



## **Les jonctions démontables :**

Les jonctions démontables seront étudiées en fonction de la nature des joints : joint élastomère, joint métallique. Elles sont très nombreuses, nous limiterons donc notre étude aux liaisons les plus courantes en technique du vide.

# 1. Joints élastomères :

## Les caractéristiques des joints élastomères :

Ces joints sont caractérisés par leur dureté (50 à 80° shores) qui détermine l'effort nécessaire à leur écrasement ; par leur restitution élastique qui indique leur résistance au fluage. Il faut également les choisir en tenant compte de leur gamme de température d'utilisation. Enfin, leur perméabilité au gaz et leur taux de dégazage seront choisis en fonction du domaine de vide dans lequel on veut travailler.

On retient comme matériaux les plus couramment utilisés le perbunan et le viton. Le domaine d'utilisation du perbunan est le vide grossier jusqu'à  $10^{-5}$  mbar ( nuance PB 651, PB 65-19 de LJF ou HP1 d'Impervia). En cas d'emploi à des températures jusqu'à 250° C ou de vide poussé ( $10^{-5} > P > 10^{-7}$  mbar) on adopte le viton (DF 150 de LJF ; 70 V 51 ou 70 V 107 d'Impervia).

Certains traitements doivent être appliqués aux joints. Sur le perbunan, il suffit de retirer avec un chiffon et de l'alcool le produit gras qui y est déposé. Puis on peut étuver sous vide à 80° C. On procède de même pour le viton mais cette fois on étuve sous vide à 100-150° C pendant 24 heures.

Les joints élastomères sont conservés à l'abri de la lumière.

L'Étanchéité avec les joints élastomères est obtenue sans aucun apport de graisse.

## Tenue des élastomères aux radiations : (extrait de : TENUE DES ELASTOMERES AUX RADIATIONS Michèle. ANGLES, CESTA/DIA/SIA/GAFP, B.P. n°2, 33114 LE BARP)

Dans les installations soumises à d'importants débits de dose et doses de rayonnement, les élastomères utilisés comme joints ne doivent pas se détériorer pour rester fonctionnels et ne pas libérer de produit incompatible avec le vide ou le process. Les élastomères, composés organiques sont malheureusement des produits très sensibles aux rayonnements. Ils sont sensibles aux rayonnements du fait des processus chimiques irréversibles intervenant quand les liaisons covalentes, dans ce cas les liaisons C - C, C - O, O - H et C - H, sont excitées ou ionisées par irradiation. Fréquemment les liaisons sont cassées et il se forme de nouveaux composés.

Les effets des rayonnements sur les élastomères n'ont pas été spécifiquement étudiés pour pouvoir choisir celui qui résistera le mieux et produira le moins de gaz. Nous disposons malgré tout de données sur différents polymères, à considérer comme génériques, testés dans différents environnements, ce qui permet de procéder à des tris.

L'environnement près duquel ou dans lequel se trouve le polymère peut jouer un rôle important en présence de rayonnement :

- atmosphère ambiante (température, oxygène, eau, ventilation, vide, pression atmosphérique),
- matériaux directement au contact,
- contraintes mécaniques et électriques (présence de haute tension).

## Dégradations mécaniques due au rayonnement :

La résistance de différents caoutchoucs est reportée dans le tableau A3 en fonction de différents niveaux d'irradiation ionisante. Ces données ont été obtenues, essentiellement sous vide.

Dans le groupe des élastomères (tableaux A1 et A3) le souci principal est de maintenir l'élasticité après irradiation. Les élastomères les plus stables sont les polyuréthanes et les phénylsilicones (utilisables bien au-dessus de  $10^6$  Gy). Les caoutchoucs nitrile, styrène-butadiène et naturel peuvent également être utilisés jusqu'à  $10^6$  Gy. Le caoutchouc butyle se liquéfie et le néoprène émet des vapeurs d'HCl à ce niveau de dose.

### **Dégradation chimique due au rayonnement :**

Les différents rayonnements produisent normalement les mêmes effets qualitatifs sur les polymères, principalement la rupture des liaisons chimiques (formation de radicaux libres), la formation de molécules gazeuses (hydrogène et gaz corrosifs, tableau A5). Dans les polymères, la rupture des liaisons chimiques se traduit par la réticulation et la scission des chaînes, qui peut se compliquer par une attaque des produits intermédiaires par des éléments extérieurs comme l'air ou l'eau. Les polymères présentent une tendance à la réticulation plutôt qu'à la scission des chaînes ou vice-versa, les deux processus coexistant (tableau III).

Au fur et à mesure que la dose croît, les polymères dont les chaînes ont tendance à se réticuler deviennent plus résistants et durs jusqu'à la cassure et les polymères dont les chaînes se cassent deviennent plus mous et peuvent éventuellement se liquéfier. La réticulation conduit à un accroissement du poids moléculaire, de la température de ramollissement, du module d'Young, de la force de traction et à une diminution de la solubilité. Les effets inverses sont obtenus avec les polymères dont les chaînes ont plutôt tendance à se casser. L'élasticité diminue dans tous les cas. La formation de gaz est plus systématique en présence de réticulation.

Par exemple, le Viton irradié à des débits de dose de  $10^4$  Gy/h devient progressivement plus dur, raide et éventuellement cassant à mesure que la dose globale augmente. L'oxydation dans ces conditions est limitée à la surface et les changements moléculaires internes sont principalement le fait de réticulations. A contrario, lorsque le Viton est irradié à des débits de dose de  $10^2$  Gy/h, il devient progressivement plus mou, tendre et étirable à mesure que la dose globale augmente. L'oxydation dans ces conditions est pratiquement homogène dans tout le matériau et les changements moléculaires internes sont dominés par la scission des chaînes.

