

Robert LEGENDRE

**Mémento  
de  
Maintenance  
Mécanique**

Robert LEGENDRE

# Mémento de Maintenance Mécanique

Editeur : 979-10-96361

ISBN : 979-10-96361-00-7

EAN : 9791096361007

**R.LEGENDRE** 38 Rue Taine 75012 PARIS Tél 01 43 40 54 56  
Legendre38@yahoo.fr



# Préface

La maintenance est l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé.

Nous dirons également que : **maintenir du matériel, ce n'est pas dépanner ou guérir ; c'est effectuer des opérations ( dépannage, graissage, visite, réparation, amélioration, etc. ) qui permettent de conserver le potentiel du matériel pour assurer la continuité et la qualité de la production.**

Bien maintenir, c'est assurer ces opérations au **coût global optimum**.

Mais la Maintenance est avant tout une fonction technique où la connaissance des matériels et les bonnes manières d'intervenir sont primordiales.

Or les règles d'organisation et de gestion, avec une primauté de l'informatique, ont envahi le monde de la fonction de maintenance au détriment parfois d'une simple documentation technique de base.

C'est pourquoi nous avons décidé de réaliser ce mémento technique, sur la partie mécanique dans une première étape. Pour cette réalisation nous avons profité de nos propres connaissances et expériences, des avis de plusieurs responsables de maintenance mais aussi de documentations techniques anglo-saxonnes qui existent encore outre-manche et outre-atlantique.

Certes ce mémento technique est loin d'être exhaustif, mais nous espérons qu'il répond bien à l'essentiel des préoccupations techniques en maintenance d'une manière que nous espérons assez pratique.

R. LEGENDRE

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'R. Legendre', with a stylized flourish at the end.

# Sommaire

<b>1<sup>ère</sup> Partie : Analyses des causes et remèdes de défaillances</b>	<b>Page</b> <b>6</b>
<b>Types de défaillances</b> .....	<b>7</b>
<b>Aides aux diagnostics de défaillances</b> .....	<b>9</b>
▪ Comment trouver la cause.....	11
▪ Ruptures dues à la charge.....	15
▪ Détériorations de surface.....	35
▪ Corrosion.....	39
▪ Bourrages.....	54
▪ Blocages.....	56
▪ Défaillances de roulements .....	57
▪ Défaillances d'engrenages.....	82
▪ Défaillances de garnitures mécaniques .....	90
▪ Défaillances de pompes hydrauliques .....	94
▪ Défaillances de courroies .....	96
▪ Tableaux causes-effets.....	99
<b>Règles de l'art en maintenance</b> .....	<b>111</b>
▪ Serrages .....	113
▪ Roulements et coussinets.....	116
▪ Joints.....	132
▪ Accouplements .....	141
▪ Chaînes et courroies .....	156
▪ Tuyauterie et robinetterie.....	161
▪ Pompes et turbines.....	171
▪ Hydraulique .....	188
▪ Pneumatique.....	203
▪ Divers.....	207
▪ Sécurité .....	237
▪ Stockage .....	242
▪ Tolérances.....	249
<b>Contrôles de maintenance préventive</b> .....	<b>251</b>
▪ Contrôles sensoriels.....	252
▪ Inspection du sous-sol.....	254
▪ Inspection des bâtiments.....	257
▪ Inspection des tuyauteries et circuits.....	259
▪ Inspection des machines.....	265
▪ Moyens de contrôles assez simples.....	270
▪ Endoscopie.....	275
▪ Mesures de vibrations.....	278
▪ Analyses d'huile.....	284
▪ Thermographie.....	291
▪ Courant de Foucault.....	294
▪ Ressuage.....	297
▪ Magnétoscopie.....	301
▪ Contrôles par ultrasons.....	304
▪ Contrôle des vannes.....	310
<b>Standards de maintenance préventive</b> .....	<b>313</b>

<b>2<sup>ème</sup> Partie : Documentation pratique.....</b>	<b>Page</b> <b>363</b>
<b>Sécurité .....</b>	<b>365</b>
▪ Principes généraux de prévention.....	366
▪ Consignations et déconsignations.....	368
▪ Plan de prévention.....	371
▪ Visites et formations réglementaires.....	374
▪ Evaluation des risques.....	398
<b>Techniques spéciales .....</b>	<b>401</b>
▪ Colles en maintenance.....	402
▪ Lubrification .....	411
▪ Soudage des pièces métalliques.....	435
▪ Soudage des pièces en matières plastiques.....	448
▪ Métallisation et rechargement de pièces.....	449
▪ Revêtements et solutions maintenance.....	452
▪ Protection cathodique.....	462
▪ Traitements thermiques.....	465
▪ Levage et manutention.....	468
<b>Codification, symboles et normes .....</b>	<b>479</b>
▪ Codification en boulonnerie.....	480
▪ Codification des métaux ferreux.....	481
▪ Codification des métaux non ferreux.....	486
▪ Symboles en robinetterie.....	488
▪ Symboles en hydraulique.....	492
▪ Symboles en pneumatique.....	495
▪ Codification des roulements.....	497
▪ Normalisation des cotes et états de surface.....	505
▪ Normes de maintenance.....	516
<b>Lois et valeurs physiques .....</b>	<b>519</b>
▪ Unités de mesure françaises et anglo-saxonnes.....	520
▪ Densités des solides et liquides.....	526
▪ Températures matières plastiques et métaux.....	529
▪ Coefficients de dilatations.....	530
▪ Informations techniques diverses.....	532
▪ Algèbre et géométrie.....	540
▪ Duretés .....	546
▪ Propriétés des différents métaux.....	547
▪ Production de vapeur d'eau .....	553
▪ NPSH et hauteur manométrique.....	557
<b>Matériels courants .....</b>	<b>559</b>
▪ Boulonnerie.....	560
▪ Roulements.....	564
▪ Chaines.....	576
▪ Courroies.....	581
▪ Accouplements.....	595
▪ Réducteurs.....	606
▪ Joints.....	616
▪ Garnitures mécaniques.....	621
▪ Pompes .....	640
▪ Vannes.....	658
▪ Hydraulique.....	663
▪ Organes divers et Purgeurs.....	698

# *Première partie*

## *Analyses des causes et remèdes des défaillances*

	Page
Types de défaillances.....	7
Aides aux diagnostics de défaillances.....	9
Règles de l'art en maintenance.....	111
Contrôles de maintenance préventive.....	251
Standards de maintenance préventive.....	313

# Types de défaillances

Notre expérience nous a conduit à distinguer 3 types de défaillances du matériel :  
Défaillances extrinsèques – Défaillances dispersées – Défaillances intrinsèques

**Une défaillance extrinsèque a une cause qui est spécifique** à un organe, à une fonction, à un produit où elle apparaît ; cette cause n'est pas due à la dégradation normale d'un organe.

