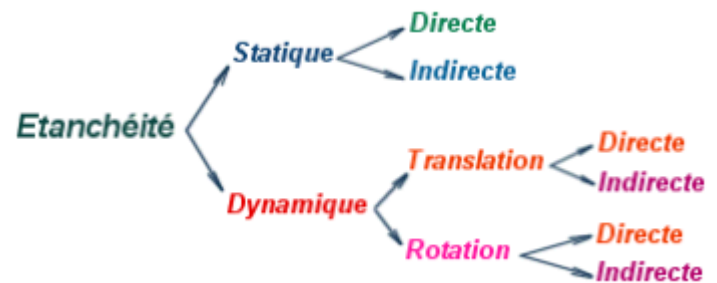


# Technologie de l'étanchéité

Les joints d'étanchéité comprennent des systèmes appelés **statiques** ou **dynamiques**, selon que les pièces sont mobiles les unes par rapport aux autres ou non. Un arbre en rotation dans un carter, par exemple, est un système **dynamique**. Les **plans de joint** sont considérés comme des systèmes **statiques**, bien qu'ils subissent des «micro-mouvements» sous l'effet des vibrations, des changements de température ou de pression, des chocs, de la transmission d'efforts, etc.



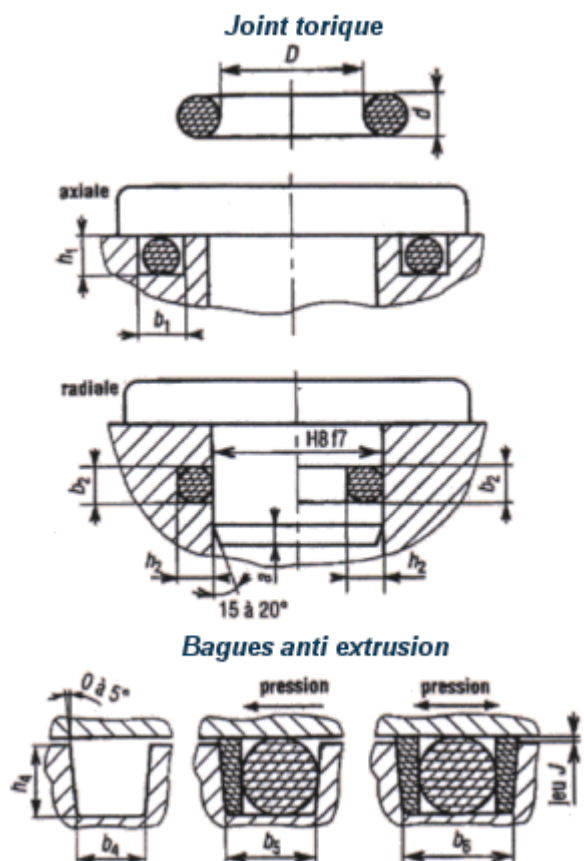
## 1 Etanchéité cylindrique:

Dans le cas de la réalisation d'une étanchéité de type statique sur des surfaces cylindriques, la solution la plus couramment employée est l'utilisation de **joints toriques**. Ces joints assurent une excellente étanchéité pour des pressions allant jusqu'à 1000 bars.

Principalement utilisés pour des applications statiques, on les rencontre aussi dans le cas de mouvements de translation alternatifs, voir même pour des mouvements rotatifs lents (vitesse circonférentielle inférieure à 0,5 m/s).

Les **joints toriques** sont **économiques**, **légers** et **peu encombrants**. Leur montage est simple et ils nécessitent très peu d'entretien.

Les joints toriques, joints circulaires à section ronde, très souvent désignés sous les appellations "O-Rings" et Bagues "R", sont utilisés depuis de nombreuses années déjà dans le domaine de l'étanchéité. Leur succès, lié au développement des caoutchoucs de synthèse, n'a jamais cessé de s'affirmer, et leur domaine d'application, pourtant très vaste, continue de s'étendre régulièrement.



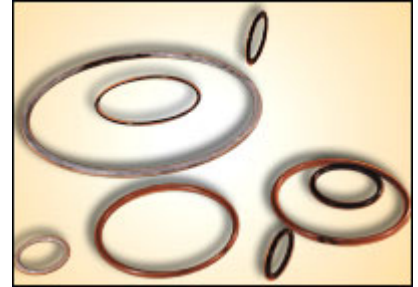
Ils peuvent être utilisés dans une **large plage de température et de pressions** sous réserve de choisir le mélange, les conditions de montage et les ajustements appropriés à chaque cas. Ils satisfont aux exigences des applications au vide et se montent dans des gorges d'une grande simplicité, faciles à usiner. Ils s'adaptent, en raison même de leur profil, aux encombrements les plus réduits.