### **Choix d'élastomères :**

Les produits caoutchoutés seront choisis selon les deux plus importantes exigences, mécanique, thermique, électrique ou chimique auxquelles ils devront satisfaire (tableau IV), en y ajoutant bien entendu la sensibilité aux rayonnements (tableau A3).

Parmi les élastomères susceptibles d'être utilisés comme joints, on peut noter des différences pour le polyuréthane et l'éthylène propylène, les doses acceptées étant plus grandes pour des spectres contenant uniquement des rayonnements gammas.

Le caoutchouc butadiène acrylonitrile généralement employé, voit son utilisation limitée à des doses de  $3 \cdot 10^6$  Gy, l'adjonction d'antigrays double cette limite. Des joints de cette qualité sont commercialisés.

Le caoutchouc naturel résiste à des doses de  $5 \cdot 10^6$  Gy quand il est irradié sous vide. L'irradiation dans l'atmosphère ambiante provoque la formation d'ozone, qui produit des fissures dans les joints (à partir de 100 ppm).

Les joints d'étanchéité pour le vide qui remplissent les conditions suivantes (bonne tenue aux radiations, bonnes caractéristiques mécaniques, très bonne imperméabilité aux gaz, faible taux de dégazage, bonne résistance aux huiles, graisses et gaz oxydants) sont certains polyuréthanes, certains éthylènes propylènes, certains butadiènes acrylonitriles avec antigrays. Certaines compositions des deux premiers types pourraient être employées à l'extrême limite jusqu'à des doses de  $2 \cdot 10^7$  Gy.

Les caoutchoucs essayés (Butyle, Viton, Néoprène, Hypalon, Silicone, Butadiène styrène, caoutchouc naturel, Butadiène Acrylonitrile P60, PA150 et 138.70, Ethylène propylène 5 et 1991.17, Polyuréthane) se sont révélés utilisables pour des doses comprises entre  $10^6$  et  $10^7$  Gy, à l'exception du Butyle qui est très peu résistant. Les résultats pour une même catégorie d'élastomères sont différents suivant l'origine des matériaux et la méthode de fabrication.

