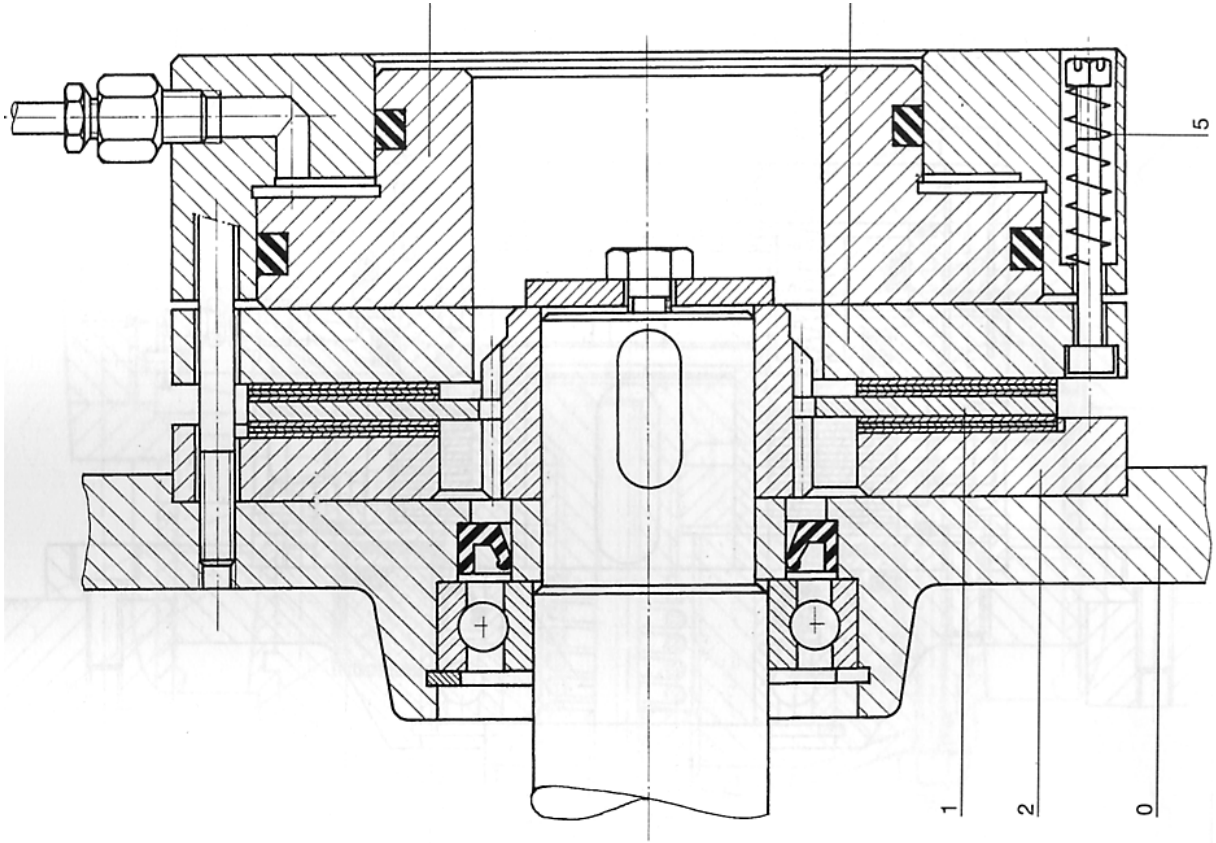
# Étanchéité des systèmes mécaniques



# Plan de la présentation

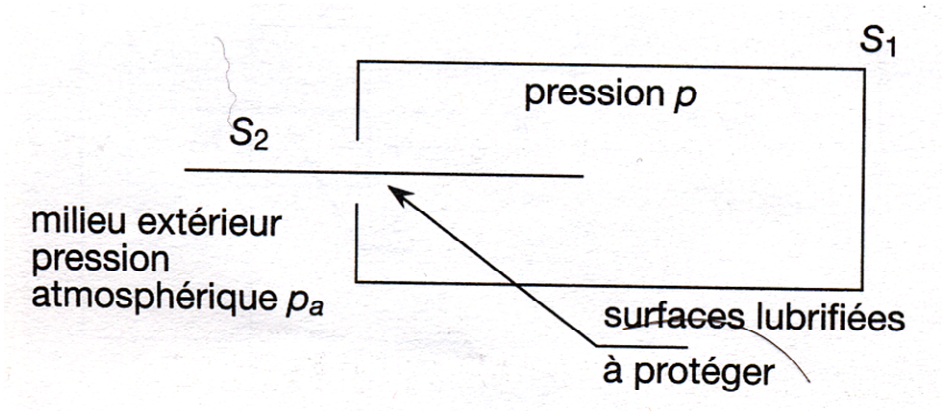
- Introduction et classification
- Étanchéité statique (ES)
- Étanchéité dynamique de rotation (EDR)
- Étanchéité dynamique de translation (EDT)
- Exemple

# 1. Introduction

Soit deux éléments mécaniques S1 et S2 dont les surfaces de contact communes font l'objet d'une lubrification.

Le dispositif d'étanchéité a une double fonction :

- Empêcher les impuretés du milieu extérieur d'accéder aux surfaces à protéger ;
- Empêcher le lubrifiant de s'échapper vers l'extérieur.



# 1. Introduction
## Critères de choix

**<u>Critères relatifs aux éléments en contact:</u>**
- Nature du mouvement relatif de S1 par rapport à S2
- importance des vitesses relatives ;
- formes complémentaires de S1 et S2 (cylindriques, prismatiques)
- encombrement disponible.

**<u>Critères relatifs au lubrifiant</u>** :
- nature : liquide, semi-liquide, solide, gazeux.
- viscosité ;
- composition (attaque chimique possible du joint).

**<u>Critères relatifs au milieu ambiant :</u>**
- température ;
- différence des pressions $\Delta p = p - pa$ ;
- impuretés en suspension dans ce milieu ambiant ;
- composition (attaque chimique possible du joint).

# 1. Introduction

## Classification des solutions

Deux familles de solutions existent :

-l'une mettant en œuvre un dispositif d'étanchéité standard (joint), intercalé entre S1 et S2 constituant donc un troisième élément S3. L'étanchéité est alors as assurée de manière indirecte (I);

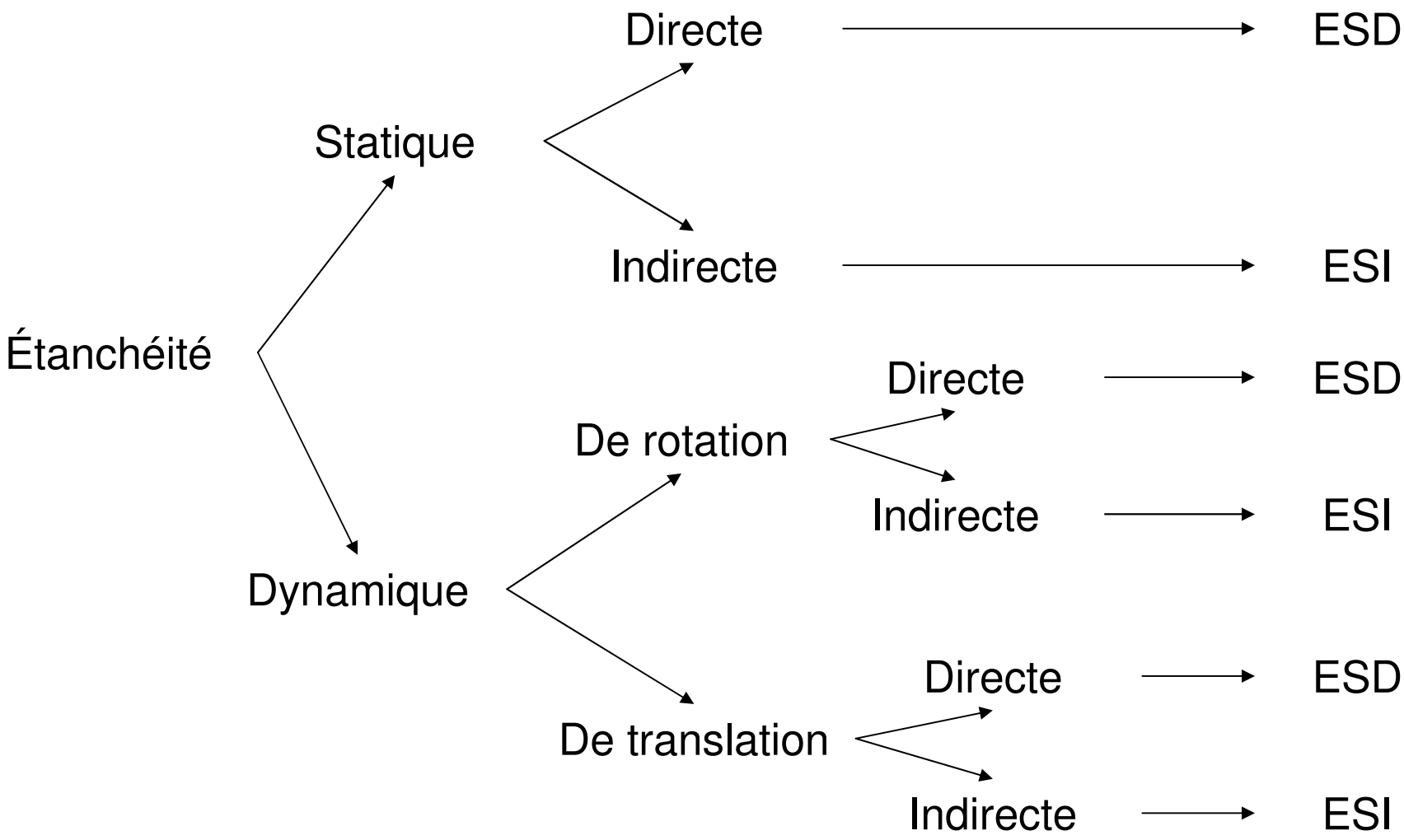
-l'autre visant à modifier les formes complémentaires des deux éléments S1 et S2 sans apport d'élément supplémentaire. L'étanchéité est, dans ce cas, réalisée de façon directe (D).