La défaillance peut survenir plusieurs fois par an.

Notre démarche consiste à analyser systématiquement le phénomène du point de vue physique.

Le chapitre « **Aides aux diagnostics de défaillances** » apporte des solutions en termes de causes et remèdes pour ce type de défaillance.

**Les défaillances dispersées ont une cause qui est générale** à plusieurs organes, ou plusieurs fonctions, ou plusieurs produits où elles apparaissent.

Il s'agit de trouver un point commun à des défaillances semblables. Ce point commun est **très souvent une ou plusieurs règles de l'art** non respectées.

Le chapitre « **Règles de l'art en maintenance** » présente 75 règles de l'art.

**Une défaillance intrinsèque a pour cause l'usure ou dégradation normale d'un organe.**

En général, elle nécessite le remplacement de l'organe et elle ne survient qu'au maximum une fois dans l'année.

On évite les pannes par la maintenance préventive.

Les chapitres « **Contrôles de maintenance préventive** » et « **Standards de maintenance préventive** » apportent les réponses d'ordre technique quant à ce besoin.

Il existe également des défaillances inopinées qui se manifestent en dehors des données habituelles. Etant causées par une variation inattendue des conditions de fabrication, il faut simplement prendre des mesures de remise en état pour revenir à l'état normal.

# Types de défaillances

Examen des historiques sur une période de six à douze mois

- Fonctions
- Organes
- Produits

## DEFAILLANCES

- Franches
- Ralentissements
- Micro-Arrêts

### Extrinsèques

Par défaillance

1. Description physique du phénomène

2. Conditions nécessaires

3. Éléments répondant aux conditions nécessaires

**CAUSE PROBABLE**  
( 90 % des cas )

### Dispersées

Par groupe de défaillances

**POINT COMMUN**  
( 80 % règles de l'art )

### Intrinsèques

Uniques dans la période

**PREVENTIF**  
( à examiner )

V é r i f i c a t i o n

**SOLUTION**

M i s e   e n   o e u v r e

# Aides aux diagnostics de défaillances

	Page
<b>Comment trouver la cause.....</b>	<b>11</b>
<b>Ruptures dues à la charge.....</b>	<b>15</b>
<b>Détériorations de surface.....</b>	<b>35</b>
<b>Corrosion.....</b>	<b>39</b>
<b>Bourrages .....</b>	<b>54</b>
<b>Blocages.....</b>	<b>56</b>
<b>Défaillances de Roulements.....</b>	<b>57</b>
<b>Défaillances d'Engrenages.....</b>	<b>82</b>
<b>Défaillances de Garnitures mécaniques.....</b>	<b>90</b>
<b>Défaillances de Pompes hydrauliques.....</b>	<b>94</b>
<b>Défaillances de Courroies.....</b>	<b>96</b>
<b>Tableaux causes-effets.....</b>	<b>99</b>



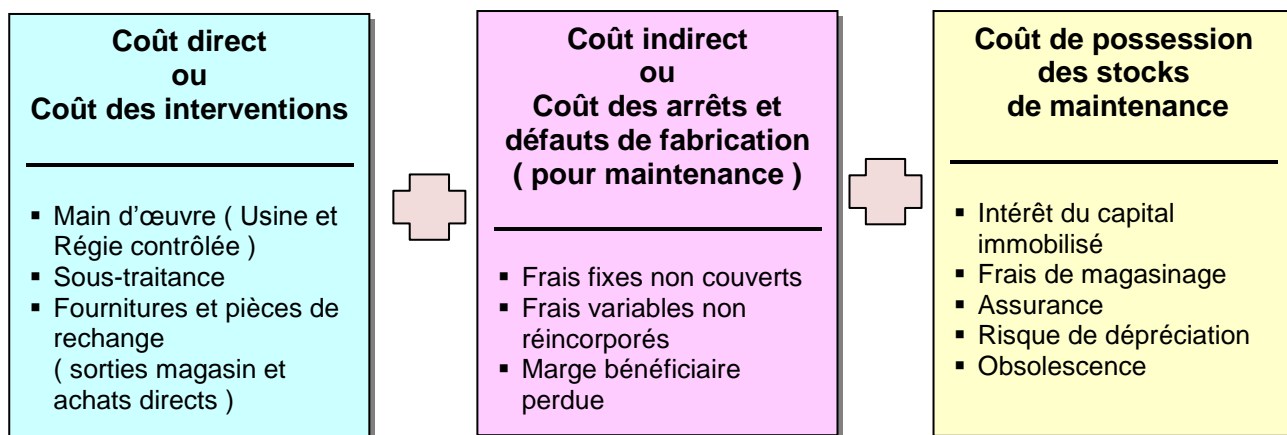


## Comment trouver la cause

### Raisons

La maintenance est l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé, et que : **maintenir du matériel, ce n'est pas dépanner ou guérir ; c'est effectuer des opérations ( dépannage, graissage, visite, réparation, amélioration, etc. ) qui permettent de conserver le potentiel du matériel pour assurer la continuité et la qualité de la production.**

Bien maintenir, c'est assurer ces opérations au **coût global optimum**.



Chacun de ces trois éléments est en relation avec les deux autres.

Depuis le début du XX<sup>ème</sup> siècle, on est passé successivement du dépannage à l'entretien, puis à la maintenance.

Dépannage et Entretien reposent sur une attitude de défense par rapport aux événements dus au matériel, alors que la Maintenance repose plus sur une attitude d'attaque face à ces événements.