## Annexes :

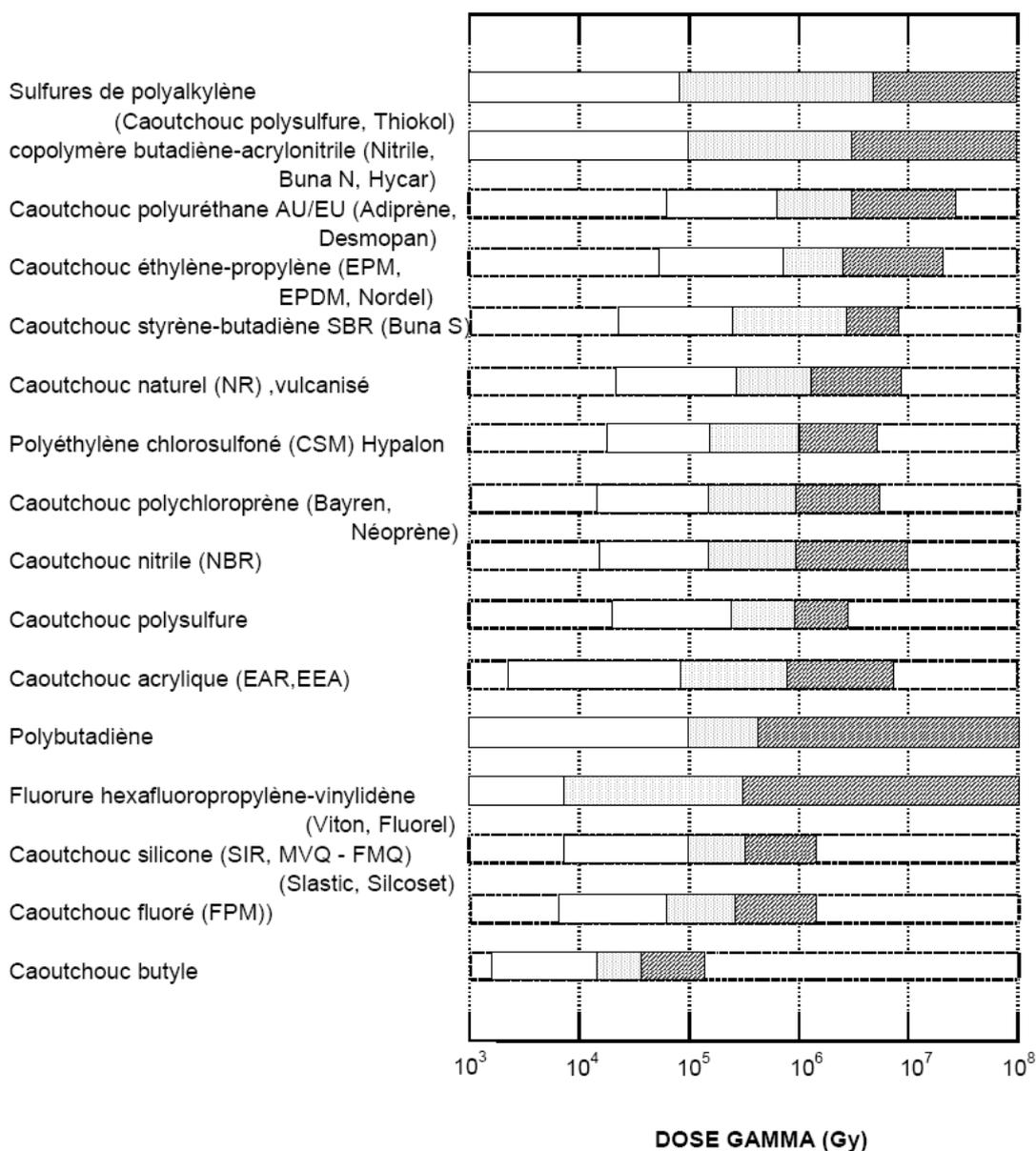
**TABLEAU A1 : ELASTOMERES (FAMILLE, NOM, PRODUIT)**

FAMILLE	NOM CHIMIQUE	APPELLATION COMMERCIALE
<b>ACRYLIQUES</b>	Polyacrylate	Acrylon, Angus HR, SH, Cyanocryl, Hycar, Lactaprène, Paracril OHT, Precision acrylics, Thiacril, Vyram
<b>BUTYLE GRI</b>	Isobutylène – isoprène (IIR)	Bucar butyl, Enjay butyl, Hycar, I.I. rubber, Oppanol B, Petro-Tex butyl, Polysar butyl, Precision butyl, Vistanex MM
<b>CAOUTCHOUC NATUREL (NR)</b>	Polyisoprène naturel	Coral, Crêpes, DPR, Latex, Natsyn, Okolite, Shell isoprène, Trans P.R.
<b>ELASTOMERES FLUORES</b>	Fluorure de vinylidène hexafluoropropylène	Angus VA, SV, Fluorel, Precision fluoro, Viton
	Fluoro- silicone	Precision fluoro silicone, Silastic LS 53
	Fluorure de trifluorochloro-éthylène-vinylidène	Kel F
<b>EPR</b>	Ethylène propylène	Angus KR, APK, C 23, Dutral N, Enjay EPR, Nordel, Oléthène, Royalène, Vistalon
<b>HYPALON</b>	Polyéthylène chlorosulfoné	Angus HN, Hypalon, Precision Hypalon
<b>NEOPRENE GRM</b>	Chloroprène, polychlorobutadiène	Angus G, Baypran, Néoprène, Okoprène, Perbunan C, Precision néoprène, Sovprène, U.S. rubber neoprene
<b>NITRILES – BUNA N – G.R.A. - NBR</b>	Butadiène acrylonitrile	Angus DS, WR, FR, LR, E, P, Butacril, Butraprène, Chemigum, Chemivic, FR-N, Herecrol, Hycar OR, Krynac, Parker nitrile, Perbunan, Polysar Krynao, Precision Nitrile, Royalite, Tylac
<b>POLYBUTADIENE - BUNA – S.K.A.</b>	Butadiène (PBD)	Ameripol CB, B R rubber, Bubène, Cisdène, Diène, Duradène, Duragen, Polysar tactène, S.K.B., Texas sympol EBR trans 4 ou cis 4
<b>POLYISOPRENE SYNTHETIQUE</b>	Polyisoprène synthétique (IR)	Améripol SN, Coral, DPR, Natsyn, Philprène, Shell IR, Trans PIP Cariflex
<b>POLYURETHANNE (PUR)</b>	Diisocyanate-polyester ou polyéther	Adiprène, Chemigum XSL, Conathène, Contilan, Cyanoprène, Desmodur, Desmolin, Disogrin, Elastocast, Elastolan, Elastothane, Estane, Genthane, Guidfoam, Lamigon, Mearthane, Microvon, Multrathane, Pagulan, Phoenolan, Polyvon, Precision uréthane, Roylar, Solithane, Texin, Vorylen, Vulcaprène, Vulcalan, Vulkollan
<b>SBR – BUNA S – GRS - SKB</b>	Butadiène - styrène	Améripol, Angus R.G., ASRC Polymers, Butaprène S, Carbonix, Cariflex, Chemigum IV, Copo, Darex, Duradène, Flosbrène, FR-S, Genflow, Gentro, Hycar OS, E, TT, Krylène, Kryflex, Navgapol, Naugatex, Philprène, Pioflex, Piolite S, Pliotuf, Polysar S, S Polymers, Solprène, Sympol, Tylac
<b>SILICONE (MVQ-FMQ)</b>	Polysiloxane	Angus SIL, SIS, Arcosil, Cohrlastic, Fair prène, General Electric SE HW, Parker silicone, Rhodorsils, RTV, Silastène, Silastic, Union Carbide K.Y.
<b>THIOKOL GRP</b>	Polysulfure organique	Alkylène polysulfide, F.A. polysulfide rubber, Perduren, Precision Thiokol, S.T. polysulfide rubber, Thioplasts, Vulcaplas
<b>VINYLPYRIDINE</b>	Butadiène-2-méthyl-5-vinyl pyridine	Philprène

TABLEAU A2 : DONNEES SUR LES MATERIAUX UTILISES DANS L'ESPACE

MATERIAU	T °C (en continu)	Seuil d'irradiation (Gy)	Stabilité aux UV et dans le vide	Evaluation relative	Remarques
Caoutchouc naturel (type durci aux rayonnements)	-40 à 107 °C	2 10 <sup>5</sup> à 2 10 <sup>6</sup>	passable	B	Elastomère anti-vibration, isolant de fil et gainage
Caoutchouc polychloroprène (Néoprène)	-50 à 120 °C	3 10 <sup>4</sup> à 2 10 <sup>6</sup>	moyen	C	Gaine de câble en élastomère, moulages, pare-chocs, amortisseurs, gainages non isolants
Caoutchouc Néoprène modifié, tuyaux, thermorétractable, flexible	-50 à 120 °C	3 10 <sup>4</sup> à 3 10 <sup>6</sup>	moyen	C	Pour réparer les enveloppes où la résistance à l'huile est nécessaire, ramollit dans les solvants benzéniques et dans les cétones
Caoutchouc synthétique (Buna N) (IR)	-40 à 120 °C	10 <sup>5</sup>	moyen	C	Gainage de câble, isolation de fil
Caoutchouc butyle (PIB)	-50 à 120 °C	10 <sup>4</sup> à 10 <sup>5</sup>	bon	C	Elastomère anti-vibration, isolant de fil et gainage
Monochlorotrifluoroéthylène (Kel F, AMS 3650)	-70 à 150 °C	3 10 <sup>4</sup> à 2 10 <sup>5</sup>	moyen	C	Isolant électrique, élastomère thermoplastique, cassant aux UV, peut dégager des gaz corrosifs