Le **principal problème** rencontré avec ce type de joint est le **phénomène d'extrusion**: l'action de la pression comprime le joint et l'applique avec force contre les surfaces de contact. Plus la pression est forte et plus l'élastomère doit être dur pour éviter l'extrusion ou l'expulsion du joint. L'extrusion dépend:

- du jeu diamétral au montage,
- de la pression,
- de la dureté du joint.

Une solution couramment utilisée consiste à mettre en place des bagues anti-extrusion qui permettent d'éliminer ce phénomène d'extrusion.

*Joints toriques.*



2

## Etanchéité plane:

Utilisés sur des millions de machines et de véhicules pour créer des joints étanches, les matériaux d'étanchéité plane anaérobies ou silicones, qu'ils soient assemblés liquide ou pré-polymérisés, durent toute la vie de ces équipements.

Un joint d'étanchéité plane est une garniture de matériau disposée entre deux faces serrées l'une contre l'autre, il sert à garantir l'intégrité de l'étanchéité. Les joints empêchent la fuite de liquides ou de gaz en formant des barrières imperméables. Il est indispensable qu'ils restent intacts et ne présentent aucune fuite pendant une période prolongée. Le matériau de la garniture doit donc résister au liquide et/ou au gaz qui doit être enfermé ou exclu, et doit pouvoir résister aux températures et aux pressions de service auxquelles il est soumis.

Il existe trois types de garnitures des plans de joint :

- **les joints comprimés classiques, prédécoupés**, faits de papier, de caoutchouc, de liège, de métal et d'autres matériaux.
- **les joints assemblés liquide (JAL)**, qui sont appliqués à l'état **liquide** sur l'une des surfaces du plan de joint avant l'assemblage des pièces. Lors de l'assemblage, le produit d'étanchéité s'étale entre les faces du joint, comblant les jeux, les vides, les éraflures et les irrégularités de la surface. Après l'assemblage, le joint polymérise et assure une étanchéité durable.
- **Les joints pré-polymérisés (JPP)**, qui sont appliqués sous forme liquide par des robots de dépose, sous la forme de cordons précisément tracés sur l'une des faces. Le cordon pré-appliqué est ensuite polymérisé aux ultraviolets, formant ainsi un matériau élastomère qui adhère à la surface du plan de joint. L'étanchéité est réalisée par la compression du joint polymérisé au cours de

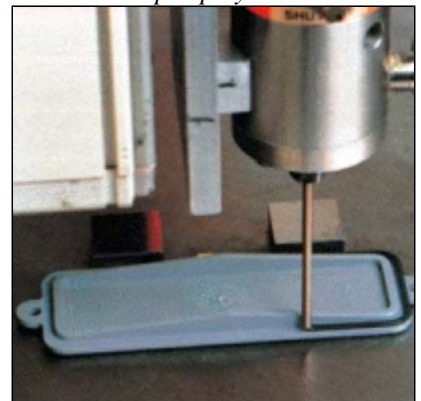
*Joints comprimés prédécoupés.*



*Joints assemblés liquide.*



*Joints pré-polymérisés.*



l'assemblage des pièces.

De nombreux facteurs influencent le choix d'un joint. Les joints JPP conviennent bien pour les étanchéités qui doivent être démontées fréquemment pour la maintenance, ou dans les cas où le joint d'étanchéité doit adhérer au plan de joint parce qu'une garniture prédécoupée classique pourrait se déplacer pendant l'assemblage. Les joints JAL peuvent être utilisés sur presque tous les types de plan de joint.

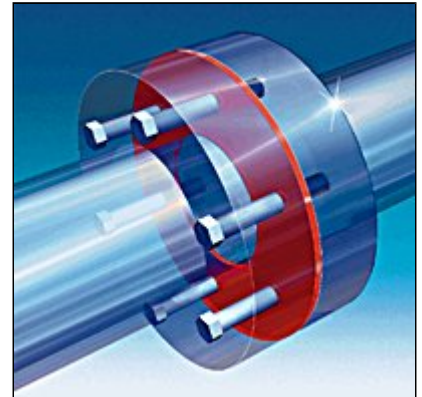
2-1

### Etanchéité des plans de joint rigides:

Un plan de joint d'un ensemble sera reconnu comme «rigide» ou «flexible» selon sa conception et sa fonction dans cet ensemble.