En limitant l'inventaire des dispositifs d'étanchéité à ceux concernant seulement les liaisons encastrement, les liaisons pivot et les liaisons glissière, on peut alors parler, respectivement :

- d'étanchéité statique (S) ;
- d'étanchéité dynamique de rotation (DR) ;
- d'étanchéité dynamique de translation (DT) ;

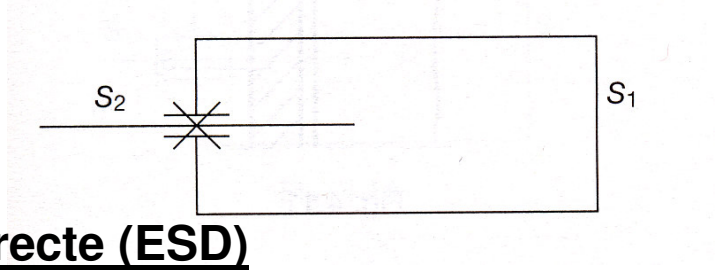
# 1.Introduction

## Classification des solutions



# 2. Étanchéité statique

*Pas de mouvement relatif entre S1 et S2*




## 2.1 Etanchéité statique directe (ESD)

Dans ce cas, l'étanchéité résulte du contact direct entre les éléments S1 et S2. Les irrégularités de forme d'ordre macro ou micro géométrique permettent le passage du fluide. Par conséquent l'étanchéité ne peut être efficace qu'en minimisant de tels défauts.

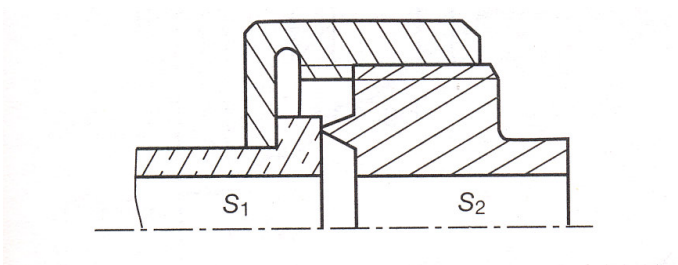
Cela est possible :

- avec une géométrie correcte (circularité, planéité) ;
- avec un serrage tel que les aspérités se trouvent écrasées ;
- avec un bon état de surface, pour que les aspérités aient une hauteur aussi faible que possible ;
- avec des matériaux relativement déformables à froid;
- en enduisant, dans certains cas, les surfaces portantes de pâte spéciale (pâte à joint). Dans ce cas, on peut parler d'étanchéité semi-directe. Après serrage, la pâte restant logée dans les aspérités fait en quelque sorte office de joint.

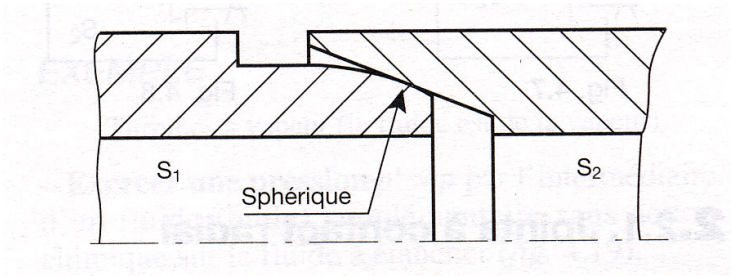
# 2. Étanchéité statique

*Pas de mouvement relatif entre S1 et S2*

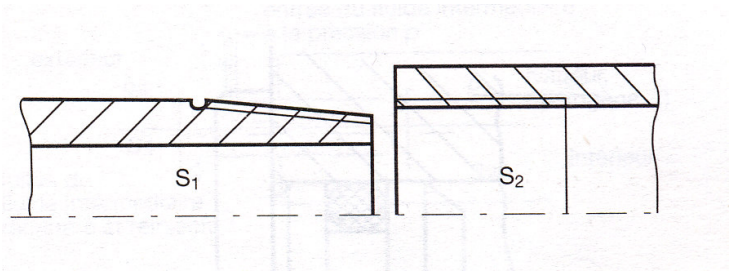
## 2.1 Étanchéité statique directe (ESD) formes complémentaires possibles



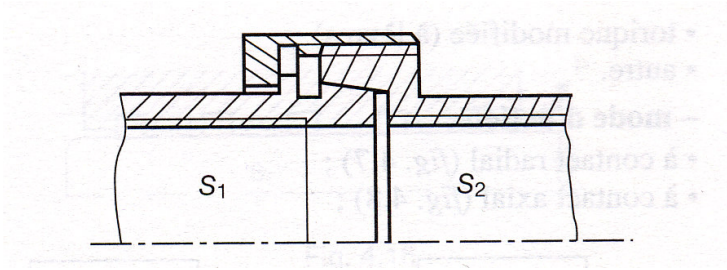

le contact plan/plan




contact sphère/cône




contact cône/cylindre fileté




contact cône/cône

# 2. Étanchéité statique

**2.2 Étanchéité statique indirecte (ESI)**

Dans ce cas, l'étanchéité est assurée par la présence d'un joint dont la déformation est élastique ou plastique. Les matériaux qui le constituent ne doivent pas être sujets aux attaques chimiques du lubrifiant ou du milieu extérieur. Les joints peuvent être classés en fonction de leur :

**- Nature :**

• matériaux plastiques : amiante, papier, liège, feutre, mastic ;
• matériaux élastiques : caoutchouc naturel, caoutchouc synthétique (néoprène)
• résine synthétique : teflon (polytétrafluoréthylène);
• métaux mous : plomb, cuivre, argent ;
• composites : métallo-plastique (cuivre + amiante) ;

**- Forme** (section droite) :

• rectangulaire ;
• torique
•Torique modifiée (à lèvre).

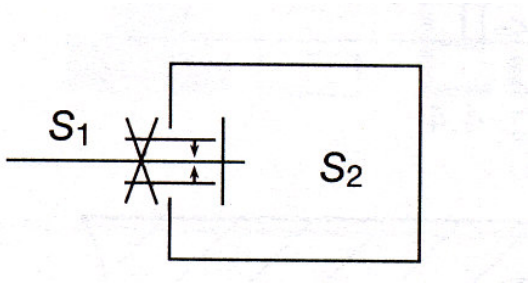
**- Mode d'action** :

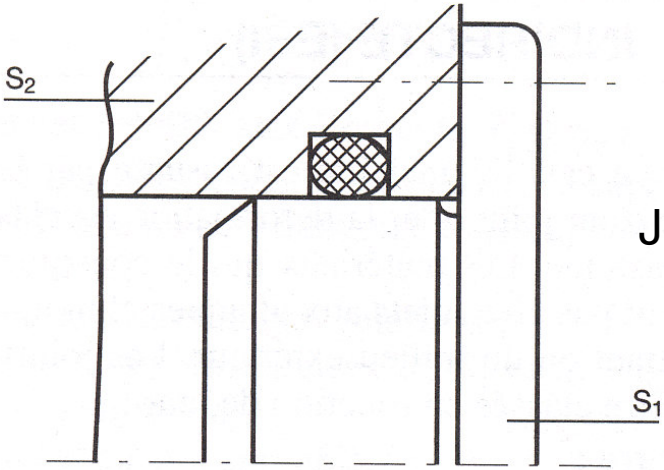
Contact axial ou radial

# 2. Étanchéité statique

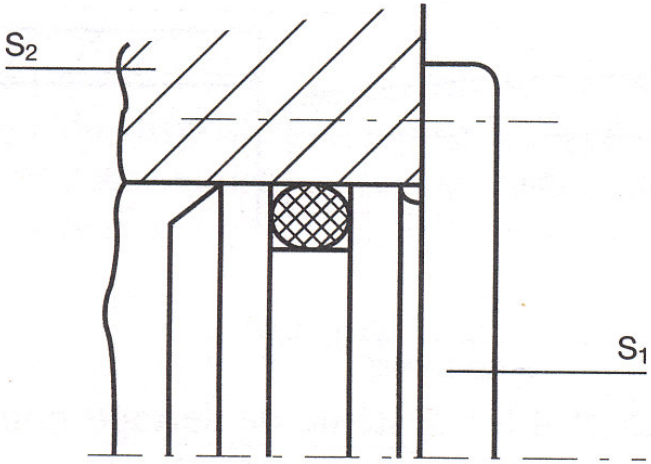
*Pas de mouvement relatif entre S1 et S2*