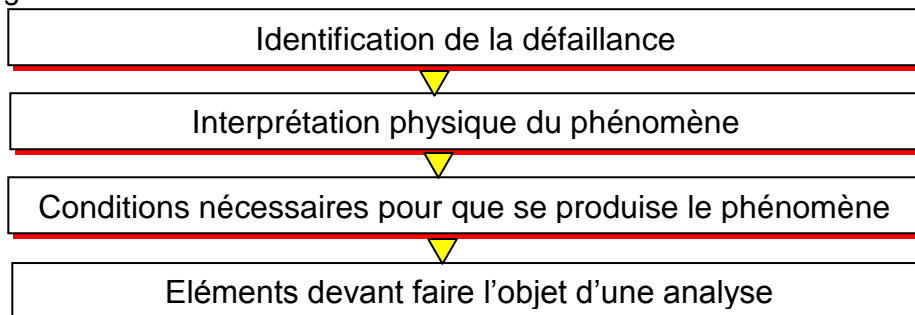
Le passage de l'Entretien à la Maintenance implique :

- d'abord comme pour l'Entretien la **compétence technique** ;
- la volonté de supprimer les pannes dans un but essentiellement **économique** ;
- enfin la **motivation** des hommes.

C'est une **position offensive d'attaque** sur l'imprévu ; on cherche à tendre vers une **situation maîtrisée = objectif zéro panne**.

La raison de ce chapitre est là : il faut toujours chercher à éliminer les défaillances, ou au moins réduire leurs effets. C'est pourquoi les défaillances répétitives ou extrinsèques nécessitent que l'on réalise des **analyses causales** « après-coup ».

La méthode que nous proposons est simple et expérimentée à travers de multiples applications en France et à l'Etranger :



## Identification de la défaillance

Il faut décrire le problème (QQOQCC) en répondant aux questions suivantes :

<b>QUI ?</b>	<i>Qui s'aperçoit de la défaillance ? Qui intervient ?</i>
<b>QUOI ?</b>	<i>Qu'est-ce qui est cassé, usé, corrodé ? Avec quoi intervient-on ?</i>
<b>OU ?</b>	<i>Quel endroit, quel circuit, quelle zone ? Y-a-t'il un équipement similaire sur lequel ne survient pas la défaillance ?</i>
<b>QUAND ?</b>	<i>Quels jours ? Quelles heures ? Depuis quand ? Pendant quelle opération ?</i>
<b>COMMENT ?</b>	<i>Est-ce une fissure ? une usure asymétrique ?.....etc.</i>
<b>COMBIEN ?</b>	<i>de jeu, de pression, d'usure... ? Trouvez l'unité qui rend le mieux compte de l'état d'usure : tonnes ou unités produites entre 2 défaillances, mm de corrosion par an,...</i>
<b>REMEDE</b> ⇒	<i>Comment fait-on pour redémarrer quand la défaillance apparaît ? Quelle réparation éventuelle fait-on ?</i>

Il s'agit dans cette étape de recueillir tous les éléments pour identifier le problème et de contrôler leur exactitude.

***Le plus possible, on prendra en compte les constatations faites par les opérateurs d'exploitation.***

Dans certains cas, il est utile de réunir un groupe de personnes concernées.

## Interprétation physique du phénomène

Exemples :

- S'il y a corrosion : est-ce une corrosion chimique, atmosphérique, galvanique, par cavitation ou tout simplement une érosion ?
- S'il y a casse : est-ce une casse par torsion, par cisaillement, par fatigue, par choc... ?
- Est-ce une carbonisation due à un apport thermique excessif, etc...

***Le plus possible, on prendra en compte les constatations faites par les réparateurs.***

Dans certains cas, on devra :

- attendre une nouvelle défaillance pour faire un relevé de l'état de l'organe,
- utiliser des moyens particuliers tels que la photographie, des relevés de pressions, de températures, etc...
- faire une analyse par un laboratoire.

Par expérience, on constate que très souvent on découvre la cause simplement par l'identification de la défaillance et l'interprétation physique du phénomène.  
Dans ce cas, bien sûr il ne faut pas poursuivre l'analyse.

## Conditions nécessaires pour que se produise la défaillance

On répond à cette question, en prenant en compte à la fois l'interprétation physique du phénomène et les caractéristiques propres de l'organe étudié.

Exemples :

- S'il y a carbonisation due à un apport thermique excessif, les conditions nécessaires pour que se produise la défaillance peuvent être : manque de lubrification, refroidissement insuffisant, pression trop forte,...
- Si un arbre est cassé par torsion ( on le voit à l'examen ) la condition nécessaire est qu'il y ait un blocage dans la chaîne cinématique.
- Si est cassé par flexion ( non alternée ) la condition est qu'il y ait une poussée entre deux paliers, etc...

A ce stade, on peut utiliser une « Aide au diagnostic » pour trouver plus rapidement la cause.

## Éléments devant faire l'objet de l'analyse

Les réponses aux 2 questions précédentes vont guider le choix des différents éléments à prendre en considération dans l'analyse.

Une sélection est donc à faire parmi la liste exhaustive ci-après :

- L'organe défaillant lui-même.
- Les autres organes (ou sous-ensembles) en relation directe, ou indirecte dans la mesure où ils sont très proches, avec l'organe défaillant :
  - en amont,
  - conjoints,
  - en aval.
- Les fluides utilisés pour le fonctionnement de l'organe défaillant : huile, graisse, eau, produit de blocage pour garnitures mécaniques de pompes, etc...
- Les énergies utilisées pour le fonctionnement de l'organe défaillant : électricité, air comprimé, vapeur, etc...
- Les produits en relation avec l'organe défaillant, ou avec les autres organes (il convient d'avoir de bonnes connaissances technologiques pour préciser les caractéristiques des produits pouvant avoir une influence sur les organes : corrosion, érosion, encrassement, agression mécanique, etc...)
  - en fonctionnement normal,
  - lors d'opérations spéciales.
- Le système de commande et régulation.