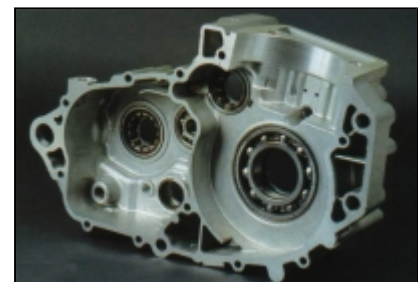
Les plans de joint rigides sont conçus en vue d'obtenir une rigidité maximale entre les deux pièces appariées afin de:

- minimiser le déplacement entre deux pièces
- transmettre des efforts d'une pièce à l'autre.



Afin de répondre aux exigences concernant les plans de joint rigides, la force de pré-tension des vis (qui est habituellement la seule qui maintienne les pièces du joint réunies) doit être répartie le plus uniformément possible sur les surfaces appariées de l'assemblage. On rencontre des exemples typiques de plans de joint rigides dans les véhicules :

- Carters moteurs.
- carters de boîte de vitesse.
- carter palier de vilebrequin sur bloc moteur.
- pompe à eau sur bloc moteur.
- couvercle d'arbre à cames sur la culasse.

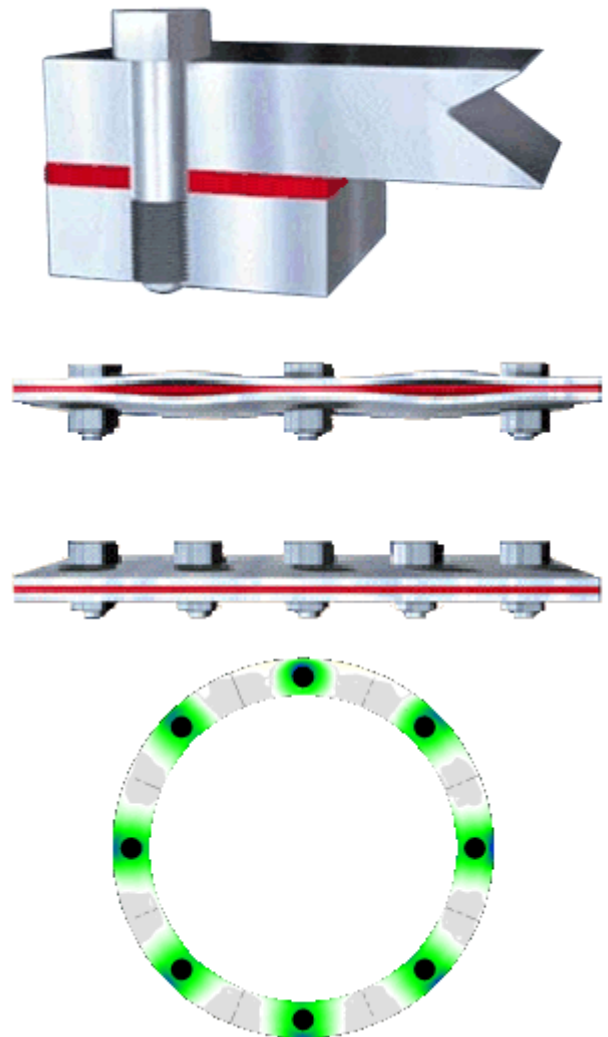


Les matériaux d'étanchéité plane anaérobies confèrent une solidité structurelle accrue à l'ensemble constitué.