**2.2 (ESI) Joints à contacts radial**



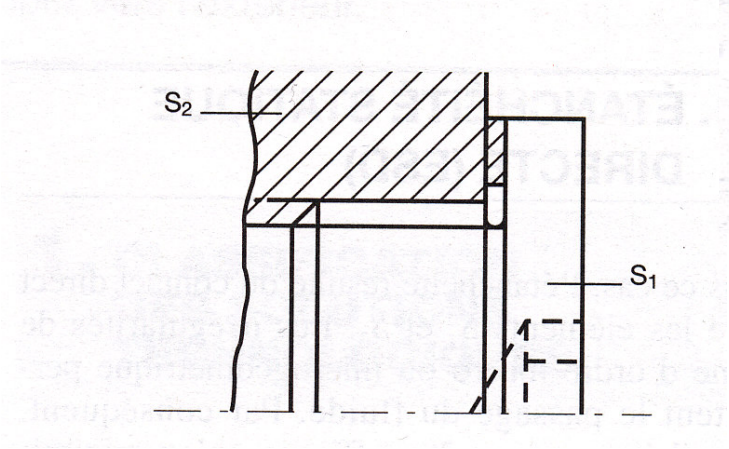

Joint torique



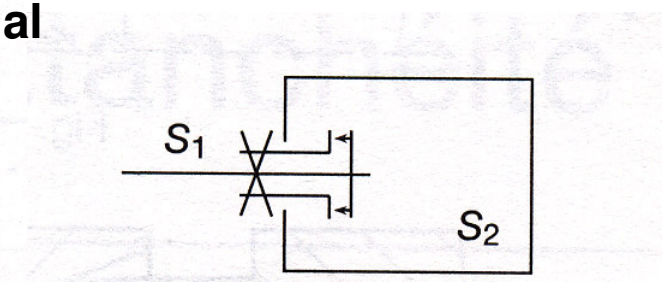
# 2. Étanchéité statique

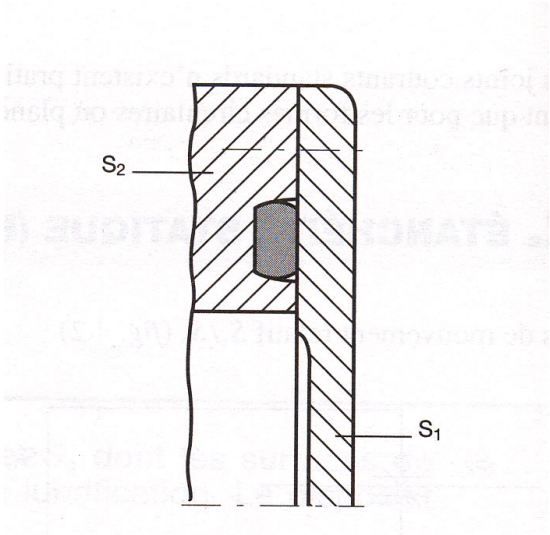
*Pas de mouvement relatif entre S1 et S2*

**2.2 (ESI) Joints à contacts axial**

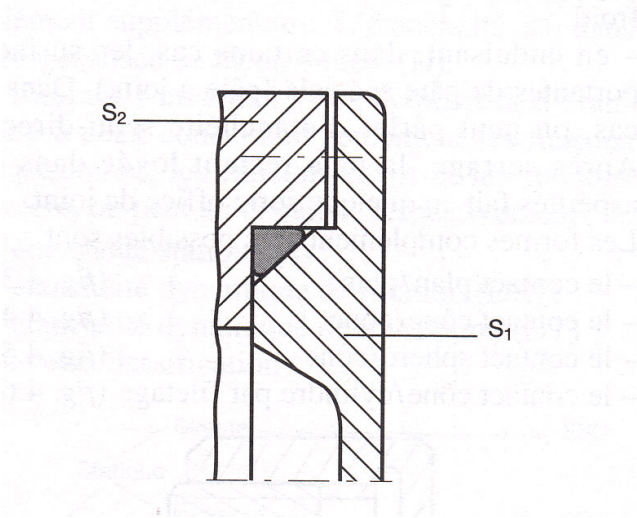



Joint plat



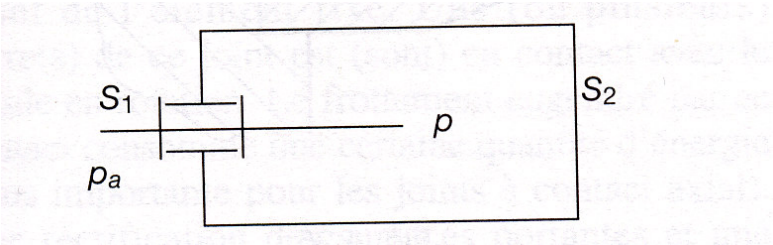




Joint torique




Joint axial et radial

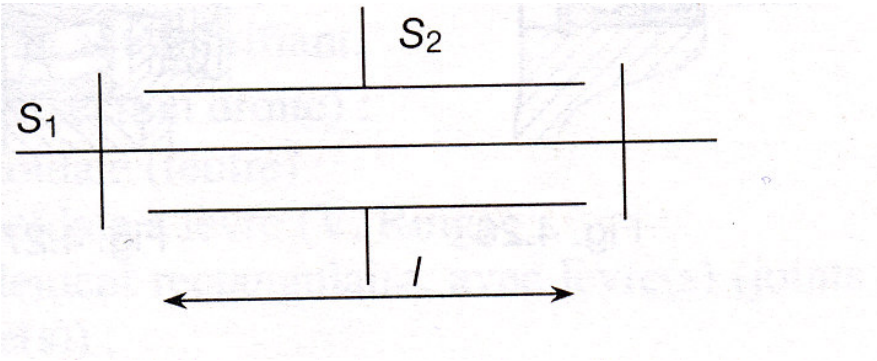
# 3. Étanchéité Dynamique de rotation

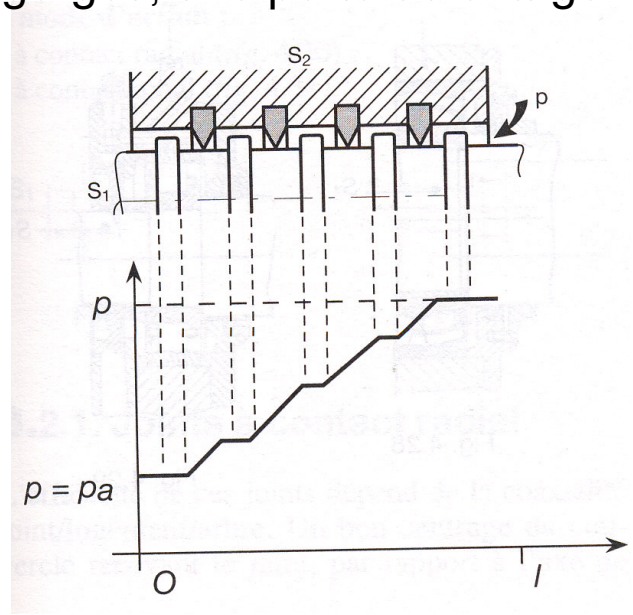



**<u>3.1 Étanchéité dynamique de rotation directe (EDRD)</u>**

Dans ce cas, il n'y a pas de contact solide entre les éléments S1 et S2.
Pour empêcher le fluide emprisonné dans le carter à la pression p > pa de sortir, plusieurs solutions existent.

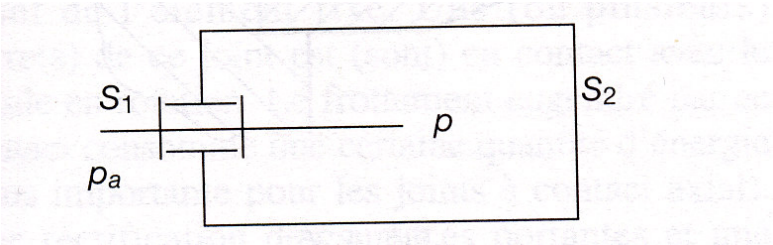
- Détendre, sur la largeur L du palier, la pression p>pa pour l'amener à p=pa. Cela est rendu possible en aménageant une succession de gorges, une perte de charge importante existant entre deux gorges voisines.



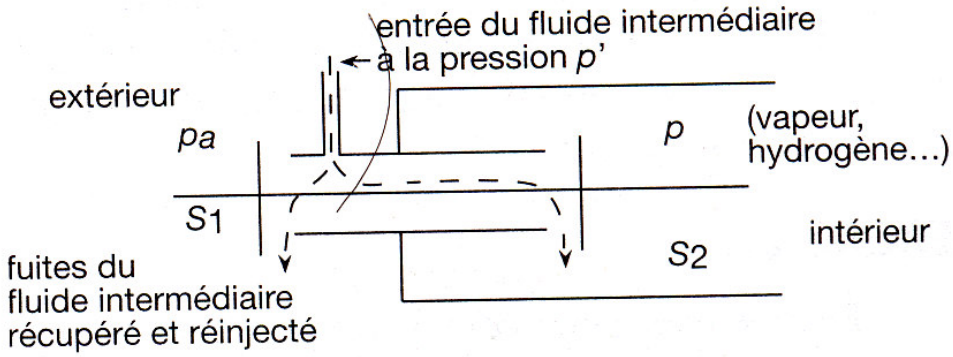

Exemple: turbine à vapeur,…

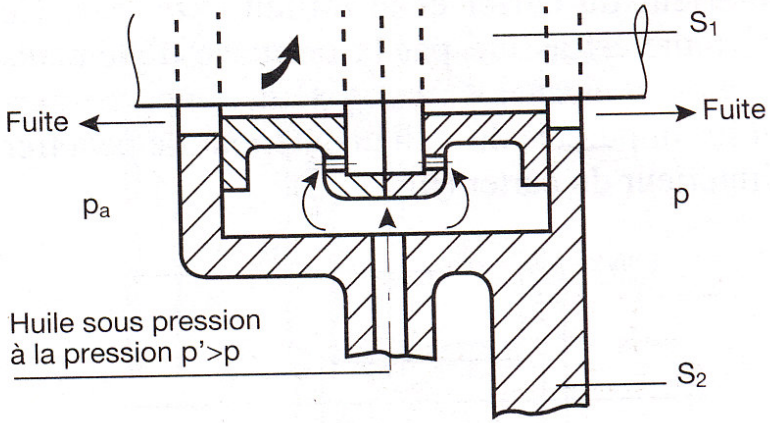
# 3. Étanchéité Dynamique de rotation



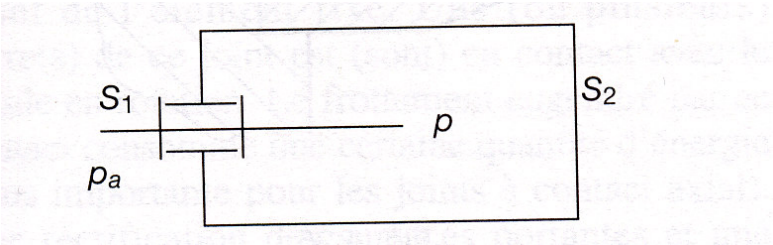

**3.1 Étanchéité dynamique de rotation directe (EDRD)**

- Exercer une pression p'>p par l'intermédiaire d'un fluide supplémentaire sans action chimique sur le fluide à étancher.