Si nécessaire, on précisera certains points clés concernant :

### ***L'utilisation***

- La marche normale, semi-automatique, manuelle
- Les réglages pour changements de produits
- Les nettoyages
- Les redémarrages
- Les opérations particulières

### ***Le milieu***

- la température et ses variations
- le son et les vibrations
- la lumière avec ses variations
- les poussières
- l'humidité

On examinera alors si la variation d'un de ces éléments est liée à une condition nécessaire.

### **Remarque générale**

#### **Les causes aux défaillances ne sont pas toujours techniques.**

Un certain nombre d'entre elles sont liées : au process, à la matière, au mode opératoire d'exploitation, à des erreurs humaines, à l'environnement.

**Pour aider la recherche des causes techniques** et des solutions à y apporter, nous présentons ci-après quelques thèmes :

- Ruptures dues à la charge
- Détériorations de surface
- Corrosion
- Bourrages
- Blocages
- Défaillances de roulements
- Défaillances d'Engrenages
- Défaillances de Garnitures mécaniques
- Défaillances de Pompes hydrauliques
- Défaillances de courroies
- Tableaux causes-effets

## Ruptures dues à la charge

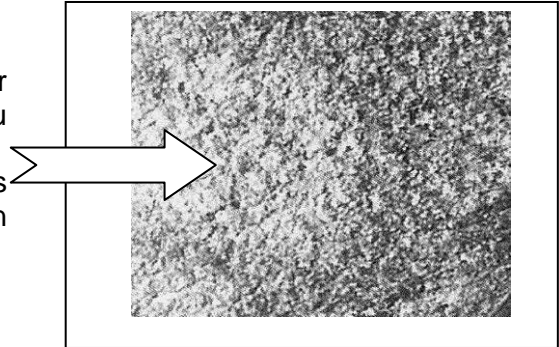
### Types de ruptures

Il y a deux grands types de ruptures :

- ✓ les ruptures brutales ;
- ✓ les ruptures par fatigue.

Les ruptures brutales sont des ruptures obtenues par dépassement de la charge maximale admissible, ou sous l'effet d'un choc.

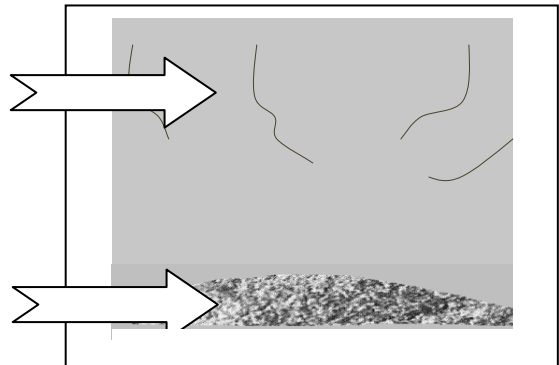
Elles présentent un aspect grenu plus ou moins important de la cassure, avec parfois une déformation plastique de la pièce.



Une rupture par fatigue présente deux zones

1. une zone lisse qui constitue la zone de fatigue proprement dite, c'est-à-dire celle dans laquelle la fissuration a été progressive ;

2. une zone dite « à grain » qui correspond à la rupture finale brutale, c'est-à-dire à la destruction de la pièce. Son aspect s'apparente à celui d'une rupture brutale sous chargement croissant ou statique.



Il est bien sûr important de distinguer de quel cas de figure il s'agit, car cela orientera le sens des recherches pour trouver la cause de la défaillance.

### Ruptures brutales

S'il s'agit d'un dépassement de la charge admissible ou d'un choc, il est nécessaire de connaître alors d'où cela provient : d'une forte sollicitation en traction, en compression, en torsion, en flexion ? Cela peut être découvert par examen de l'aspect de la cassure.

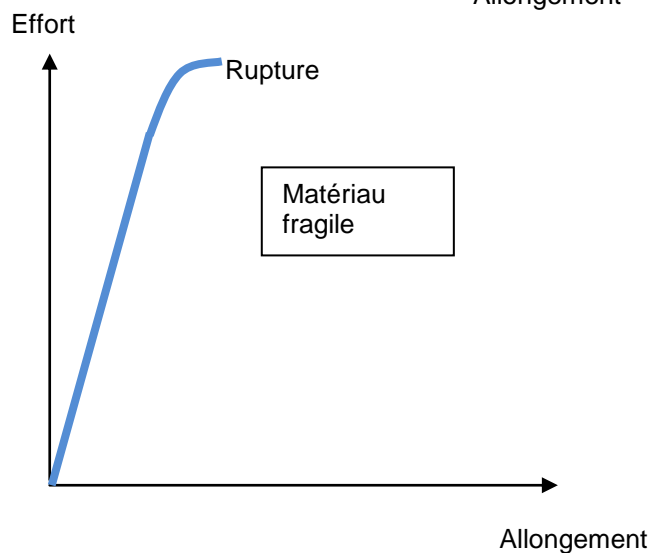
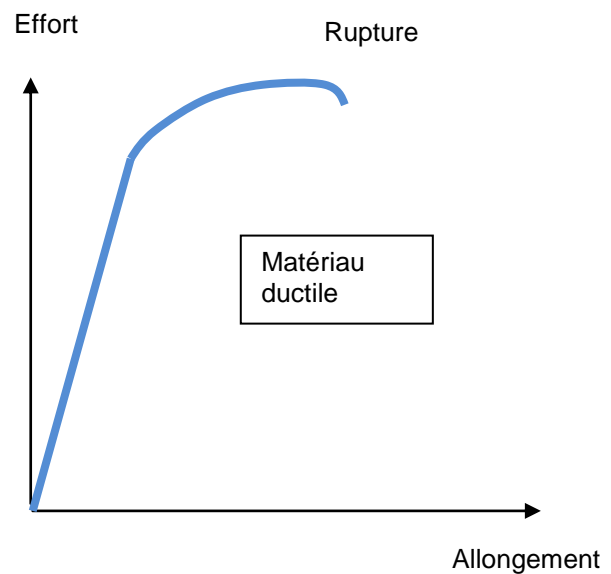
Dans tous les cas, on est amené à distinguer s'il s'agit :

- d'un matériau ductile, c'est-à-dire à forte capacité de déformation ;
- ou d'un matériau fragile, c'est-à-dire à très faible capacité de déformation.

