer. Souvent le rangement et le stockage des joints n'est pas conforme à ce qu'il devrait être. On retient la plupart du temps un rangement "par dimensions" qui est insuffisant. Il faudrait le compléter par un classement "par fournisseur". Les caractéristiques d'un joint sont liées au matériau et à la technique de fabrication. Les joints sont souvent "composites" et dépendent donc très directement de ces techniques de fabrication.

Les quelques règles à suivre pour une bonne mise en place du joint:

- Ne jamais réutiliser un joint usagé (ni même un joint seulement écrasé au cours d'un serrage avorté).
- Vérifier que les bavures des joints plats découpés sont bien été éliminées. Celles qui subsisteraient après la découpe créent souvent des surépaisseurs qui sont à l'origine de fuites. Si nécessaire, les éliminer, en prenant les précautions qui s'imposent- surtout s'il s'agit d'amiante.
- Ne pas tenter de modifier l'épaisseur d'un joint en l'usinant, en l'écrasant au marteau (!) en le rasant au couteau, à la toile émeri.
- Vérifier que le joint n'a pas été détérioré ou, déformé lors de sa manutention ou par un mauvais stockage.
- S'assurer du bon état et de la propreté des portées de joints. Les portées doivent être propres, planes, parallèles entre elles et de rugosités similaires ; elles ne doivent pas être corrodées, ni présenter de rayures radiales. On notera l'importance du démontage du joint qui a été utilisé précédemment. Il n'est pas rare qu'il adhère aux portées et pour le décoller on peut avoir recours à des outils qui abiment la portée.

Le joint doit être monté complètement sec. L'utilisation de pâtes, de graisses... (en vue d'éviter le collage du joint, de parfaire l'étanchéité, ...) est fortement déconseillée.

Il faut vérifier que le joint mis en place est ... "le bon", c'est à dire du même type, du même fabricant que le précédent, qu'il a les bonnes dimensions. Si un joint satisfait l'utilisateur, il est important de ne pas en changer sauf nécessité de réglementation ou de changement de Process.

Il faut savoir que certains types de joints, comme les joints spiralés, ont un comportement très différent d'un fournisseur à l'autre. L'effort de serrage peut, dans certaines circonstances, varier d'un coefficient 2 (avec des extrêmes à 5 fois) entre les joints proposés par deux fabricants. De la même façon, chez un même fabricant, les joints spiralés à insert amiante n'auront pas les mêmes caractéristiques de compressibilité qu'un joint à insert PTFE ou graphite.

Il convient également de vérifier que le joint ne déborde pas sur l'intérieur de la portée.

E3.2 Accostage des brides

Après la mise en place du joint il faut vérifier le bon alignement des tuyauteries et le parallélisme des portées de brides. Le serrage du joint en dépend. Dans le cas de mauvais parallélisme le serrage rapproche les brides et tend à compenser le défaut plus qu'à comprimer le joint!

Si la procédure de serrage et les moyens de serrage sont adaptés et respectés, l'effet des défauts d'alignement de la tuyauterie ou les défauts de parallélisme des portées seront minimisés.

Les tolérances d'alignement précisent que les faces des brides, avant serrage, doivent présenter un parallélisme au moins égal à 1mm sur un diamètre de 200mm (soit 0,3 degré). Certains utilisateurs sont plus exigeants et demandent une tolérance de 0,5 mm pour un diamètre de 200mm.

Il est admis par contre que cette tolérance supérieure est acceptable pour les tuyauteries de petit diamètre, particulièrement si elles ne sont pas connectés à des composants sensibles au « mésalignement »

Les trous pour la boulonnerie doivent eux être alignés avec une tolérance inférieure à 3mm.

E3.3 Procédure de serrage de la boulonnerie

E3.3.1 Nettoyage et lubrification de la boulonnerie

Avant utilisation, la boulonnerie doit toujours être soigneusement nettoyée. On peut faire exception à cette règle quand on utilise de la boulonnerie revêtue neuve.