TABLEAU A3 : TOLERANCE AU RAYONNEMENT GAMMA DES CAOUTCHOUCS



On se reportera au synoptique suivant pour interpréter ce tableau :



<b>Domage</b>	indécelable	début à léger	léger à modéré	modéré à sévère	destructif
<b>Utilisation</b>	sans restriction	presque toujours possible	souvent satisfaisante	limitée	impossible

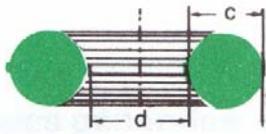
**TABLEAU A5 : DEGAZAGE DES ELASTOMERES SOUS IRRADIATION**

POLYMERE	GAZ* DEGAGE à 10 <sup>7</sup> Gy (ml/g)	G**	COMPOSITION DES EMISSIONS GAZEUSES
Acryliques	28		
Butyle (IIR)	13		
Caoutchouc naturel (NR)	7		H <sub>2</sub> + CH <sub>4</sub> (95%), CO <sub>2</sub> + C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> (5%)
Caoutchouc polyuréthane		0,7	
Polychloroprène (Néoprène)	2 - 4	0,1	
Nitrile	5 - 10		NH <sub>3</sub> (8%), H <sub>2</sub> (24%), C <sub>2</sub> N <sub>2</sub> (68%)
Polybutadiène (PBD)	5	0,2	H <sub>2</sub> + CH <sub>4</sub> (100%)
Polyisoprène (IR)	10		H <sub>2</sub> + CH <sub>4</sub> (95%), CO <sub>2</sub> + C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> (5%)
Polyisobutylène	17 - 20	0,87	H <sub>2</sub> + CH <sub>4</sub> (95%), CO <sub>2</sub> + C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> (5%)
Polysulfure	6		
Caoutchouc styrène butadiène (SBR)	4	0,15	H <sub>2</sub> + CH <sub>4</sub> (80%), CO <sub>2</sub> + C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> (20%)
Polysiloxane (Silicone)	20	0,6	

\* La quantité de gaz formé a été mesurée à partir d'échantillons de 0,2 à 0,5 gramme à température ambiante et sous vide.

\*\*G est le nombre de molécules formées par 100 eV d'énergie absorbée par le polymère.

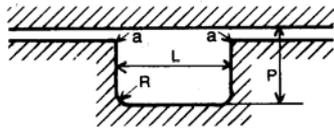
## Les joints toriques :



Les joints toriques sont caractérisés par leur diamètre intérieur D et leur corde d. Il en existe une grande diversité. Ils peuvent être éventuellement mis à dimension en les coupant (normalement) et en les collant (par ex. avec de la cyanolite).



Les joints doivent être obligatoirement retenus dans une gorge (force de la pression atmosphérique). Une gorge de section rectangulaire est le plus souvent retenue. Son diamètre moyen est de 3 à 5 % supérieur à celui du joint de façon à ce qu'il serre à l'intérieur. Sa profondeur est environ égale au  $\frac{3}{4}$  de la corde afin de permettre un écrasement compris entre 15 et 30%. Le coefficient de remplissage de la gorge, de 90 à 95%, autorise une dilatation du joint à la chaleur. Les portées doivent être planes et les ondulations, strictement circulaires, ont une profondeur comprises entre 0,8 et 3,2  $\mu\text{m}$ . Les stries radiales doivent être rigoureusement proscrites (traçage, fraiseuse). Les brides sont façonnées au tour et non rectifiées (une rectification n'est pas favorable à l'étanchéité). L'état de finition des surfaces en contact est obtenu avec un usinage  $Ra = 0,8 \mu\text{m}$

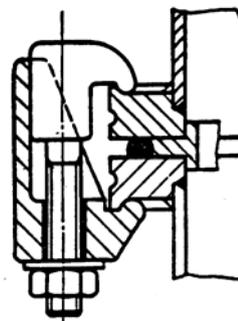


( $Ra$  est l'écart moyen arithmétique par rapport à la ligne moyenne de profil). Les arrêtes seront soigneusement ébavurées.

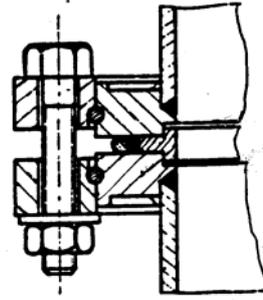
$$P = 0,70C \pm 0,05 ; L = 1,25C \pm 0,05 ; R = 0,2C$$

## Technologie des brides et collets :

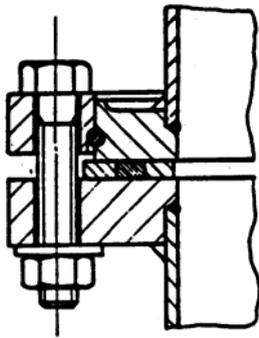
Des systèmes de serrage des brides (tournantes et non tournantes ; boulonnées ou à griffes), de guidages des joints (entretoises, disques, anneaux extérieur pour la pression) sont représentées sur les figures suivantes :



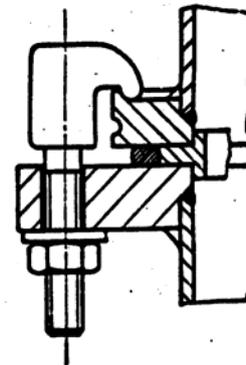
Bride ISO-K assemblées par boulons à griffes  
Anneau de centrage avec joint torique.