### Inconvénients des joints comprimés prédécoupés par rapport aux produits anaérobies d'étanchéité plane

Les joints comprimés nécessitent une charge de compression initiale qui les déforme de façon à les faire pénétrer dans les irrégularités de surface des plans de joint. Ils doivent donc supporter la charge générée par la visserie. Les principales causes de défaillance ou de fuite avec les joints comprimés sont :

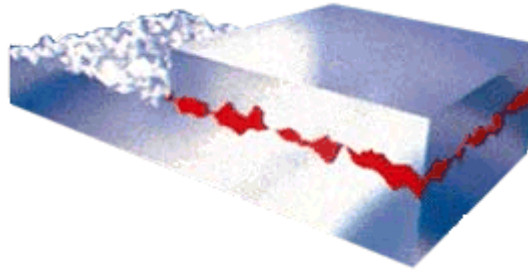
- **le tassement sous compression** : avec le temps, le joint perd ses propriétés élastiques et devient moins souple. La charge à laquelle il est soumis et le mouvement relatif provoquent une diminution générale de son épaisseur, ce qui occasionne des fuites.
- **le bombement du plan de joint** : la zone où le joint est le plus susceptible de fuir se situe à mi-distance entre les boulons, là où la compression qu'exercent ceux-ci est la plus faible. C'est là que la pression interne occasionne la flexion maximale.
- **l'extrusion** : les joints peuvent être refoulés d'entre les faces du joint par la combinaison d'une faible compression (inférieure à la contrainte d'étanchéité minimale) du joint et de la pression interne du système.
- **la distorsion au droit des boulons** : de fortes contraintes sont transmises au matériau du joint en dessous de la tête de la vis, ce qui provoque l'apparition de fissures, de déchirures, de ruptures ou d'une extrusion du joint. Ces inconvénients peuvent être supprimés par l'utilisation de produits d'étanchéité plane anaérobies, ils présentent de nombreux avantages sur les systèmes d'étanchéité classiques.



### Avantages des produits d'étanchéité plane anaérobies dans les plans de joint rigides

- **Pas de relaxation du joint** : les joints anaérobies permettent un contact métal sur métal des plans de joint et assurent ainsi une bonne tension des boulons pendant toute la vie de l'assemblage. Il n'est pas nécessaire de procéder à un resserrage.
- **Pas de cales** : les joints anaérobies permettent un contact métal sur métal. Il n'est donc pas nécessaire de tenir compte de l'épaisseur du joint, et les tolérances peuvent ainsi être respectées plus précisément. Ceci est très important si des roulements risquent d'être précontraints lors de l'assemblage des deux moitiés d'un carter.





- **Solidité structurelle** : les joints anaérobies ont une grande résistance au cisaillement qui peut être utilisée pour empêcher les mouvements dus aux charges latérales. Cela empêche le desserrage des boulons et l'érosion entre les plans de joint, et augmente la solidité structurelle globale de l'assemblage.
- **Tolérances moins strictes pour la finition des surfaces** : les joints anaérobies permettent des tolérances moins strictes pour la finition et la planéité des surfaces. Les éraflures et les surfaces marquées peuvent être rendues étanches sans repasser par un usinage.
- **Pas de polymérisation avant l'assemblage** : comme les produits anaérobies pour joints polymérisent en l'absence d'air, leur vie sur la pièce est illimitée tant qu'ils sont exposés à l'air. De nombreuses méthodes d'application sont donc possibles, tandis que les problèmes qu'entraîne l'utilisation de matériaux polymérisant par évaporation et/ou par l'humidité sont éliminés.
- **Frais de stockage réduits** : les joints prédécoupés ne peuvent être utilisés que pour des plans de joint donnés, ils doivent être stockés et manipulés avec soin. La constitution de stocks importants de joints prédécoupés entraîne des frais d'achat et de stockage considérables.
- **Compatibilité chimique** : les joints anaérobies polymérisés font preuve d'une excellente résistance aux solvants en présence de combustibles dérivés du pétrole, d'huiles de lubrification, de mélanges eau-glycol et de la plupart des autres produits chimiques industriels.
- **Le matériau excédentaire reste liquide** : contrairement à d'autres agents d'étanchéité liquides, les joints anaérobies polymérisent uniquement entre les plans de joint. Le matériau excédentaire peut être essuyé sur les surfaces extérieures ou être rincé sur les surfaces internes (les anaérobies liquides sont miscibles dans de nombreux liquides). Les passages et canaux ne seront donc pas bouchés.
- **Réduction des frais de main-d'oeuvre grâce à l'application automatique** : le positionnement précis des joints comprimés prédécoupés sur les pièces avant et pendant l'assemblage est difficile à automatiser. Il est donc souvent nécessaire de mettre ces joints en place à la main. Les produits anaérobies d'étanchéité plane peuvent être appliqués par des moyens de dépose robotisés entièrement automatiques, ou des systèmes d'application par sérigraphie ou pochoir.