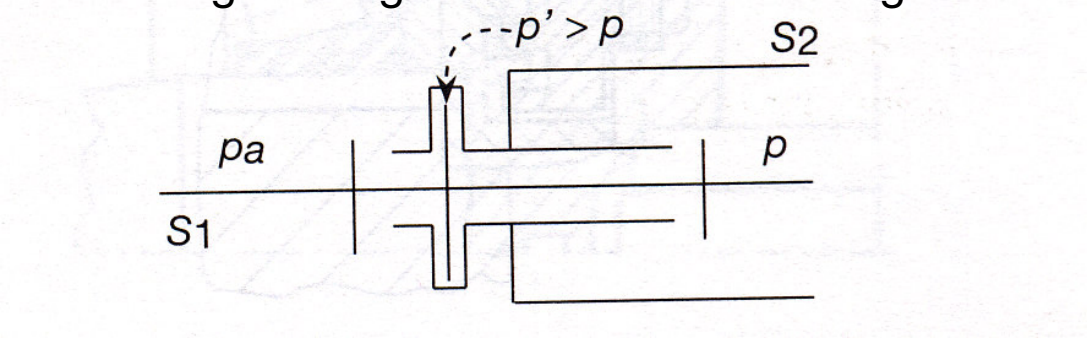



# 3. Étanchéité Dynamique de rotation

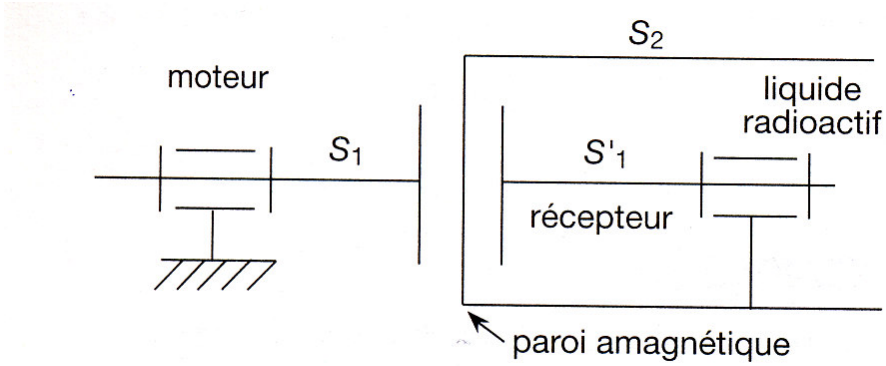



**3.1 Étanchéité dynamique de rotation directe (EDRD)**

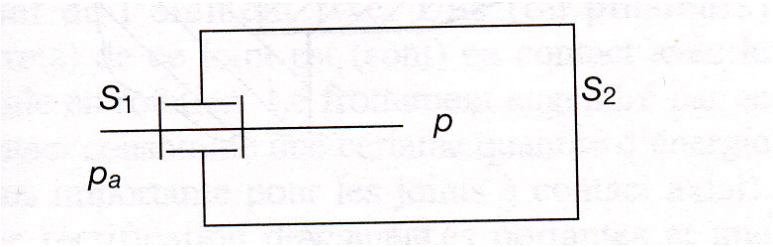
-Créer une pression antagoniste grâce à la force centrifuge du fluide à étancher.




- Créer un champ magnétique qui supprime totalement la nécessité d'une étanchéité (carter fermé totalement).

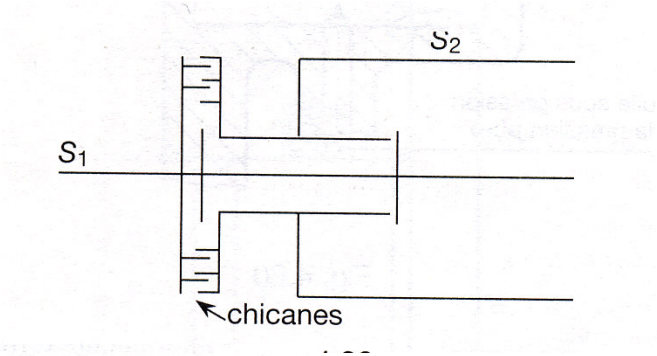


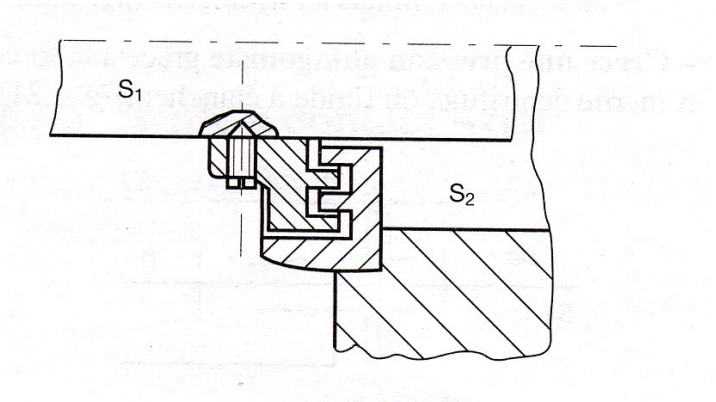
# 3. Étanchéité Dynamique de rotation

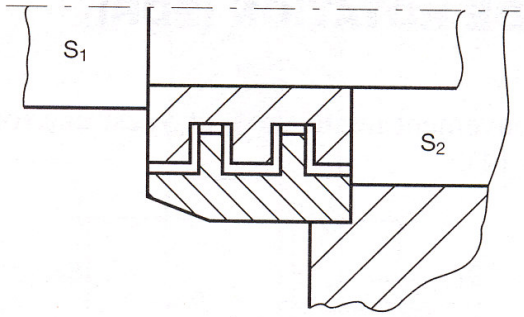



**3.1 Étanchéité dynamique de rotation directe (EDRD)**

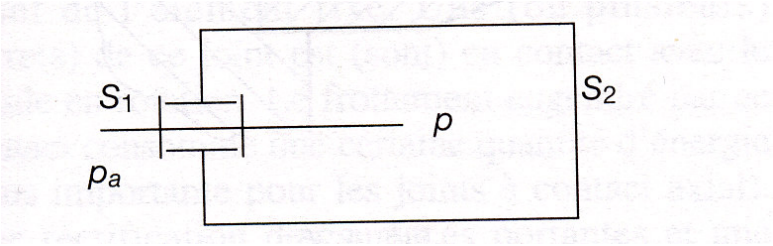
- Créer un labyrinthe compliquant la trajectoire du chemin de communication entre le carter et le milieu extérieur (chicanes). Ce système empêche les impuretés de pénétrer le carter.