Le nettoyage et la lubrification de la boulonnerie fournissent l'occasion d'examiner l'état des filetages. On vérifiera que les écrous se vissent facilement sur la vis, au moins jusqu'à la position qu'ils occuperont une fois serrés. On pourra de cette façon éliminer (ou réparer en utilisant filière ou taraud) les vis ou écrous dont le filet aurait été mal usiné, abîmé ou arraché (chute,...)

Si la boulonnerie est serrée par vissage, sauf exception rare, on **s'assurera que l'ensemble des parties frottantes sont bien graissées** -mais sans excès- avec une graisse qualifiée (dont on a reconnu le bon pouvoir lubrifiant, et la bonne tenue à la température et à l'oxydation, la faible agressivité chimique...

- filetage(s) de la vis,
- taraudage de l'écrou -et éventuellement taraudage de l'appareil sous pression,
- embase de l'écrou,
- les deux faces des rondelles,
- la surface portante des brides.

Dans certaines circonstances très particulières, on peut préférer ne pas graisser la boulonnerie : en effet, si la graisse facilite le vissage, elle facilite de la même façon le dévissage spontané de la boulonnerie. Aussi, pour des machines très sollicitées en vibration, on trouve parfois de la boulonnerie non graissée. Les couples de matériaux de la boulonnerie doivent alors être choisis avec soin, en particulier pour éviter le grippage.

Ne pas oublier que la graisse joue aussi un rôle protecteur contre la corrosion, ce qui n'est pas négligeable car la protection par de la peinture sur le bout des vis ne se révèle pas être une solution très astucieuse lorsqu'il faut dévisser les écrous ! Il vaut mieux prévoir des capots protecteurs pour protéger le filetage de la vis, et pour que la graisse ne soit pas éliminée trop facilement.

Une pratique qui facilite le desserrage de la boulonnerie est d'engager complètement l'écrou sur un côté de la tige filetée de sorte que tout excès de graisse se retrouve du côté opposé.

E3.3.2 Serrage par tendeurs hydrauliques

Pour obtenir une homogénéité des efforts aussi bonne que possible, l'idéal est de pouvoir serrer simultanément l'ensemble (ou au moins la moitié) des boulons. Un tel serrage peut être réalisé à l'aide d'un ensemble de vérins tendeurs de goujons. L'utilisation de tendeurs nécessite presque toujours le sur serrage du joint d'environ 10 à 30% (variable avec les fournisseurs) car, lors de l'accostage de l'écrou, il se produit presque toujours une perte de serrage.

E3.3.3 Serrage boulon par boulon

Lorsque le serrage se fait boulon par boulon, que ce soit avec une clef ou avec un vérin, le serrage doit impérativement être réalisé :

- en croix, ou quelquefois en étoile : le principe de ces méthodes consiste à serrer le boulon le plus éloigné de celui (de ceux) qui vient d'être serré.
- et de façon progressive, c'est-à-dire en plusieurs passes.

• Ce n'est qu'une fois tous les boulons serrés à leur valeur nominale que l'on pourra, pour parfaire l'homogénéité des efforts, reprendre le serrage dans un ordre quelconque, par exemple les uns à la suite des autres, ou en sens inverse ...

Pour éviter les erreurs, il est recommandé de repérer la position des boulons, en numérotant leurs trous de passage les uns à la suite des autres, par exemple à la craie, lorsque cela est permis (on peut également les numérotter dans l'ordre du serrage, mais comme celui-ci n'est pas immuable, on préférera la première solution).

E3.3.4 Mise en place de la boulonnerie, et accostage des écrous

On évitera de mélanger les différentes pièces si les boulons sont appariés.

On rappelle en effet, que sous la charge de serrage, les diverses parties du boulon s'adaptent les unes aux autres, et qu'on a intérêt à appairer les boulons vis, (rondelles, écrous, éventuellement avec leur taraudage...) pour minimiser les effets d'un nouveau serrage. Au démontage, on aura pris soin de revisser les écrous sur leur vis (les écrous permettent d'ailleurs de cette façon de protéger les filetages des vis).