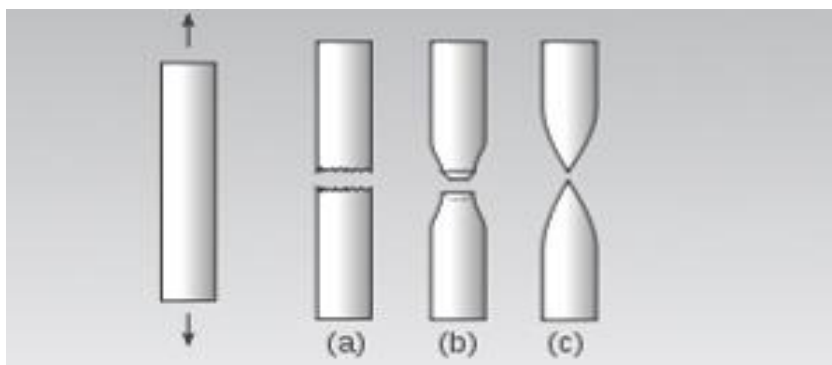
Un matériau ductile présente une grande déformation plastique avant de se rompre ( ex : l'or ) ; ce n'est pas le cas d'un matériau fragile qui se déforme peu et casse rapidement ( ex : verre, fonte ).

Matériaux allant du plus ductile au moins ductile :

1. Or
2. Argent
3. Platine
4. Aluminium
5. Cuivre
6. Etain
7. Fer
8. Plomb
9. Zinc
10. Nickel
11. Acier rapide, ou trempé
12. Fonte
13. Béton
14. Verre



Les ruptures dites fragiles ou semi-fragiles présentent peu ou pas de déformation plastique ; leur aspect comporte des marques radiales ou des chevrons qui permettent de localiser avec précision les zones d'amorçage. Parmi les ruptures brutales, ce sont celles que l'on rencontre le plus fréquemment en mécanique.

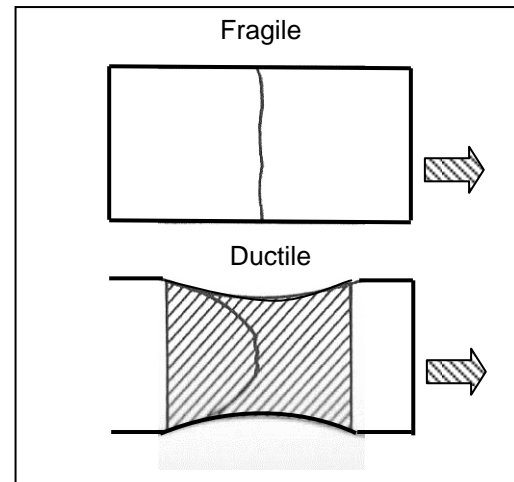


Comportements à la rupture en traction :  
(a) Fragile, (b) ductile et (c) complètement ductile.

## Rupture par Traction

Dans un matériau ductile, les contraintes de cisaillement sont responsables de plastifications importantes (striction et allongement) avant rupture. Les cassures s'amorcent près du centre puis se propagent vers la surface ; elles se terminent par des lèvres de cisaillement inclinées à  $45^\circ$  sur l'axe de la sollicitation.

Dans un matériau fragile, la rupture est rigoureusement perpendiculaire à l'axe de la sollicitation en traction. La rupture peut s'initier en n'importe quel point du volume le plus contraint.



## Rupture par Compression

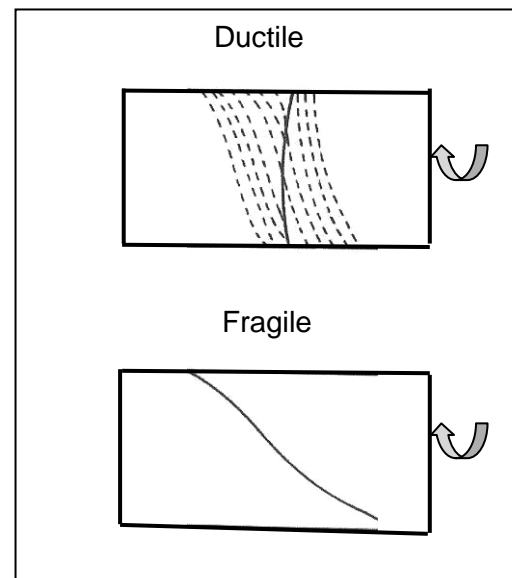
Dans un matériau ductile, les contraintes de compression ne se traduisent que rarement par une rupture. La pièce devient plus courte et ventrue.

Dans un matériau fragile, la direction des ruptures est parallèle à l'axe de la sollicitation et ces ruptures s'amorcent en tout point de la section.

## Rupture par Torsion

Dans un matériau ductile, les contraintes sont toujours la cause de déformations importantes. Souvent le vrillage du fibrage du matériau en surface est l'indice de ce type de rupture.

Dans un matériau fragile la rupture se produit dans un plan perpendiculaire à la composante de tension qui est inclinée à  $45^\circ$  sur l'axe de la sollicitation. Une rupture de type hélicoïdal est donc une caractéristique pour un matériau fragile.

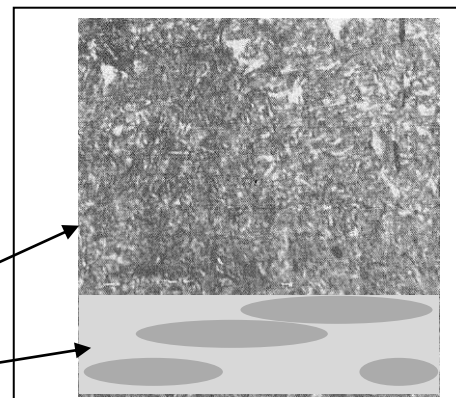


## Rupture par Flexion

Dans ce cas les cassures s'amorcent sur les fibres les plus tendues.

Mais l'ensemble est soumis à une combinaison de contraintes de traction (fibres tendues) et de compression (fibres comprimées). On en voit le résultat dans l'aspect de la cassure.