### Considérations pour la conception des plans de joint rigides

Pour réaliser une étanchéité optimale sur un plan de joint rigide, il convient de tenir compte des données de conception suivantes. Les conseils présentés ici ont pour but de **réduire au minimum les micro-mouvements**. Il importe donc que les **plans de joint soient très rigides**, les **éléments de fixation correctement choisis** et la **répartition de la pression dans le plan de joint optimisée**.

### Taille et nombre des vis

La tension de la vis est habituellement la seule force qui maintient les plans de joint réunis. La taille, l'emplacement et la distance entre les vis dépendent des forces exercées sur le plan de joint. Dans de nombreux cas, l'application des forces n'est pas uniforme sur tout le plan de joint. Il faut utiliser des boulons de plus gros diamètre ou d'une classe supérieure aux points les plus chargés.

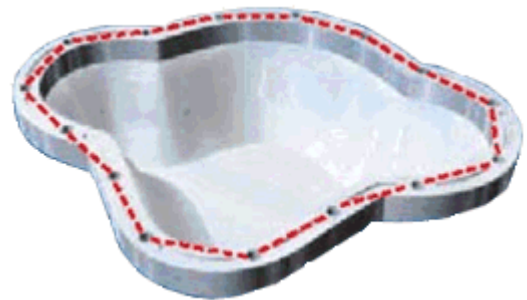
### Intervalle entre les vis et disposition

Le meilleur polygone des fixations associe toujours le plus grand nombre possible de boulons et une disposition optimale. Lorsque les plans de joint sont boulonnés, la force appliquée par l'intermédiaire des boulons doit créer une carte de la répartition de la pression telle qu'en tout point s'exerce au moins la pression minimale requise.



*Le polygone de vissage doit se trouver le plus près possible de la ligne médiane du plan de joint. Des éléments de fixation*

*doivent aussi être prévus à tous les angles du plan de joint.*

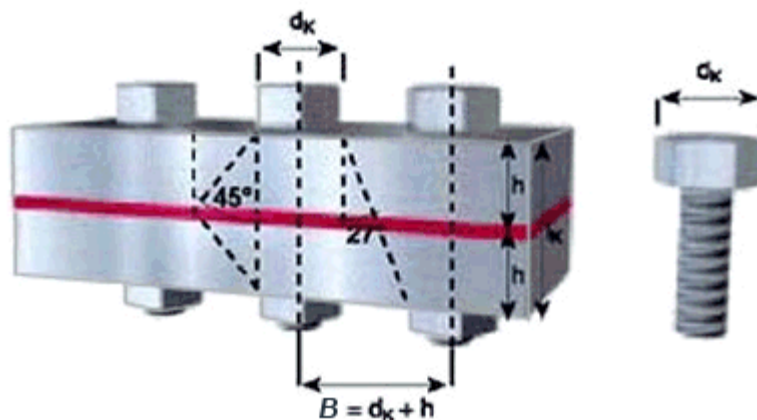


*Polygone de vissage optimisé*

Les lignes droites qui relient les différentes vis sont appelées le polygone des fixations. Ce polygone des fixations doit passer le plus près possible de la ligne médiane des surfaces de contact des plans de joint.

Le bombement des plans de joint sous la charge augmente selon le cube de l'intervalle entre les vis. En pratique, un intervalle de 4 à 10 fois le diamètre du boulon s'est avéré intéressant. Cet intervalle peut être calculé théoriquement à l'aide du modèle idéal proposé par Röttscher.

*Modèle de cône de pression proposé par Röttscher.*

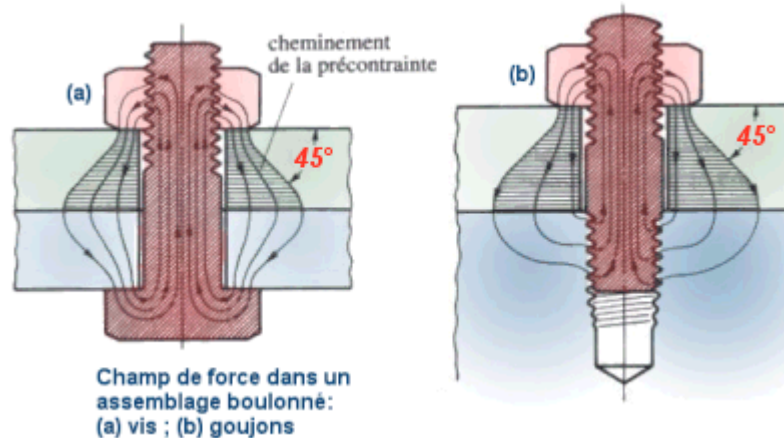


**distance optimale entre vis  $dk + h < B < dk + 2h$**

*dk diamètre de la surface d'appui de la tête de vis  
(quand l'étanchéité est primordiale on prendra  $B = dk + h$ )*