Bride ISO-K et bride tournante DIN 2501 à ergot avec bague de retenue assemblée par boulons. Anneau de centrage avec joint torique.

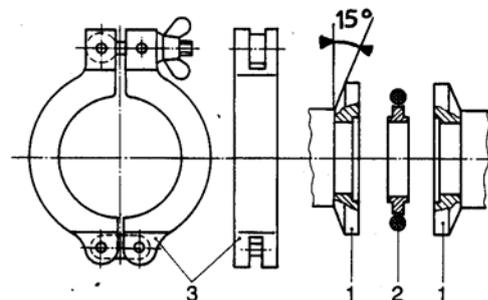


Bride ISO-K et bride tournante DIN 2501 à ergot ;  
bride DIN 2501 fixe. Assemblage par boulons  
Anneau de centrage avec joint torique et  
bague de support extérieur (utilisée lorsque  
la pièce peut être mise en sur pression).



Bride ISO-K et bride DIN 2501 fixe.  
Assemblage par demi-griffes.  
Anneau de centrage avec joint torique

Il existe également, pour les canalisations de petits diamètres, des jonctions par raccord rapide. Les raccords par brides et colliers, mis au point par la société « Leybold », sont les plus répandus.



- 1 Petites brides
- 2 Anneau de centrage avec joint torique
- 3 Collier de serrage

Raccordement KF

## Précautions à prendre :

On évite de nombreux défauts en prenant un certain nombre de précautions élémentaires. Ainsi, il faut vérifier la portée des joints (bride plane, fond de gorge). Il ne faut pas de rayures, de stries radiales sur les portées. Il faut nettoyer convenablement le joint et les brides (poussières, cheveux peuvent générer des fuites). Il faut examiner le joint avant montage. Il ne doit pas présenter de craquelures, coupures occasionnées par exemple par l'outil de retrait. Il faut vérifier l'élasticité du joint (durcissement au rayonnement à la chaleur par exemple). Il faut positionner convenablement ce dernier dans sa gorge. Lorsqu'il faut maintenir le joint dans sa gorge (position inconfortable de la bride) on n'utilise pas de graisse, on préfère mouiller la gorge avec de l'alcool. Pour éviter tout frissement du joint notamment pour les grands diamètres, on présente celui-ci sur la gorge et on l'engage, dans un premier temps, diamétralement. Il faut enfin serrer progressivement et modérément les brides.

## 2. Joints métalliques :

Les jonctions à joints métalliques sont nées de la nécessité d'étuvage (jusqu'à 450° C) et de la volonté d'éliminer les matériaux perméables et dégazants. Ces jonctions résistent mieux à certains environnements (attaques chimiques, dommages dus au rayonnement, vieillissement, etc.) et elles s'adaptent bien aux basses températures.

### Caractéristique des joints métalliques :

C'est la déformation plastique par fluage du joint qui permet de réaliser l'étanchéité de ce type de jonctions. Il faut donc être capable de développer une force suffisante pour obtenir une déformation qui autorise les irrégularités inévitables du joint et des brides. Il faut également être capable de maintenir cette force en présence du fluage et des mouvements relatifs provoqués par les écarts de température. Les joints ne sont donc pas, en général, réutilisables.

#### - **Energie stockée :**

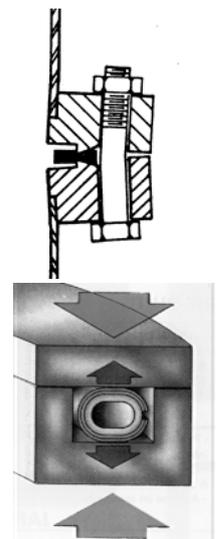
Il est nécessaire que la force sur le joint métallique soit maintenue en présence des perturbations. Par conséquent, il faut être capable de stocker, dans la jonction elle-même, une certaine quantité d'énergie. Cette énergie stockée, du type élastique ou ressort est une composante essentielle dans les liaisons à joints métalliques. L'étuvage occasionne des changements dimensionnels du joint et des mouvements différentiels dans la jonction dus aux écarts de température et aux différences de coefficient de dilatation. Il faut absolument les compenser. Ces effets deviennent importants lorsque les dimensions des brides augmentent. Il semble ainsi n'y avoir aucune bride à joint métallique fiable excédant un diamètre de 300 mm pour des étuvages supérieurs à 200°C.

Une liaison se compose de trois éléments de base : le joint, la paire de brides et les moyens de serrage tels que les boulons. L'énergie nécessaire peut être stockée dans l'un ou plusieurs de ces éléments. Prenons quelques exemples.

La liaison « Conflat » (voir ci dessous : déformation par pénétration) certes stocke une certaine énergie dans le joint qui est confiné mais également la bride et, dans une moindre mesure, les boulons sont des éléments élastiques.

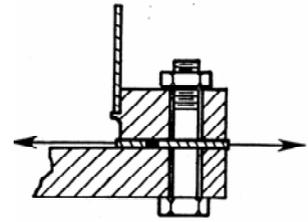
***Les différents systèmes de bagues de joint permettent de stocker de l'énergie :***

Nous pouvons citer comme exemple de telles bagues de joints métalliques, le joint « Hélicoflex » (voir ci-dessous : joint métallique élastique) qui incorpore un ressort dans sa structure pour maintenir la



force entre le revêtement du joint (aluminium, argent, or, etc.) et les surfaces des brides.