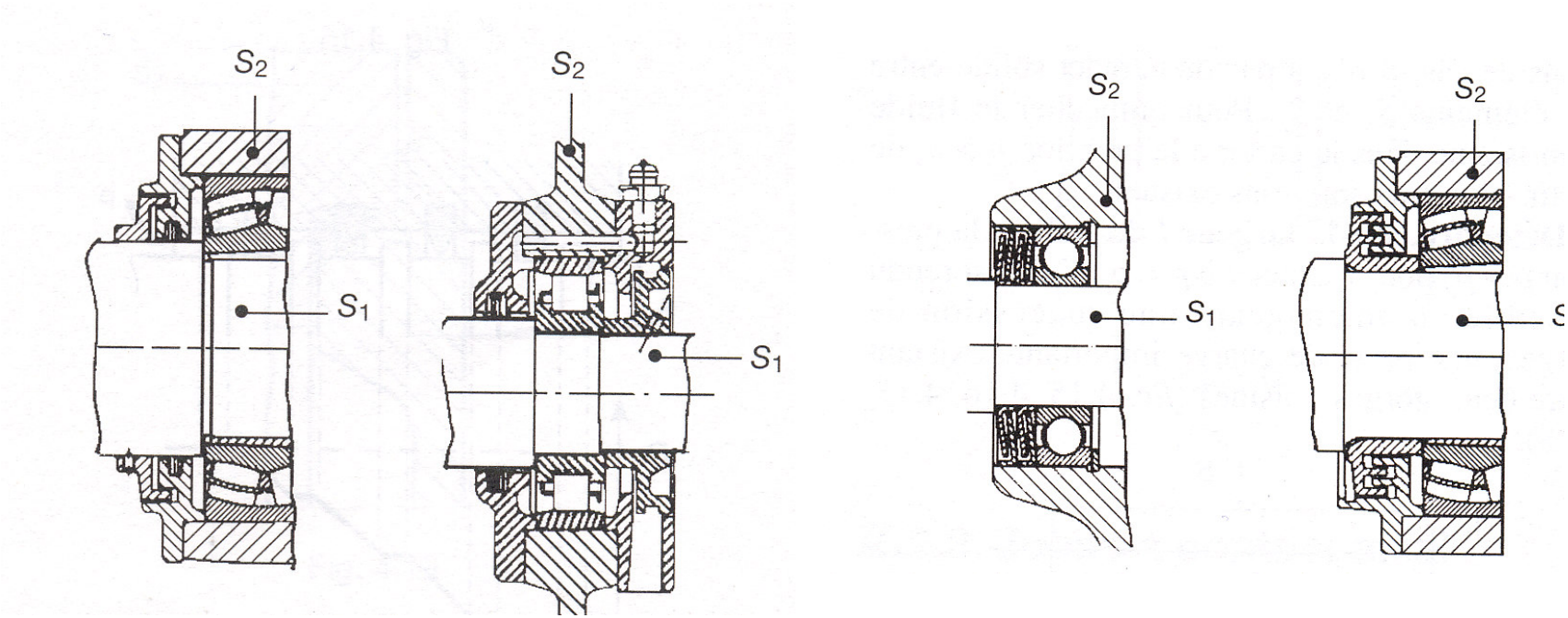



# 3. Étanchéité Dynamique de rotation




**3.1 Étanchéité dynamique de rotation directe (EDRD)**

- Exemples



# 3. Étanchéité Dynamique de rotation

**3.2 Étanchéité dynamique de rotation indirecte (EDRI)**

Dans ce cas, l'étanchéité est assurée par la présence d'un joint monté en général dans le logement de l'élément fixe.

•Une (ou plusieurs) lèvre(s) de ce joint est (sont) en contact avec le solide en rotation.

•Le frottement engendré par ce contact consomme une certaine quantité d'énergie (plus importante pour les joints à contact axial).

•Une rectification des surfaces portantes et une grande dureté superficielle sont nécessaires pour augmenter la durée de vie du joint et de l'arbre tournant (ce dernier pouvant, dans certains cas, être creusé par la lèvre du Joint).

•Les joints rotation sont spécifiques et ne peuvent, pour la plupart, assurer une étanchéité dynamique de translation.

# 3. Étanchéité Dynamique de rotation

**3.2 Étanchéité dynamique de rotation indirecte (EDRI)**

Les Joints peuvent être classés en fonction de leur:

-**Nature :**

-A contact radial:

•fibre / feutre / élastomère / élastomère + acier (cage, ressort...)

-A contact axial:

•métaux / métaux frittes / plastiques / matériau autolubrifiant

**-Forme (section droite) :**

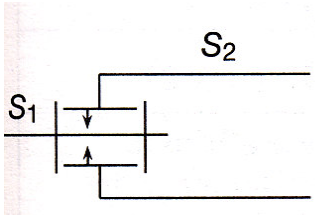
•trapézoïdale (feutre) / trapézoïdale à lèvre (V. Ring) / globalement rectangulaire, avec lèvre(s) (joints à lèvre(s));

**- Mode d'action :**

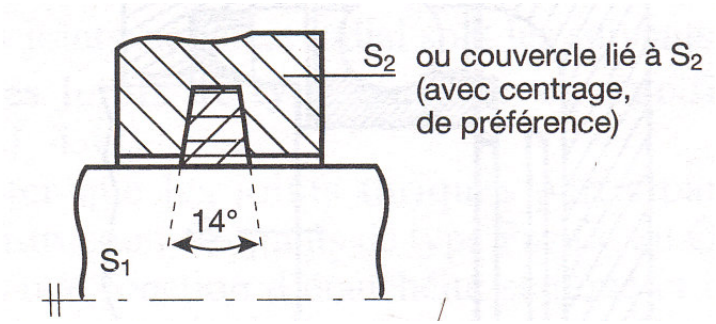
• à contact radial / à contact axial

# 3.2 Étanchéité dynamique de rotation indirecte (EDRI)

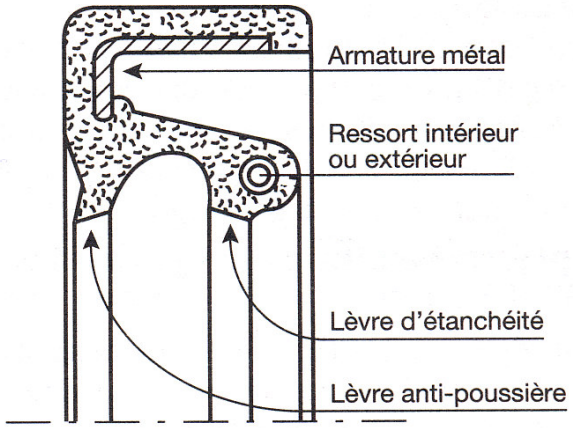
### 3.2.1 Joints à contacts radial




L'efficacité de ces joints dépends de la coaxialité joint/arbre/logement. Un bon centrage du couvercle recevant le joint par rapport à l'axe de l'arbre, conditionne l'existence d'un pression également répartie de la lèvre du joint sur la périphérie de l'arbre. Cette condition n'est pas à vérifier pour les joints à contact axial.




Joint feutre

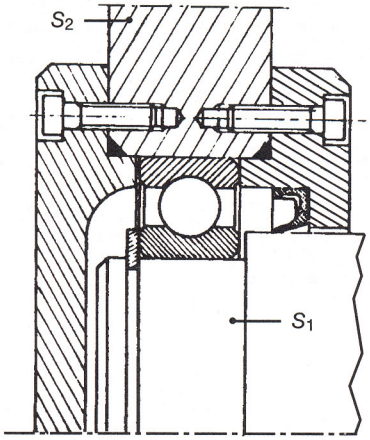



Joint à lèvre

# 3.2 Étanchéité dynamique de rotation indirecte (EDRI)

**3.2.1.1** Critères de choix état de surface pour joint à lèvre

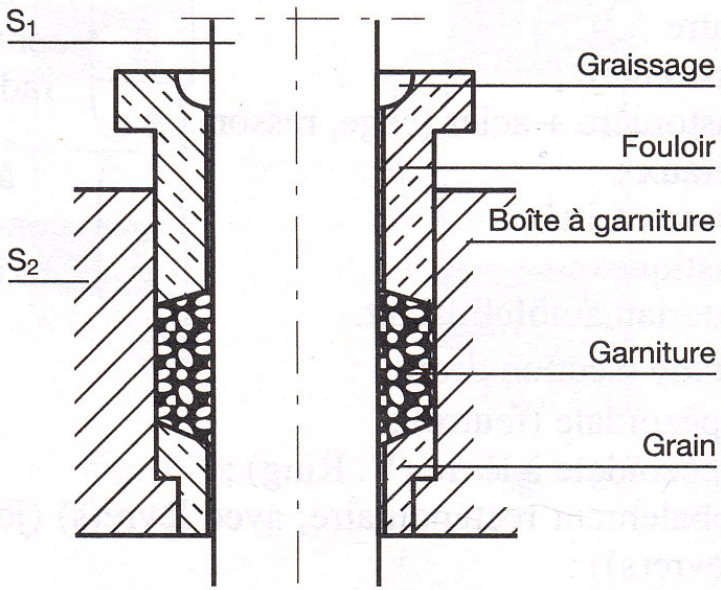
| **Pression effective** | **Usinage et état de surface en fonction de la vitesse** (m/s) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | $V < 1$ | $1 < V < 4$ | $4 < V < 10$ | $10 < V < 21$ |
| Nulle | Tournage<br>$R_a \leq 1{,}6$ | Rectification<br>$0{,}2 < R_a < 0{,}4$ | Rectification<br>+ polissage<br>$0{,}1 < R_a < 0{,}4$ | Rectification<br>+ chromage dur<br>$0{,}05 < R_a < 0{,}1$ |
| $p_e < 1$ bar | Rectification<br>$0{,}2 < R_a < 0{,}4$ | Rectification<br>+ polissage<br>$0{,}1 < R_a < 0{,}4$ | Rectification<br>+ chromage dur<br>$0{,}05 < R_a < 0{,}1$ | |
| $p_e < 5$ bars | Rectification<br>+ polissage<br>$0{,}1 < R_a < 0{,}4$ | Rectification<br>+ chromage dur<br>$0{,}05 < R_a < 0{,}1$ | | |



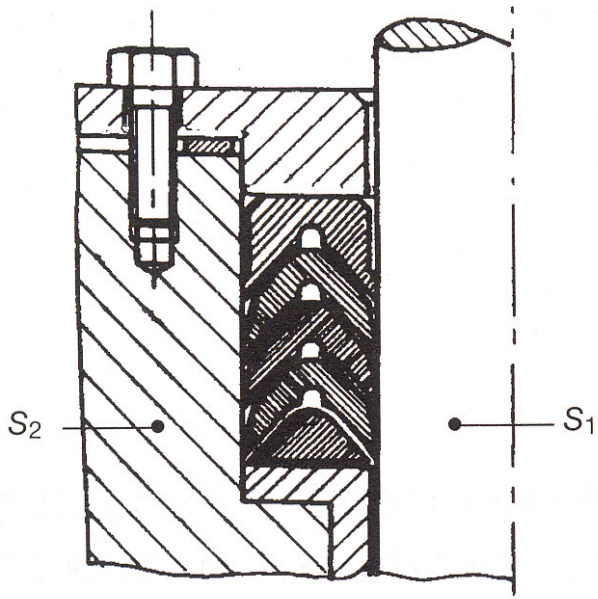
# 3.2 Étanchéité dynamique de rotation indirecte (EDRI)