Partie tendue  
Partie comprimée



## Rupture par choc thermique

Avec un matériau fragile on peut avoir une rupture par choc thermique, ce qui est assez rare. Dans ce cas il y a une coloration due à la température et l'aspect de la cassure présente un aspect grenu.

## Amorces

Dans une rupture, il y a bien souvent une amorce qui est le point qui a fragilisé la pièce. Il y a plusieurs cas possibles :

- Entaille accidentelle.
- Soudure mal placée ou mal réalisée.
- Rainure de clavette mal réalisée.
- Congé de raccordement.
- Filet de vis.
- Perçage ou poinçonnage.
- Gorge mal usinée.
- Un desserrage.

La découverte de l'amorce est souvent le meilleur indicateur pour trouver la cause de la défaillance. Il faut donc bien regarder toutes les facettes de la rupture pour découvrir cette amorce.

### Recherche de la cause

1. S'agissant d'une rupture brutale il s'agit de déterminer s'il s'agit d'un dépassement de la charge admissible ou d'un choc.
  - Rupture par traction : cette rupture peut être due à un choc brutal sans doute difficile à retrouver ou une surcharge importante et momentanée.
  - Rupture par compression : bien que rare, il faut rechercher la surcharge possible à un instant donné.
  - Rupture par torsion : il faut rechercher quelle a été l'origine du blocage dans la chaîne cinématique.
  - Rupture par flexion : quel a été le choc ou la surcharge entre les deux points d'appui ?
2. Bien observer l'amorce et comparer ces constats avec les propositions du chapitre ci-après : « Précautions à prendre »
3. Si l'on ne peut pas trouver facilement la cause, il est recommandé de demander un examen au microscope par le Cetim ou une autre société compétente.

Les différentes causes sont nombreuses :

  - Rupture ayant une autre origine telle que corrosion sous tension, cavitation, etc.
  - Résistance trop faible, erreur de nuance d'acier.
  - Structure grossière obtenue lors de la transformation à chaud de l'acier.
  - Surchauffe au forgeage.
  - Présence de défaut dans une soudure.
  - Présence de porosités dans le matériau.
  - Oxydation interne lors des traitements thermiques.
  - Etc.



## Ruptures par fatigue

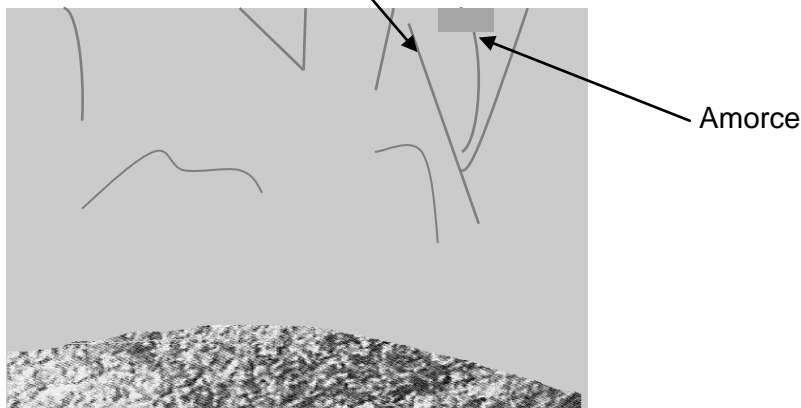
Toute rupture de fatigue présente deux zones distinctes :

- une zone lisse qui constitue la zone de fatigue proprement dite ;
- une zone « à grain » qui correspond à la rupture finale brutale ; son aspect s'apparente à ceux des ruptures brutales ( le relief sera plus grossier si la fissuration a été rapide).

Par ailleurs, la zone de fissuration progressive présente très souvent deux sortes de lignes caractéristiques :

- des lignes frontales ou lignes d'arrêt dont les causes sont dues aux arrêts et variations de régime de la machine, les premières d'entre elles étant situées au voisinage des points critiques ;
- des lignes radiales ou lignes de crête (surtout quand la pièce est ronde).

Pour l'analyse, les lignes frontales sont les plus intéressantes.



## Sollicitations par traction ou compression

Les cas de ruptures de fatigue par efforts de traction ou compression sont rares. S'il y a rupture, c'est sous l'effet de sollicitations parasites de flexion ou de torsion.

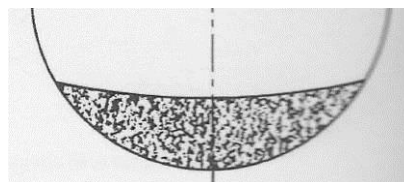
Si toutefois il y a fissuration progressive, la rupture présente les caractéristiques suivantes :

- l'amorçage se situe en surface de la pièce dans le cas de défauts géométriques, ou à cœur dans le cas de défauts métallurgiques ;
- le plan de rupture est perpendiculaire à l'axe des sollicitations.

## Sollicitations en flexion plane répétée

Dans le cas de sollicitations en flexion, les ruptures s'amorcent sur les fibres extérieures les plus tendues.

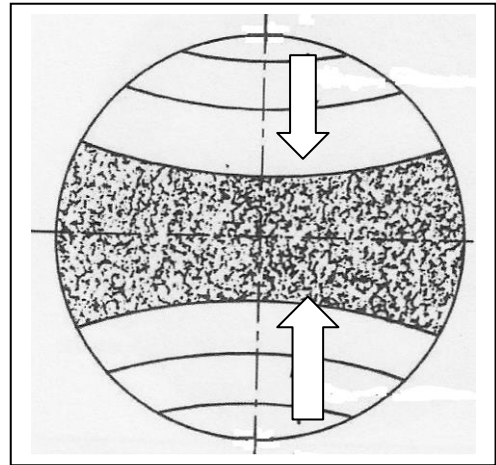
S'il s'agit d'une flexion plane répétée et s'il n'y a pas d'effet, d'entaille, les fronts de propagation se présentent sous l'aspect de portions d'ellipse dont le petit axe est orienté dans le sens de la propagation et dont la concavité diminue au fur et à mesure que la fissuration progresse. Bien sûr dans le cas où la pièce est très chargée, la zone de fissuration progressive est très réduite.