Dans le modèle de Röttscher, la **force sous la tête de la vis se répartit sous forme d'un cône à 45°**. Cela montre que la **longueur efficace de la vis** et l'épaisseur du

**plan de joint** constituent des **paramètres importants** pour l'**optimisation de l'intervalle entre les vis**. En appliquant cette règle, on rend aussi l'intervalle entre les vis dépendant de la rigidité du plan de joint.

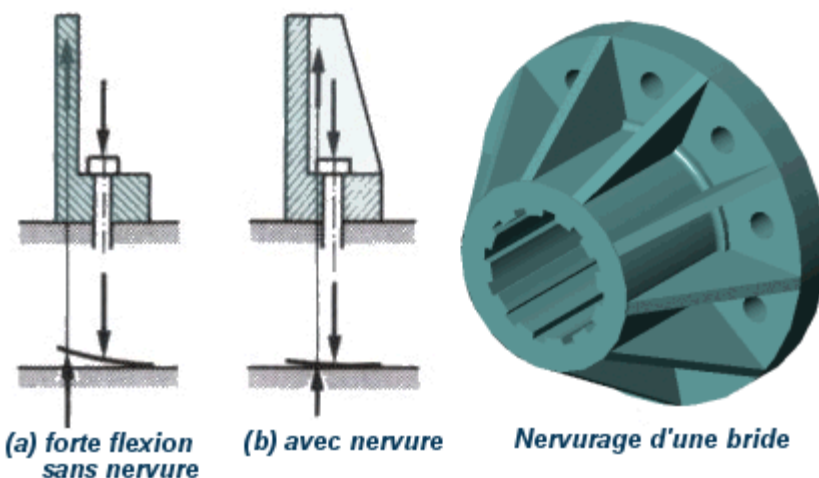
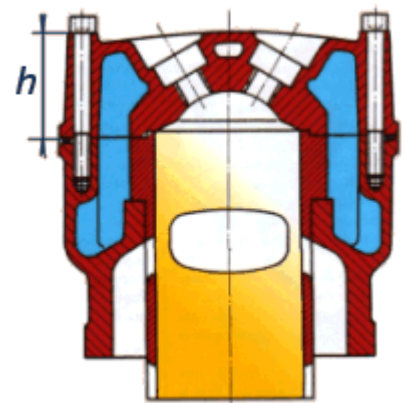


Le **positionnement des vis** est au moins aussi **important** que leur bon choix. Lorsque les vis sont situées au mauvais endroit, les forces qu'elles transmettent ne créent pas le contact nécessaire entre les pièces mais au contraire accroissent le bombement du plan de joint ou entraînent une ouverture forcée de celui-ci.

#### *Rigidité des plans de joint*

La **rigidité des plans de joint** a une **grande influence sur la répartition des contraintes de compression** et l'ampleur du bombement des plans de joint.

On peut **améliorer la répartition des forces de compression en augmentant l'épaisseur des éléments du plan de joint ou la distance entre la tête de la vis et la surface du plan de joint**. S'il n'est pas possible d'augmenter l'épaisseur, on peut empêcher le bombement des plans de joint en prévoyant des nervures de raidissement, de préférence disposées à mi-distance entre les vis.



#### *Qualité des surfaces et dimensions minimales*

L'étude d'applications réussies d'étanchéité plane avec des produits anaérobies montre que les paramètres suivants sont importants :

- la **rugosité** de la surface doit être comprise entre **0,8 et 3,2  $\mu\text{m Ra}$**  (cela correspond à ce qu'il est possible d'obtenir usuellement avec les procédés d'usinages classiques).
- le **défait de planéité** de la surface ne doit pas dépasser **0,1 mm pour une longueur de 400 mm**.
- le **creux maximal** au niveau des imperfections de surface (éraflures ou marques d'usinage) ne doit pas être plus profond que l'épaisseur maximale de polymérisation du produit anaérobie sélectionné.
- le **chevauchement** entre les plans de joint doit être de 5 mm au minimum, et de 3 mm autour des trous de vis, afin de garantir une bonne polymérisation du produit anaérobie.