### 3.2.1 Joints à contacts radial

Robinets , vannes…




Joint presse étoupe

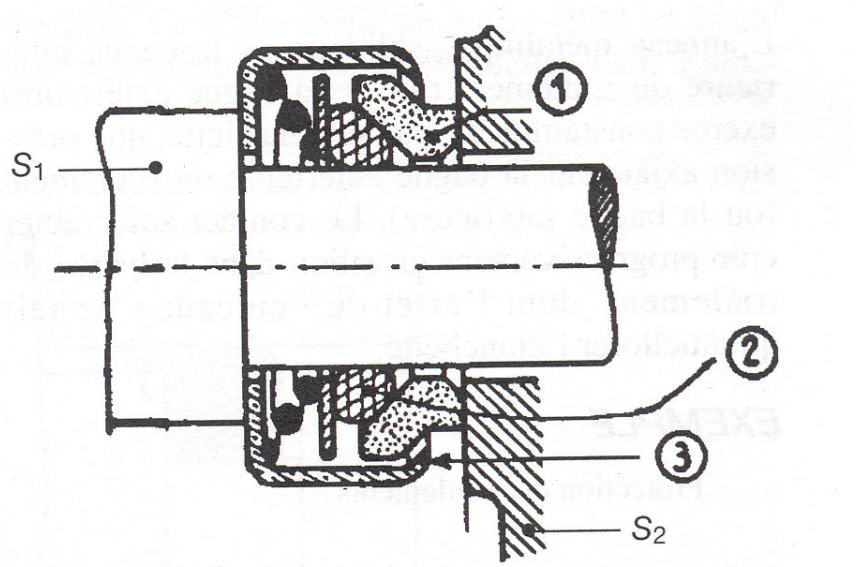



Uniquement pour de faibles vitesses de rotation car consommation d'énergie importante.

# 3.2 Étanchéité dynamique de rotation indirecte (EDRI)

**3.2.2 Joints à contacts axial :** Défaut de coaxialité (arbre / logement) accepté.

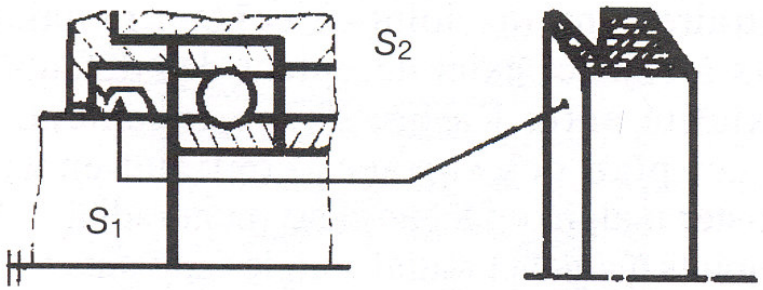
Joint Gulliver




**1** Bague de frottement
**2** Joint torique entraînant 1
**3** Boîtier laiton

Joint Gulliver

Joint V Ring



# 4. Étanchéité Dynamique de Translation

**4.1 Étanchéité dynamique de translation directe (EDTD)**

4.1.1 Avec jeu radial limité pour étanchéité des liquides

Dans ce cas, les surfaces de contact doivent :

- avoir une géométrie aussi parfaite que possible (circularité et cylindricité pour les arbres et alésages, planéité pour les surfaces planes) ;
- avoir un état de surface résultant d'une rectification, parfois d'un rodage ;
- être l'objet d'un ajustement glissant aux tolérances serrées (de type H7g6) ;
- se déplacer l'une par rapport à l'autre selon une course c inférieure à la largeur L du palier (c < L) Ceci pour éviter le pompage vers l'extérieur du fluide restant en contact sur l'arbre ;
- fonctionner à température à peu près constante pour éviter les dilatations pouvant transformer l'ajustement glissant en ajustement serré, ou au contraire, augmenter le jeu, ce qui provoquerait des fuites ;
- bénéficier d'une lubrification dans certains cas.

Exemples: robinets / Distributeurs hydrauliques…

# 4. Étanchéité Dynamique de Translation

**4.1 Étanchéité dynamique de translation directe (EDTD)**

4.1.2 Avec jeu pour étanchéité des liquides et gaz

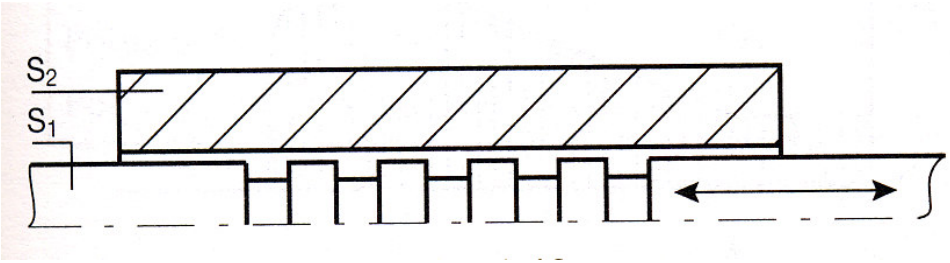
Dans ce cas, il n'y a pas de contact solide entre les éléments. Pour empêcher le fluide emprisonné dans le cartier à la pression p > pa de sortir, une solution consiste à détendre, sur la largeur / du palier, la pression p jusqu'à la pression pa. Cela est possible en aménageant une succession de gorges, une perte de charge importante existant entre deux gorges voisines. Ce principe, déjà décrit, est aussi mis en œuvre pour assurer l'étanchéité dynamique de rotation.
Les dispositions constructives adoptées diffèrent de celles proposées pour l'étanchéité dynamique de rotation car aucun obstacle ne doit empêcher la translation.

# 4. Étanchéité Dynamique de Translation

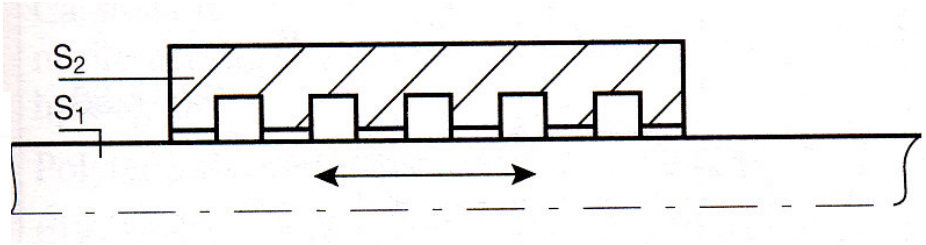
**4.1 Étanchéité dynamique de translation directe (EDTD)**

4.1.2 Avec jeu pour étanchéité des liquides et gaz

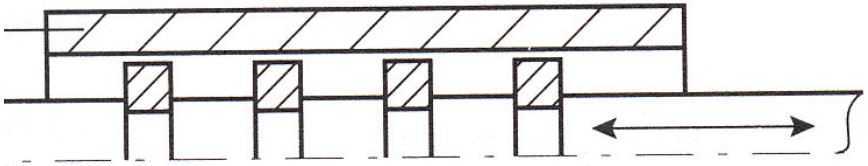
Parmi les réalisations possibles, on peut rencontrer :




un arbre rainure




un alésage rainure



un arbre portant des segments

# 4. Étanchéité Dynamique de Translation

**4.2 Étanchéité dynamique de translation indirecte (EDTI)**

Dans ce cas, l'étanchéité est assurée par la présence d'un joint monté le plus souvent sur l'élément mobile.

• Une ou plusieurs lèvre(s) de ce joint est (sont) en contact avec l'autre élément.
• Le frottement engendré par ce contact consomme une certaine quantité d'énergie.
• Une rectification des surfaces portantes et une grande dureté superficielle sont nécessaires pour augmenter la durée de vie du joint et des surfaces sur lesquelles il glisse.
• Les joints conçus pour assurer une étanchéité dynamique de translation sont spécifiques et ne peuvent, pour la plupart, assurer une étanchéité dynamique de rotation.

# 4. Étanchéité Dynamique de Translation

**4.2 Étanchéité dynamique de translation indirecte (EDTI)**

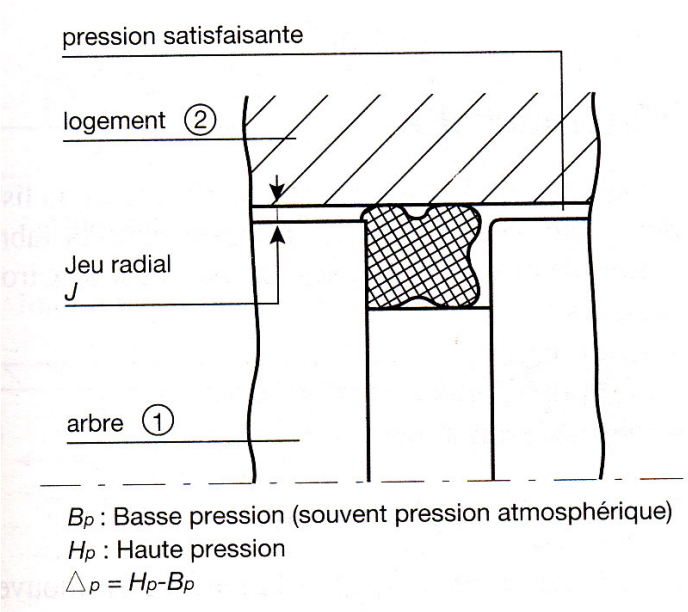
Les joints peuvent être classés en fonction de :
- Nature :
• élastomère ; • métal (segments) ; • fibres ;
- Forme (section droite) :
• torique ; • torique modifiée (avec lèvre(s)) ;
- Pour des raisons évidentes, tous les joints sont à contact radial.