Les joints à élasticité induite (E.I.), commercialisés par SEVA, répondent également à ce principe (voir ci-dessous : déformation par écrasement). Le porte joint est constitué par deux disques en acier de bonne élasticité qui au repos présentent une légère conicité. Il est monté entre ces disques un joint torique le plus couramment en aluminium. Au cours du serrage, les disques s'aplatissent et compriment le joint en le pressant contre la portée plane des brides.



- **Matériaux :**

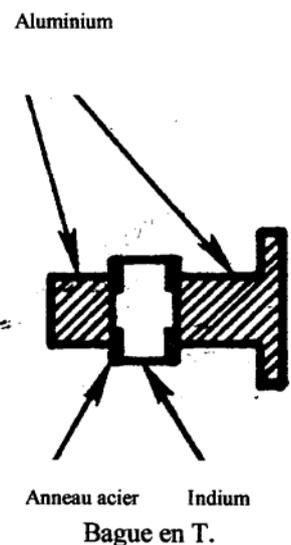
Rôle	Métaux ou alliages	$R_e$ (daN.mm <sup>-2</sup> )	$\lambda$ moyen entre 20 et 500° C (en 10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup> )
Joint	Aluminium (99,99)	2	28
	Nickel	13 à 20	12,96
	Cuivre ordinaire	7,4	16,6
	Cuivre OFHC	7,3	16,5
	Platine	4,75 à 5,7	8,9
	Argent	4,25	20,6
	Or	4,5	15,2
	Palladium	4,75 à 5,9	11,7
Bride	Acier doux	40	14,7
	Z3 CN 18.10	20	18,5
	Z25 CNSW 25.08	35	17,2

Le choix de l'acier inox pour la quasi-totalité des brides et enceintes, conduit à un choix limité dans la nature du métal du joint. En effet, la limite élastique du joint doit être inférieure à celle de l'inox (< 20 daN / mm<sup>2</sup>) sous peine de déformer de façon permanente les brides. De plus, leur dilatabilité en fonction de la température doit être proche de celle de l'inox des brides (18.10<sup>-6</sup> K<sup>-1</sup>,  $\Delta l = \alpha.l. \Delta T$ ) si l'on veut que n'apparaissent pas de fuites lors des étuvages. La dilatabilité différentielle étant en outre proportionnelle à l'épaisseur du joint, on pourra diminuer celle-ci (ex. : feuille mince).

Nous considérerons les métaux les plus courants utilisés pour la fabrication des joints. Nous les examinerons par ordre croissant de leur dureté.

**Indium :**

La force exigée pour déformer ce métal à basse limite élastique, le dimensionnement par conséquent des brides sont les mêmes que ceux requis pour un joint élastomère. L'étanchéité avec l'indium est obtenue certes par déformation plastique du joint mais aussi grâce à une légère diffusion du métal dans les brides. Ce mouillage est plus aisé lorsque l'indium est débarrassé de sa coque d'oxyde, c'est pourquoi, lorsque l'on veut obtenir un tel effet, il est souhaitable de réaliser soi même son fil d'indium et de le stocker après cette fabrication dans de l'alcool pur. La diffusion de l'indium dans le verre ou la céramique est utilisée pour réaliser des fenêtres et des passages spéciaux. Il faut noter à ce propos que lorsque le fil d'indium est conditionné en bobine, il doit être très soigneusement nettoyé car, pour empêcher que les différentes couches ne diffusent entre elles, il est le plus souvent huilé. Lorsque l'indium est utilisé sous la forme d'un fil simple comprimé entre deux



brides, il flue presque toujours ce qui provoque une fuite. Un écrasement important de ce métal réduit ce fluage (ex. : fil de 1 mm écrasé jusqu'à 1/10<sup>e</sup>). Pour limiter le fluage, l'indium peut être électrodéposé en couche mince sur un support en métal dur (par ex. joint à bague en T), ou utilisé avec une bague appropriée pour stocker de l'énergie ( par ex joints à élasticité induite, voir ci-dessous : déformation par écrasement). L'indium peut également être utilisé allié avec de l'argent (5%) pour augmenter sa dureté et donc sa stabilité. La température d'utilisation d'un joint d'indium est limitée aux environs de 80 à 100°C (bien que le point de fusion soit de 155°C) pour des raisons de mouillage et d'adhérence du métal. C'est pour cela que les joints d'indium sont peu utilisés en UHV. Cependant, l'indium reste utile aux températures cryogéniques, lorsqu'il a présence de rayonnement ou bien lorsque l'on veut éviter les joint élastomères.

#### ***Plomb :***

Métal à basse limite élastique, le plomb est utilisé sous forme de fil ou en électrodéposition sur une bague en métal. Cependant, on lui préférera l'indium à plus basse tension de vapeur (Pb ~10<sup>-8</sup> mbar 330°C). La température de la jonction ne doit pas dépasser les 150°C et il faut s'attendre, là aussi, à un certain fluage.

#### ***Aluminium :***

L'aluminium est utilisé pour différentes formes de joint (joint fil, papier, diamant, I.E., voir ci-dessous : déformation par écrasement ; joint «hélicoflex», voir ci-dessous : joint métallique «élastique»). L'opinion générale est que ces joints ne sont pas très sûrs lorsqu'ils sont étuvés à des températures excédant les 200°C. Certes, aux hautes températures, l'aluminium assure l'étanchéité lors du refroidissement du fait qu'il diffuse dans le métal des brides mais cela doit être considéré comme un inconvénient puisque cette diffusion rend le démontage délicat au-delà de 250° C. Un recuit sous vide de l'aluminium, avant son utilisation comme joint, est souhaitable. Si l'aluminium est stocké à l'air, il faudra retirer la couche d'alumine avant emploi.