La boulonnerie sera mise en place en respectant éventuellement l'emplacement des goujons dans leur taraudage. Le vissage des goujons doit se faire facilement. Il faut interrompre très vite le vissage si un dur survient : le frottement, en dégageant de la chaleur, ne fait qu'aggraver la situation. Si le dur persiste, dévisser le goujon avant que ce retour ne devienne impossible, et voir s'il ne reste pas des copeaux, des cheveux d'anges...

On prendra soin de mettre l'écrou dans le bon sens.

Lorsque les écrous sont forgés, il est fréquent qu'une seule face de l'écrou soit usinée (l'usinage de cette surface pendant la même phase de tournage que le taraudage assure une bonne perpendicularité de cette face d'appui avec l'axe du taraudage). L'autre face est quelquefois repérée, poinçonnée, ...donc inapte à frotter correctement.

Certains matériels utilisent des écrous à embase qui permettent difficilement le serrage s'ils sont montés à l'envers (les contraintes de serrage entre l'embase et la bride serrée sont moindres qu'avec un écrou ordinaire).

Quels que soient les moyens de serrage retenus (clef, vérin, ...) les écrous seront d'abord vissés fermement à la main jusqu'à prendre appui sur les brides (gants obligatoires !). A l'occasion de cet accostage manuel, l'opérateur peut découvrir des défauts : mauvaise perpendicularité d'un taraudage, copeau, grain de "sable" sous l'écrou ou la rondelle, dur dans le vissage, ...

E3.3.5 Serrage du joint

La phase de serrage est particulièrement importante pour un assemblage avec joint d'étanchéité. En règle général, pour des brides à face plane ou surélevée, joint "flue": il continue en effet à s'écraser même lorsque la force de serrage reste constante. Sur assemblage boulonné industriel cela conduit la plupart du temps à un desserrage du joint. Ce fluage dépend du type de joint mais aussi de la bride (DIN plutôt flexible comparée à une ANSI), de la boulonnerie.

Le serrage initial appliqué au joint va influencer très directement sur les performances du joint en service (performances mécaniques et étanchéité), d'où l'importance de cette phase.

E3.3.5.1 Première passe de serrage

Lorsque l'ensemble des boulons ne peut pas être serré simultanément, la première passe de serrage doit impérativement être faite en croix (ou en étoile), et à une valeur relativement faible, pour asseoir correctement le joint. L'écrasement du joint est en effet relativement important au début de sa compression, et les amplitudes des interactions élastiques sont donc importantes.

Le serrage recherché pour cette première passe ne doit pas dépasser 20 à 25 % de l'effort final désiré (20 à 25 % du couple nominal, 20 à 25 % de la pression dans les vérins de tension ...). La deuxième passe sera ainsi en mesure de pouvoir corriger les inhomogénéités du serrage, car le joint n'étant pas trop comprimé, il sera encore capable de se déformer suffisamment (il perdrait cette faculté en étant trop serré).

L'ordre de serrage sera le suivant :

- 4 boulons : Serrage en croix : 1 3 4 2
- 8 boulons : Serrage en étoile : 1 4 7 2 5 8 3 6
- 12 boulons : Serrage en croix : 1 7 10 4 puis 9 3 6 12 et 5 11 2 8
- ou Serrage en étoile : 1 6 11 4 9 2 7 12 5 10 3 8

(Serrage compliqué préférable ici car somme toute moins compliqué !).

Pour cette première passe, chaque boulon pourra n'être serré qu'une seule fois, même si l'on peut constater que certains boulons se retrouvent fortement desserrés.