Outre la bonne conception du plan de joint, l'adhérence à celui-ci est une condition préalable à la qualité de l'étanchéité procurée par un joint JAL. Le nettoyage de la surface du plan de joint est nécessaire pour assurer une bonne polymérisation et obtenir une adhérence maximale du produit anaérobie d'étanchéité plane.

2-2

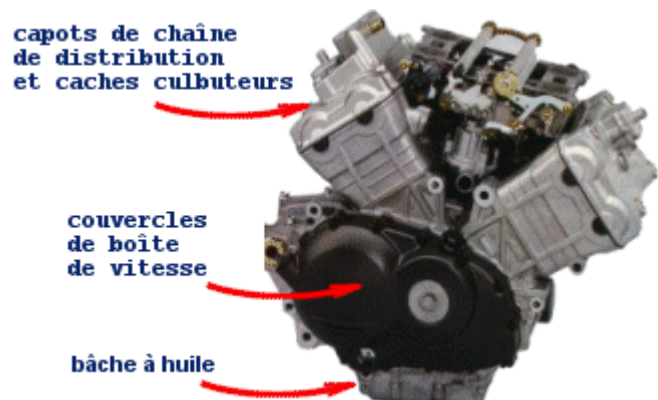
### ***Etanchéité des plans de joint flexibles:***

Contrairement aux plans de joint rigides, on ne rencontre pas de plan de joint flexible aux endroits où un ensemble doit avoir une rigidité optimale. Ces plans de joint sont rarement essentiels au fonctionnement de l'ensemble, et servent habituellement :

- à fermer une ouverture dans un carter
- à enfermer un liquide de manière étanche dans un composant, ou à le protéger des contaminants extérieurs
- à enclore des pièces en mouvement, pour des raisons de sécurité
- à enfermer des composants pour les insonoriser

On peut donc tolérer des micro-mouvements entre les plans de joint et il n'est pas nécessaire de veiller à une répartition optimale de la charge de serrage. On peut citer comme exemples de pièces à plans de joint flexibles :

- la bache à huile des moteurs
- les capots de chaîne de distribution et caches culbuteurs
- les couvercles de boîte de vitesse
- presque toutes les pièces en tôle emboutie
- les carters et les couvercles en plastique
- les pièces moulées en métal à parois minces



Mis à part les plans de joint flexibles par nature, il existe d'autres joints nécessitant aussi des joints flexibles. Il s'agit :



- des pièces dans lesquelles la répartition de la force de compression requise pour les anaérobies ne peut pas être obtenue
- des assemblages dans lesquels les pièces sont faites de matériaux ayant des coefficients de dilatation thermique très différents, ce qui pourrait occasionner un bombement des plans de joint.
- des plans de joint composés de plus de deux pièces formant un assemblage en T.

Les joints traditionnellement utilisés sur les plans de joint flexibles sont des joints en caoutchouc ou des joints toriques. Ils présentent les mêmes inconvénients que les autres joints prédécoupés.

L'utilisation des joints assemblés liquides (JAL) sur un plan de joint conçu de façon appropriée peut résoudre ces inconvénients et conduire à un joint sans risque de fuites.

### **Avantages des produits d'étanchéité plane anaérobies dans les plans de joint flexibles**

- un **fort pourcentage d'allongement à la rupture**, qui compense tous les micro-mouvements.
- une **excellente adhérence**, même à long terme, sur la plupart des substrats.
- un **mécanisme de polymérisation indépendant du substrat**, qui permet leur utilisation sur le métal nu ou peint et les plastiques.
- une **bonne polymérisation en profondeur**, qui permet d'étancher même en jeux importants (jusqu'à plusieurs millimètres).
- une **large plage de températures de service** (de  $-70^{\circ}\text{C}$  à  $230^{\circ}\text{C}$ , exposition intermittente jusqu'à  $340^{\circ}\text{C}$ ).