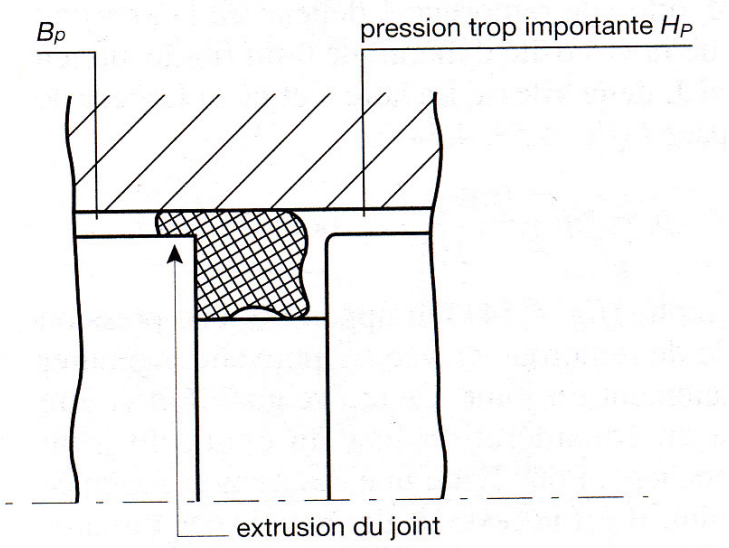
# 4. Étanchéité Dynamique de Translation

**4.2.1. Joints en élastomère, thermoplastiques et thermodurcissables**

Problème particulier de l'extrusion

Quand la pression exercée unilatéralement sur le joint tend à le déformer, comme l'indique la figure ci dessous, on parle de phénomène d'extrusion. L'extrusion conduit rapidement le Joint à sa destruction. Ce phénomène peut être évité en adoptant des tolérances dimensionnelles dans l'ajustement 1/2 fonction de Hp-Bp.



# 4. Étanchéité Dynamique de Translation

**4.2.1. Joints en élastomère, thermoplastiques et thermodurcissables**

Problème particulier de l'extrusion

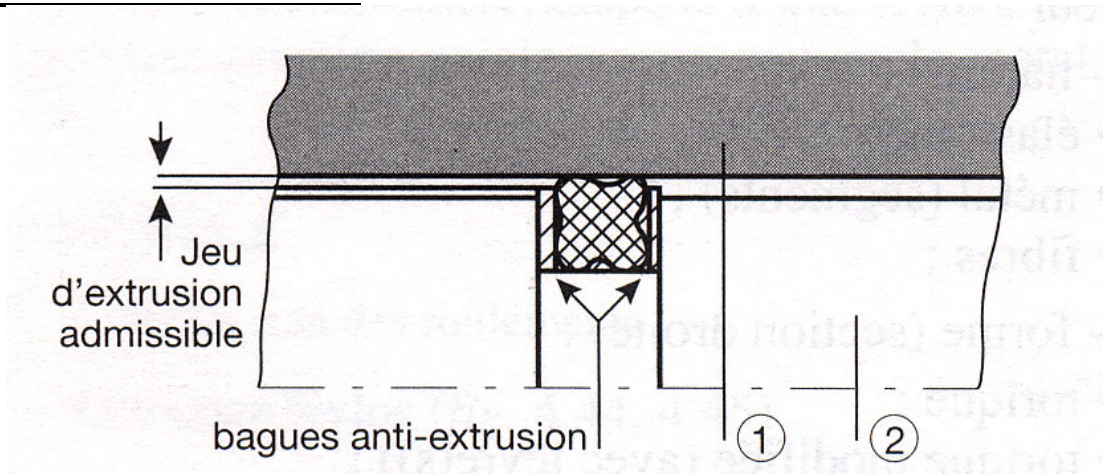
pour éviter ce phénomène, il est recommandé de respecter les indications suivantes:

| $\Delta p$(MPa) | Ajustement 1/2 |
|---|---|
| $\Delta p < 10$ | H7f7 |
| $10 \leq \Delta p \leq 20$ | H7g6 |
| $\Delta p > 20$ | montage d'une bague anti-extrusion |

# 4. Étanchéité Dynamique de Translation

**4.2.1. Joints en élastomère, thermoplastiques et thermodurcissables**

Problème particulier de l'extrusion




Pour Dp > 20 MPa, l'utilisation de bagues antiextrusion. évite un ajustement 1/2 aux intervalles de tolérances trop serré, qui compromettraient la mobilité relative. Par ailleurs, un jeu radial minimal doit être respecté (figci dessus)

- pour permettre une lubrification hydrodynamique ;
- pour éviter l'existence d'une "pression de  remorque» trop importante.

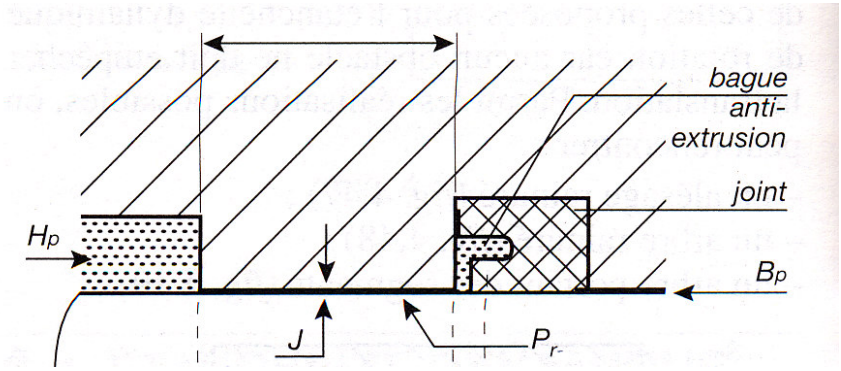
# 4. Étanchéité Dynamique de Translation

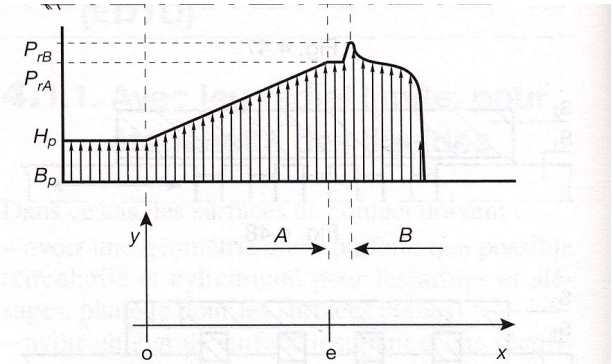
**4.2.1. Joints en élastomère, thermoplastiques et thermodurcissables**

Pression de remorque:

Lorsque les tolérances de l'ajustement du guidage sont très serrées, le mouvement développe, dans l'espace de largeur ; comprise entre le fluide et le Joint, une pression hydrodynamique. Cette dernière. dite «de remorque», dépend de la pression Hp, de la viscosité dynamique µ du fluide, du jeu radial J, de la vitesse linéaire v et de la largeur de l'espace L. $Pr=Hp+(6.\mu.L.v)/J^2$

Le graphe ci dessous fait apparaître une pression locale de remorque élevée prB pouvant engendrer l'éclatement du joint. Cette éventualité doit être prise en considération lors du choix du joint d'étanchéité.




$P_r$ : pression de remorque
$H_p$ : haute pression normale de fonctionnement
$B_p$ : basse pression
$P_{rB}$ : pression de remorque maximale

Fig. 4.54

# 4. Étanchéité Dynamique de Translation

**4.2.1. Joints en élastomère, thermoplastiques et thermodurcissables**

Pression de remorque:

Pour éviter une destruction anticipée du joint, il est nécessaire de prévoir des rainures de décharge pour permettre un équilibrage des pressions. Une disposition constructive possible consiste à prévoir des bagues de guidage en matériaux de synthèse, en forme de segments ouverts. Les ouvertures font alors office de rainures de décharge.