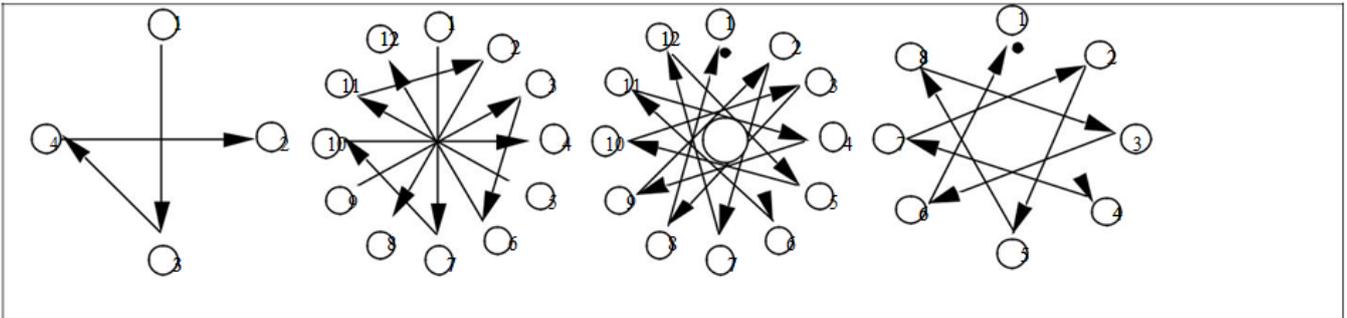


Figure 6 : serrage « en croix » de la boulonnerie

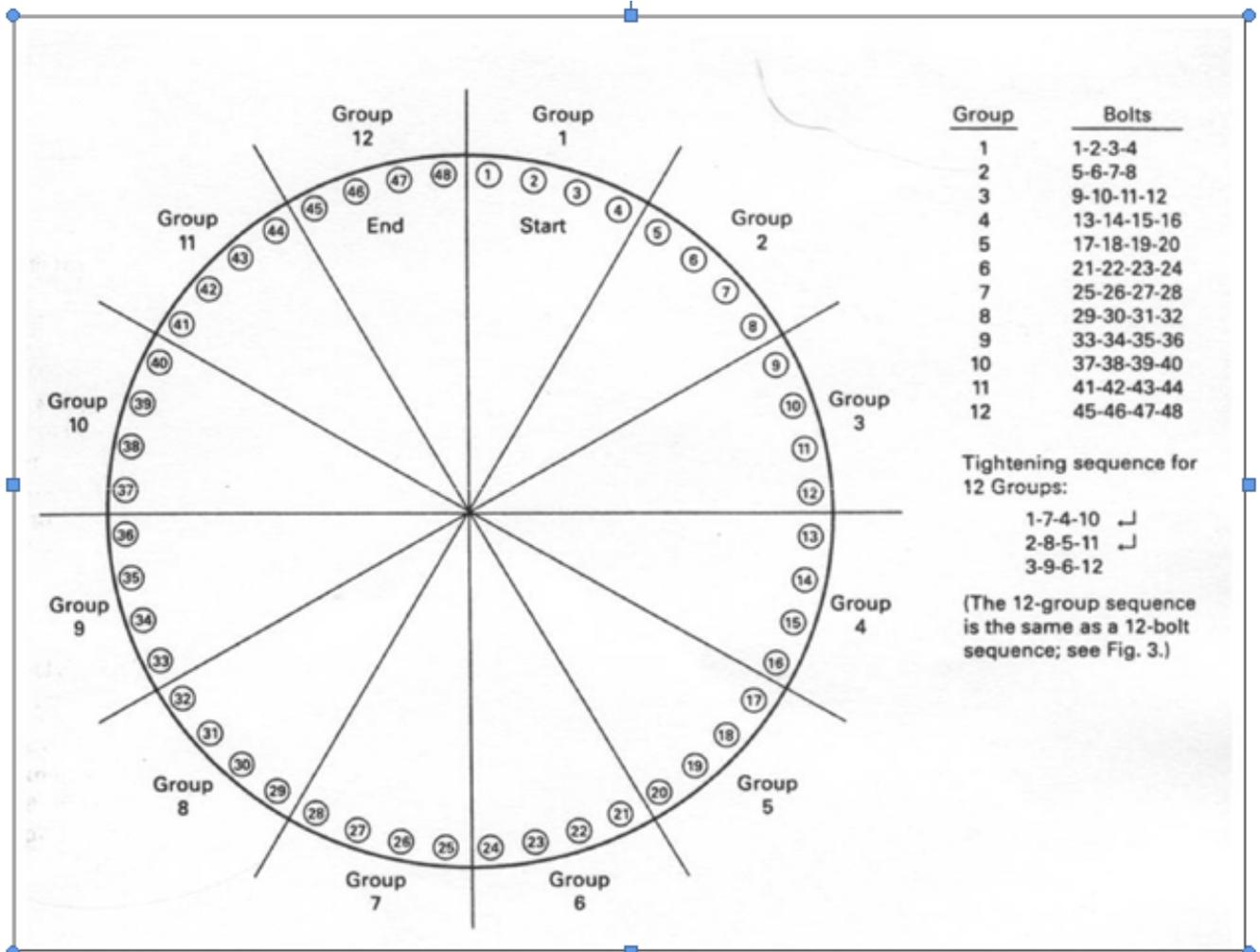


Figure 7 : Serrage « en croix » - Application aux brides de grand diamètre

E3.3.5.2 Deuxième passe de serrage

Dès la première passe effectuée, on reprend le serrage du premier boulon, mais cette fois à une valeur supérieure. On peut viser ici 50 à 60 % de l'effort nominal recherché.

L'ordre de serrage des boulons sera le même que pour la première passe.

De la même façon, chaque boulon pourra n'être serré qu'une seule fois.

Si le contact métal/métal est requis en service, il est probable que ce contact devra être obtenu au cours de cette passe. S'il n'y a qu'un limiteur d'écrasement pour empêcher le surserrage du joint, le contact métal/métal pourra n'être obtenu qu'à la troisième passe.

E3.3.5.3 Deuxième passe de serrage

Pour cette troisième passe, on se fixe d'atteindre l'effort nominal recherché : 100 % du couple spécifié, 100 % de l'allongement prévu, 100 % -ou plutôt 130%!- de la pression dans le tendeur. Le serrage des boulons sera toujours effectué dans le même ordre que précédemment (en croix ou en étoile) même si le limiteur d'écrasement est atteint (cela ne gêne en rien).

Une fois tous les boulons serrés ainsi une troisième fois, on refera une quatrième passe de façon à resserrer chaque boulon, une seconde fois à la valeur nominale (cela s'avère généralement nécessaire pour respecter la tolérance de serrage).