#### ***Argent et l'or :***

L'argent et l'or ne sont utilisables que si l'on compense la dilatabilité différentielle (matériau boulons et rondelles ressorts). Ils peuvent être utilisés en électrodéposition sur des bagues en métal ou employé comme revêtement sur des joints à contrainte élastique (l'argent sur « Hélicoflex » par exemple, voir ci-dessous : joint métallique «élastique»). L'argent et l'or sont chimiquement passifs mais leurs coûts sont importants.

Un alliage d'or et d'argent (teneur en or de 70 à 78%) permet d'obtenir une dilatabilité voisine de celle de l'inox.

#### ***Cuivre OFHC :***

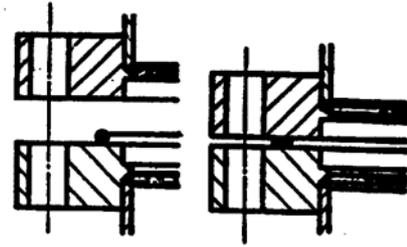
En raison de sa limite élastique et de sa dilatabilité linéique qui correspondent bien à une utilisation avec des brides en acier inox, le cuivre apparaît comme le mieux adapté. Il est le métal de joint le plus utilisé et ceci malgré sa oxydabilité importante aux températures élevées. Un recuit sous vide du cuivre, avant son utilisation comme joint, est souhaitable.

## Modes de déformation du joint métallique :

### - Déformation par écrasement :

On écrase entre deux brides planes un joint de différents profils possibles.

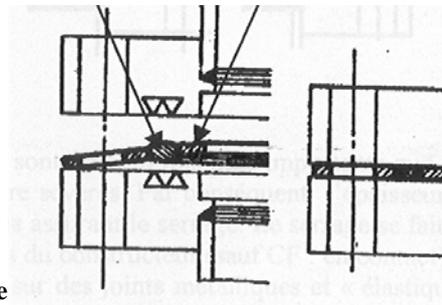
Le plus commun est l'utilisation d'un joint torique obtenu à partir d'un fil de diamètre couramment égal à un millimètre. Le fil peut être rendu sans fin par soudure - elle ne doit pas présenter de surépaisseur excessive - ou être simplement employé avec les extrémités croisées.



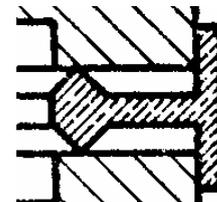
Joint métallique torique



Joint à élasticité induite

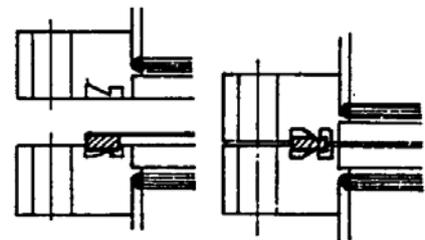


Joint aluminium diamant sur bride KF



### - Déformation par pénétration :

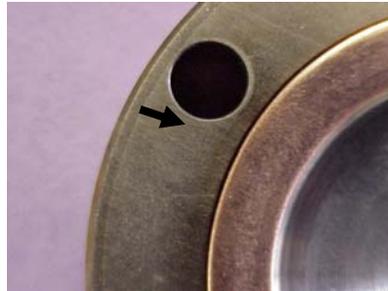
C'est l'action conjuguée de deux arrêtes (couteaux) portée par deux brides symétriques qui réalise la déformation du joint. Le dispositif le plus courant est la bride «conflat» (CF). Le couteau à la forme dans ce cas d'un triangle rectangle d'angle au sommet égale à  $70^\circ$  dont la face verticale est orientée vers l'intérieur comme le montre la figure suivante. Ce joint est très fiable pour des diamètres d'alésage allant jusqu'à 250 mm. Bien que le cuivre s'oxyde pendant l'étuvage - pour la partie exposée à l'air - et qu'il existe un risque réel au démontage de faire tomber des particules dans les chambres (on pourra dans ce cas utiliser des joints CF argentés), le joint Conflat à l'avantage de permettre des traitements thermiques haute température à répétition (20 étuvages à  $400^\circ\text{C}$  sans problème). Il faut



noter que les tentatives pour utiliser le profil Conflat à de grands diamètres ou sur des brides rectangulaires se sont soldées par un échec.



Couteau CF.



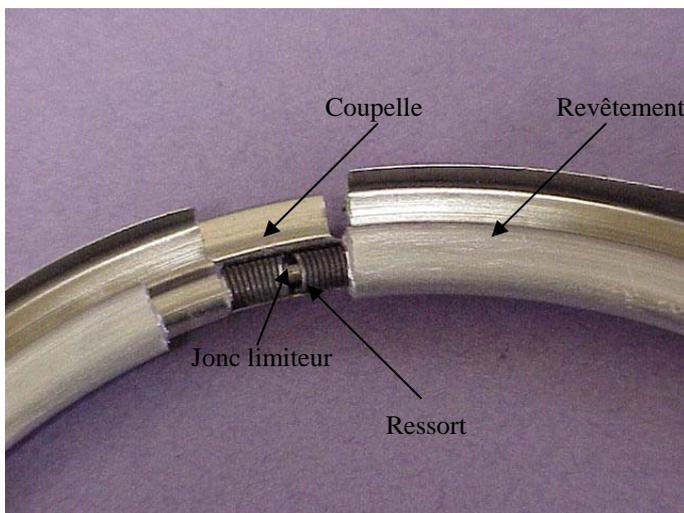
Joint CF avant écrasement (remarquer le jeu sur le diamètre extérieur du joint).



Joint CF après écrasement.

#### - Joint métallique « élastique » :

L'exemple du joint « hélicoflex ». L'idée est de remplacer le joint à effort de serrage important par un joint d'une certaine élasticité. Le joint « hélicoflex » est un joint composite où l'âme est un ressort à spires jointives, à simple ou double revêtement métallique dont la génératrice de jonction non soudée est à l'extérieur du joint.