### **Considérations sur la conception des plans de joint flexibles**

La méthode d'étanchéité se fonde sur l'**adhérence du joint polymérisé à toutes les faces de contact du joint**. Afin que le joint puisse **compenser** tous les **micro-mouvements** en s'étirant, sans pour autant dépasser sa limite d'allongement, le matériau doit avoir une certaine épaisseur. Cela impose qu'un jeu donné doit être obtenu entre les surfaces du plan de joint.

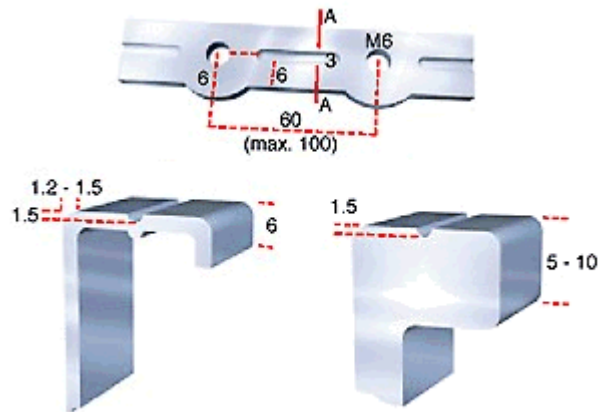
#### **Butées d'écartement**

Il est possible d'obtenir un jeu défini en prévoyant des butées d'écartement dans la zone entourant les boulons. Cette conception est rarement utilisée à l'heure actuelle car les butées d'écartement risquent de se déformer lors du serrage des boulons.

## Gorges de rétention

Les gorges de rétention servent couramment à **former un réservoir de matériau de joint** polymérisé. Elles sont normalement embouties ou obtenues lors de la coulée dans l'un des plans du joint. La forme en coupe de la gorge de rétention est semi-circulaire. La finition de sa surface doit être de 0,8 à 6  $\mu\text{m Ra}$ . Ses dimensions sont optimisées en fonction de la taille totale des plans de joint et des micro-mouvements attendus. Plus ces derniers sont importants, plus la gorge de rétention devra être grande afin de permettre l'allongement du matériau du joint lors des mouvements.

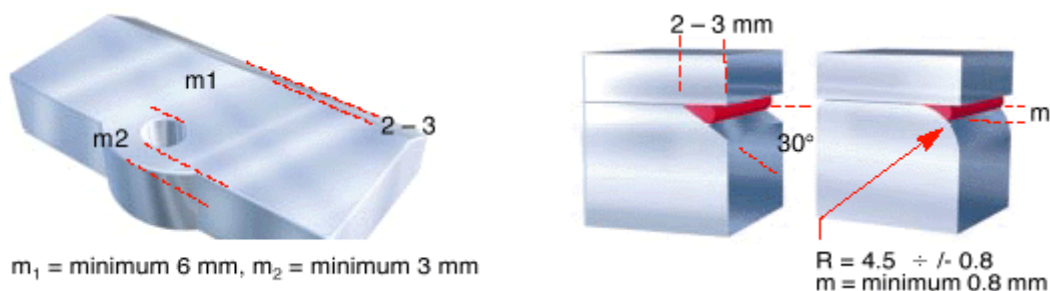
Plan de joint avec gorge de rétention (dimensions typiques)



## Dessin avec un chanfrein ou un arc de cercle

Une autre conception qui a fait ses preuves, autant que les gorges, est le «chanfrein» ou «arc de cercle». Afin d'**obtenir le bourrelet de produit d'étanchéité** polymérisé nécessaire, un chanfrein est réalisé vers l'intérieur du joint, soit lors de la coulée, soit lors de l'usinage. Si une pièce est faite d'acier embouti, un rayon de courbure défini peut être utilisé pour obtenir un bourrelet comparable à celui formé avec un chanfrein. Une rugosité de surface de 25  $\mu\text{m Ra}$  ne pose aucun problème dans ces conceptions.

Les dimensions typiques sont représentées sur les figures ci dessous



## Avantages des gorges de rétention et des chanfreins/arcs de cercle

Dans les conceptions avec gorge de rétention aussi bien qu'avec un chanfrein ou un arc de cercle, on réalise un contact métal sur métal. De ce fait, les tolérances peuvent rester précises et la résistance à l'éclatement est augmentée facilitant les essais d'étanchéité immédiate. Outre le contact métal sur métal, on obtient une couche d'étanchéité d'épaisseur donnée avec ces deux conceptions simples et économiques.

Matthieu Barreau (octobre 2000)