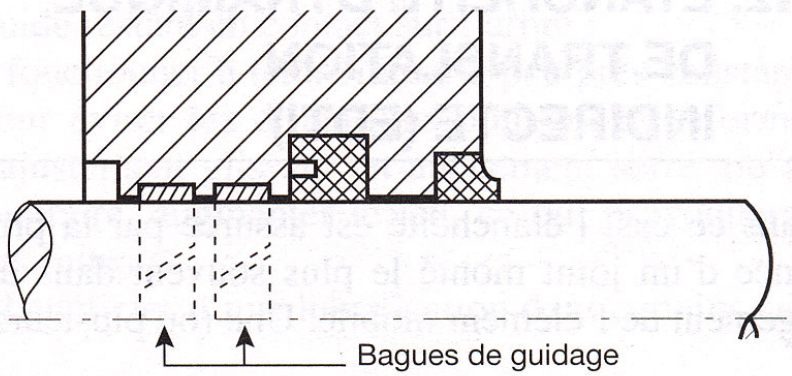



Fig. 4.55

# 4. Étanchéité Dynamique de Translation

**4.2.1. Joints en élastomère, thermoplastiques et thermodurcissables**

Matériaux (élastomère; Thermoplastique/ Thermodur)

| Désignation chimique | Désignation normalisée | Applications pour | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Joints | Bagues anti-extrusion | Bagues de guidage |
| Polyuréthane | AU | X | | |
| Butadiène nitrile-acrylique | NBR | X | | |
| Caoutchouc nitrile-carboxydé | X-NBR | X | | |
| Caoutchouc nitrile-acrylique hydrogène | NEM | X | | |
| Polytetra fluoréthylène | PTFE | X | | |
| Élastomère fluoré | FPM | X | | |
| Polyoxyméthylène | POM | | X | |
| Polyamide | PA | | X | X |
| Polybutylène téréphtalate | PBTB | | X | |

# 4. Étanchéité Dynamique de Translation

**4.2.1. Joints en élastomère, thermoplastiques et thermodurcissables**

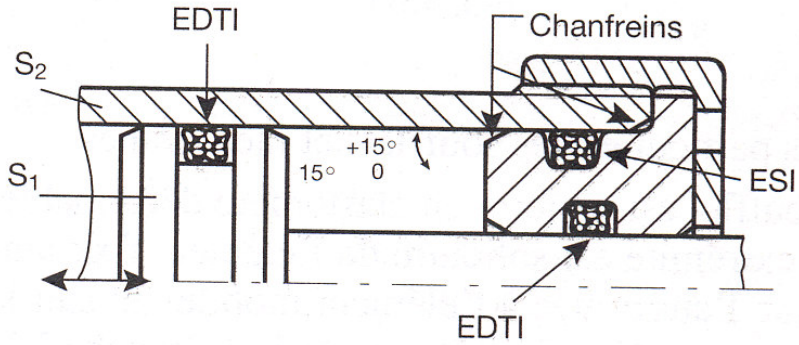
Vitesse de déplacement

La vitesse de déplacement se situe entre 0,1 et 0,5 m/s.
Dans certains cas particuliers, la vitesse de 1 m/s pourra être dépassée et le joint adapté devrait être sélectionné après une série d'essais préalables. La formation du film de lubrifiant et le frottement dépendent fortement de la vitesse. Aux environs de 0,05 m/s, la force de frottement augmente énormément. Surtout en haute température, le stick-slip risque d'apparaître. Pour éviter le stick-slip, on utilisera un matériau comportant un faible facteur de frottement (par exemple le PTFE).

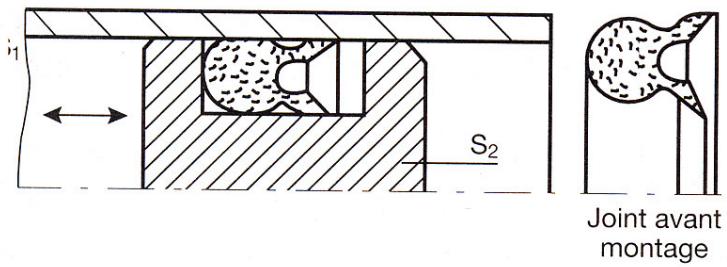
# 4. Étanchéité Dynamique de Translation

**4.2.1. Joints en élastomère, thermoplastiques et thermodurcissables**

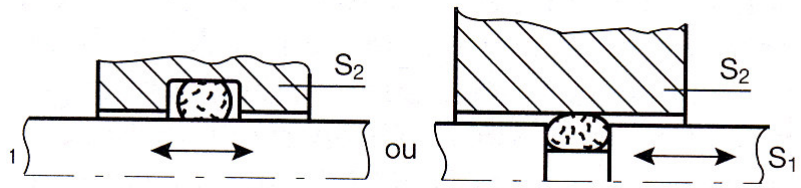
Forme des joints




Joint quadring




Joint torique modifié

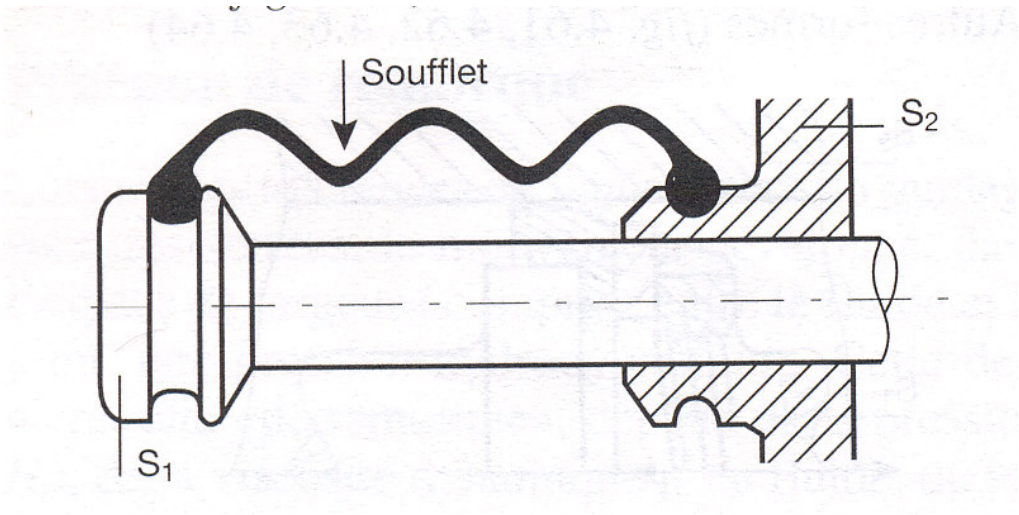



Joint torique

# 4. Étanchéité Dynamique de Translation

**4.2.1. Joints en élastomère, thermoplastiques et thermodurcissables**

Cas particulier des soufflets à membrane




Le soufflet est un joint en élastomère déformable. Une extrémité est solidaire de l'élément fixe tandis que l'autre, liée à l'élément mobile, en suit le mouvement. Ce joint est, en général, étanche à la graisse qu'il contient, et aux poussières du milieu extérieur.

# 4. Étanchéité Dynamique de Translation

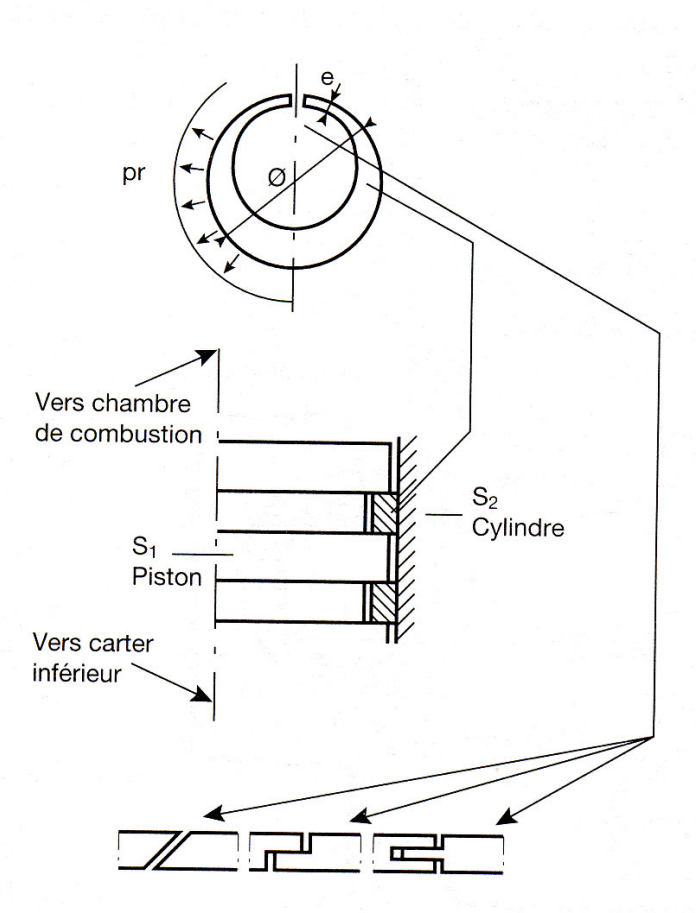
**4.2.2. Joints métalliques**

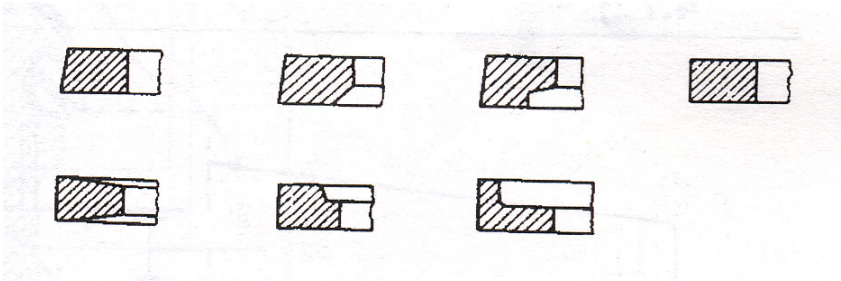
Essentiellement dans les moteurs ou pompes à pistons, ces joints métalliques, nommés segments, sont des anneaux élastiques ouverts pour permettre leur montage dans les gorges du piston. La forme de la fente est généralement en sifflet. Pour minimiser les fuites qui pourraient se produire à cet endroit, les fentes des trois ou quatre segments montés sur le piston sont angulairement décalées sur la périphérie du piston.

L'épaisseur e varie pour assurer une égale pression radiale p, du segment sur le cylindre. Les deux ou trois segments placés dans les gorges supérieures du piston sont les segments d'étanchéité. Le dernier, placé dans la gorge inférieure, est appelé segment râcleur car il empêche les remontées d'huile contenue dans le carter inférieur Les sections droites des segments peuvent être de formes variées.

# 4. Étanchéité Dynamique de Translation

**4.2.2. Joints métalliques**



Sections droites