#### Technologie des brides et collets :

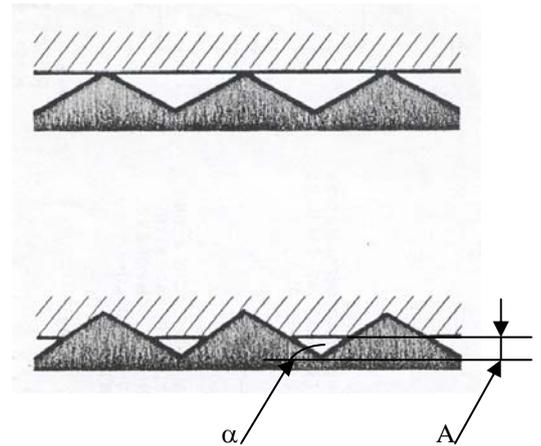
Les efforts nécessaires à la déformation du joint sont 30 à 50 fois plus importants que pour un joint élastomère et les conditions de température sévères. Par conséquent, l'épaisseur des brides est supérieure ainsi que le nombre de boulons assurant le serrage. Le serrage se fait à la clé dynamométrique en respectant les spécifications du constructeur (sauf CF : en contact).



Il faut noter que les raccords de bride et collier sur des joints métalliques et « élastiques » sont difficiles à réaliser, qu'ils demandent un bon parallélisme des faces en jonction (un lubrifiant sec du type bisulfure de molybdène peut être appliqué sur les colliers mais attention à la pollution possible des chambres à vide).

### Conception des surfaces de brides :

L'idée selon laquelle il faudrait comprimer le joint entre des surfaces plates fortement polies pour obtenir une bonne étanchéité est infirmée dans la pratique. En effet, il n'est pas possible de comprimer avec suffisamment de force un métal, tel que le cuivre par exemple, pour qu'il se conforme aux micros imperfections des brides. Au contraire, lorsque les surfaces sont « grossièrement » usinées au tour, elles présentent une série de cannelures dont les crêtes coupent le joint et facilitent l'étanchéité. Et si le métal du joint ne remplit pas le fond de cannelure, la grande longueur et par conséquent la très faible conductance d'un tel canal rend le taux de fuite le plus souvent négligeable. A contrario, une rayure radiale de faible longueur peut générer une fuite importante.



Nous pouvons tenter d'estimer la valeur d'un tel défaut (voir : Roth, Vacuum Sealing Technique, Pergamon Press). La conductance d'une canalisation rectiligne à section constante quelconque, en régime moléculaire, est donnée par la formule suivante :

$$C = \frac{4}{3} K v_m \frac{S^2}{P l}$$

Où  $K$  est le facteur de forme constant,  $v_m$  la vitesse moyenne du gaz,  $S$  et  $P$  respectivement l'aire et le périmètre de la section de la canalisation,  $l$  étant sa longueur.

$$\left. \begin{aligned} S &= \frac{1}{2} \frac{2A}{\operatorname{tg}(\alpha)} A \Rightarrow S^2 = \frac{A^4}{\operatorname{tg}^2(\alpha)} \\ P &= 2 \frac{A}{\cos(\alpha) \operatorname{tg}(\alpha)} + \frac{2A}{\operatorname{tg}(\alpha)} = \frac{2A}{\operatorname{tg}(\alpha)} \left(1 + \frac{1}{\cos(\alpha)}\right) \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{S^2}{P} = \frac{A^3}{2 \operatorname{tg}(\alpha) \left(1 + \frac{1}{\cos(\alpha)}\right)}$$

$$C = \frac{4}{3} K v_m \frac{A^3}{2 \operatorname{tg}(\alpha) \left(1 + \frac{1}{\cos(\alpha)}\right) l}$$

$$C = \frac{4}{3} 1,7 \cdot 1255 \frac{10^{-18}}{2 \cdot 0,07 \left(1 + \frac{1}{0,998}\right) 10^{-3}} = 10^{-11} \text{ m}^3 / \text{s} \text{ soit } 10^{-8} \text{ l/s}$$

$$Q = C \cdot \Delta P = 10^{-8} 10^3 = 10^{-5} \text{ mbar l/s}$$

Nous estimons, pour de l'hélium à 25°C, la fuite occasionnée par une rayure radiale de  $10^{-6}$  m de profondeur et  $10^{-3}$  m de longueur,  $\alpha = 4^\circ$  :

C'est pour cette raison qu'il n'est pas souhaitable d'utiliser du papier de verre sur les portées de joint ou que le fraisage est également déconseillé.

Une autre manière de se conformer aux micros imperfection de la surface est de réaliser une étanchéité par pénétration d'un couteau dans le joint (Ex. brides CF).

Le degré de finition des portées de joint est généralement celui des brides à joint élastomère, c'est à dire que la rugosité Ra est comprise entre 0,8 et 3,2  $\mu\text{m}$ .

### **Précautions à prendre :**

On peut éviter un certain nombre de défaut en prenant des précautions voisines de celles prises avec les joints élastomères.

Ainsi, il faut vérifier la portée des joints. Il ne faut pas de rayures, de stries radiales ; pas de coups sur les couteaux. La poussière sur les brides doit être enlevée. On vérifiera systématiquement que l'ancien joint a été retiré (un joint fil écrasé est parfois très peu visible).

Il faut de plus vérifier l'état du joint. Là aussi, rayures, stries radiales et poussières sont prohibées. Il faut convenablement positionner le joint. Ainsi le croisement ou la soudure d'un joint torique devra se trouver au droit d'un boulon pour en faciliter l'écrasement. Le joint CF doit être dans son logement (il faut noter que des outils existent pour le maintenir en position verticale). Le serrage des brides doit être progressif et en étoile.