Pour laisser au joint le temps de fluer, on pourra attendre une heure (ou plus, bien sûr) avant d'effectuer la quatrième passe.

Si de trop grandes dispersions existent, il n'est pas interdit de faire une cinquième passe, voire une sixième...! (mais on s'éloigne du "réalisme industriel")

Pour conserver une certaine homogénéité des contraintes dans la boulonnerie (en particulier les contraintes de torsion), la valeur nominale du serrage sera atteinte en serrant. Si l'effort de serrage dépasse la valeur de consigne et doit être réduit, on desserrera le boulon un peu plus que nécessaire, pour reprendre le serrage dans le "bon" sens : en serrant.

Remarques

Certaines procédures prévoient au contraire de terminer l'opération de serrage en dévissant tous les boulons, soit pour diminuer les contraintes de torsion dans la boulonnerie, soit parce que l'on a voulu surcomprimer le joint au départ pour diminuer sa porosité et le rendre plus étanche. Mais avant de démarrer, il faut rétablir le serrage nominal requis par les calculs.

D'autres procédures demandent de dévisser et revisser complètement les boulons l'un après l'autre afin de mesurer le serrage résiduel lors du resserrage ou de regraisser la boulonnerie.

Dans de très rares cas, il est demandé de terminer le serrage par un très léger dévissage des écrous pour réduire les contraintes de torsion dans les vis. Mais cette pratique ne se justifie que lorsque l'on craint une rupture par fatigue, ou par corrosion sous tension car il est difficile de s'assurer des efforts résiduels.