## Sollicitations en flexion plane alternée

Dans le cas de flexion alternée, la rupture s'amorce de chaque côté de la pièce.

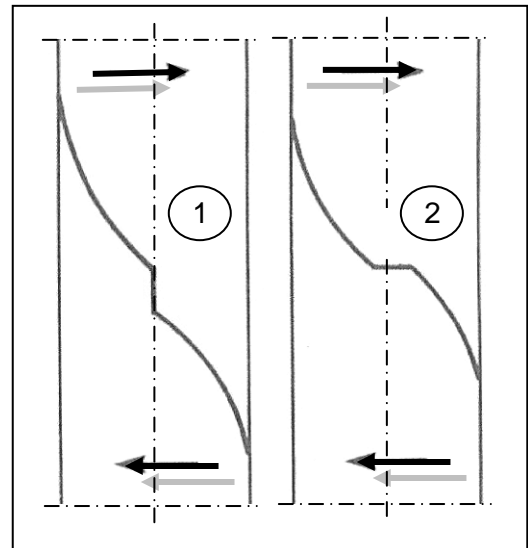
Généralement, les deux fissurations progressent à la même vitesse.



## Sollicitations en torsion

La forme de la cassure présente deux formes possibles :

1. Un amorçage dans le sens axial, ce qui est la forme la plus courante.
2. Un amorçage dans le sens transversal. La raison peut en être des coups d'outils ou autres effets d'entaille transversaux.



## Amorces

Dans une rupture, il y a bien souvent une amorce qui est le point qui a fragilisé la pièce. Il y a plusieurs cas possibles :

- Entaille accidentelle.
- Soudure mal placée ou mal réalisée.
- Rainure de clavette mal réalisée.
- Congé de raccordement.
- Filet de vis.
- Perçage ou poinçonnage.
- Gorge mal usinée.
- Un desserrage.

La découverte de l'amorce est souvent le meilleur indicateur pour trouver la cause de la défaillance. Il faut donc bien regarder toutes les facettes de la rupture pour découvrir cette amorce.

## Recherche de la cause

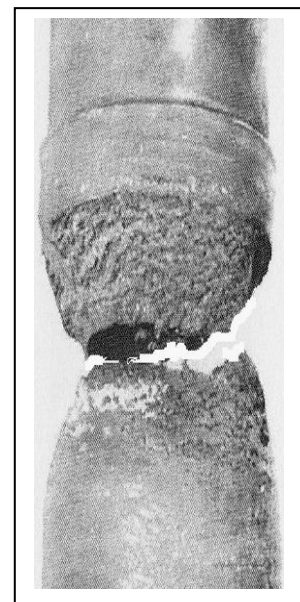
1. S'agissant d'une rupture par fatigue il s'agit de vérifier deux points en priorité.
  - Rupture par flexion alternée (fixe ou en rotation) : quels éléments se sont desserrés permettant un mouvement alterné ?
  - Dans les autres cas : la charge actuelle correspond-elle au modèle pris en compte lors de la conception de la pièce ?
2. Bien observer l'amorce et comparer ces constats avec les propositions du chapitre ci-après : « Précautions à prendre »
3. Si l'on ne peut pas trouver facilement la cause, il est recommandé de demander un examen au microscope par le Cetim ou une autre société compétente.  
Les différentes causes sont nombreuses :
  - Rupture ayant une autre origine telle que corrosion sous tension, cavitation, etc.
  - Résistance trop faible, erreur de nuance d'acier.
  - Structure grossière obtenue lors de la transformation à chaud de l'acier.
  - Surchauffe au forgeage.
  - Présence de défaut dans une soudure.
  - Présence de porosités dans le matériau.
  - Oxydation interne lors des traitements thermiques.
  - Etc.

## Ruptures par fluage

Les ruptures par fluage se reconnaissent à la coloration qui va du bleu foncé au rougeâtre.

Il y a toujours une déformation importante de la pièce avant rupture.

La cause doit être recherchée dans l'élévation de température : manque de graissage – lubrification, panne du refroidissement, apport extérieur de température.



## Précautions à prendre

### Introduction

L'expérience montre que, le plus souvent, les ruptures dues à la charge ont pour origine une forme défectueuse ou un mauvais état de surface.

Les imperfections du métal ou les mauvaises conditions de traitement thermique n'interviennent que d'une manière assez exceptionnelle. En effet, dans 90 % des cas, d'après diverses estimations, les ruptures de fatigue sont dues à des erreurs de tracé dans l'étude des formes ou à des défauts d'usinage, tandis que 10 % seulement peuvent être attribuées au choix du métal ou à sa mise en œuvre.

S'il est vrai que l'amélioration de la résistance à la fatigue peut être recherchée par le choix d'aciers ou d'alliages à haute résistance, cette solution n'est pas toujours efficace lorsque le tracé des pièces est très incorrect, car les métaux sont d'autant plus sensibles à l'entaille que leur résistance est élevée.

Le gain que l'on peut escompter de cette manière est d'ailleurs d'un ordre de grandeur très inférieur à celui que procure l'étude d'une forme rationnelle dont le principe fondamental est d'éviter les fortes concentrations de contraintes ou pointes de contraintes.

Ces pointes de contraintes se révèlent dans les changements de section de pièces et, à l'échelle micro géométrique, dans les imperfections de la surface telles que les rayures d'usinage.

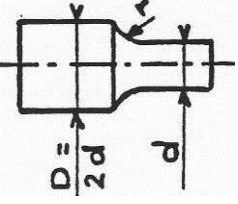
Examinons, avec des exemples, les caractères des cassures de fatigue et les moyens de supprimer ces ruptures, ou tout au moins d'augmenter l'endurance, en agissant sur la forme et l'état de surface.

### Cassures et forme des pièces

#### Arbres à épaulement

L'expérience montre qu'il suffit d'un faible changement de section pour que s'amorce une cassure : par exemple pour un arbre le facteur principal n'est pas le rapport  $D / d$ , mais bien le rapport  $r / d$  du rayon de congé au petit diamètre.

Le tableau ci-après montre l'influence du rapport  $r / d$  sur la limite d'endurance. Cette influence est nettement plus forte pour l'acier dont la résistance est la plus élevée, de sorte que pour  $r = 0$ , celui-ci perd tout avantage sur l'acier ordinaire.

INFLUENCE DES CONGES DE RACCORDEMENT SUIVANT LEHR ET MAILANDER				
	r. en mm	r / d	f. kg / mm <sup>2</sup>	Diamètre de l'éprouvette d. mm
<p>Acier demi-dur au carbone</p> <p>R = 59 E = 28 A % = 28</p>	400	13,3	25,5	30
	15	0,5	24	
	6	0,2	20	
	3	0,1	17,5	
	1	0,03	14	
	0	0	11	
	8	0,89	29	9
	4,3	0,48	27	
	2	0,22	24	
	0	0	15	
<p>Acier au Ni – Cr – Mo Pour Vilebrequins</p> <p>R = 121 E = 103 A % = 14</p>	400	13,3	57	30
	15	0,5	48	
	6	0,2	36	
	3	0,1	21	
	1	0,03	19	
	0	0	14	
	11,7	1,3	68,5	9
	4,5	0,5	64	
	1,8	0,2	50	
	0,9	0,1	42	
	0,2	0,02	26	
	0	0	17	

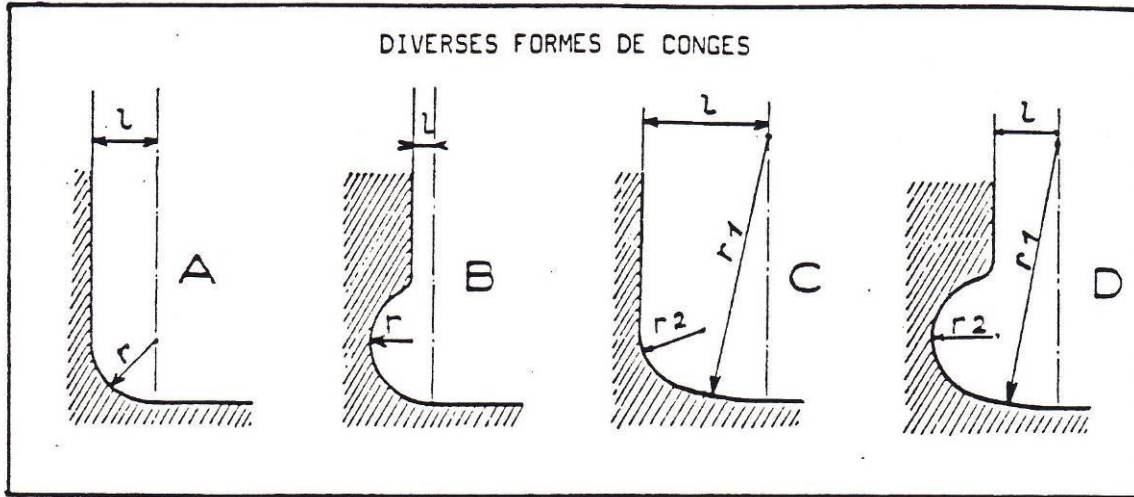
Examinons 4 formes de congés :

A : congé en arc de cercle

B : congé en arc de cercle en retrait

C : raccordement de décharge formé de deux arcs de cercle

D : raccordement de décharge en retrait



L'exécution d'un congé à rayons raccordés  $r_1$  et  $r_2$  ( cas C ), tels que  $r_1 = 4 r_2$ , est favorable mais réduit sensiblement la partie utile de l'arbre.

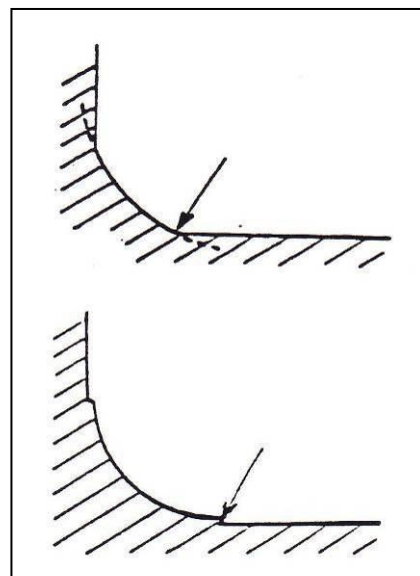
Pour éviter cet inconvénient, il y a avantage à exécuter un congé en arc de cercle en retrait formant gorge de décharge ( cas B ) ou, de préférence ( cas D ) un congé à deux arcs de cercle et en retrait, le congé de petit rayon formant gorge de décharge.

Il est à noter que dans le cas du simple raccordement par rayon, un très grand soin doit être apporté à l'exécution du congé, en évitant les angles et les ressauts.

Des expériences effectuées sur des éprouvettes présentant des défauts ont montré que les coefficients d'entaille propres au congé et au ressaut se multiplient, de sorte que l'effet résultant est toujours considérable.

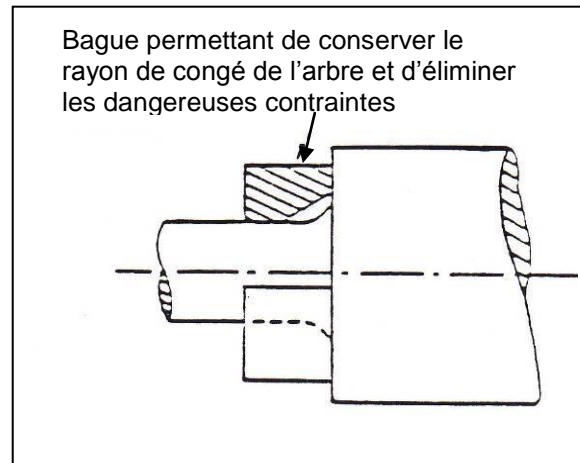
Ce fait explique certaines ruptures survenues au congé de raccordement d'arbres à changement de section, par suite de stries transversales et de facettes produites par une attaque défectueuse de l'outil.

Exemples d'exécutions défectueuses de congés de raccordement, défavorables à l'endurance.



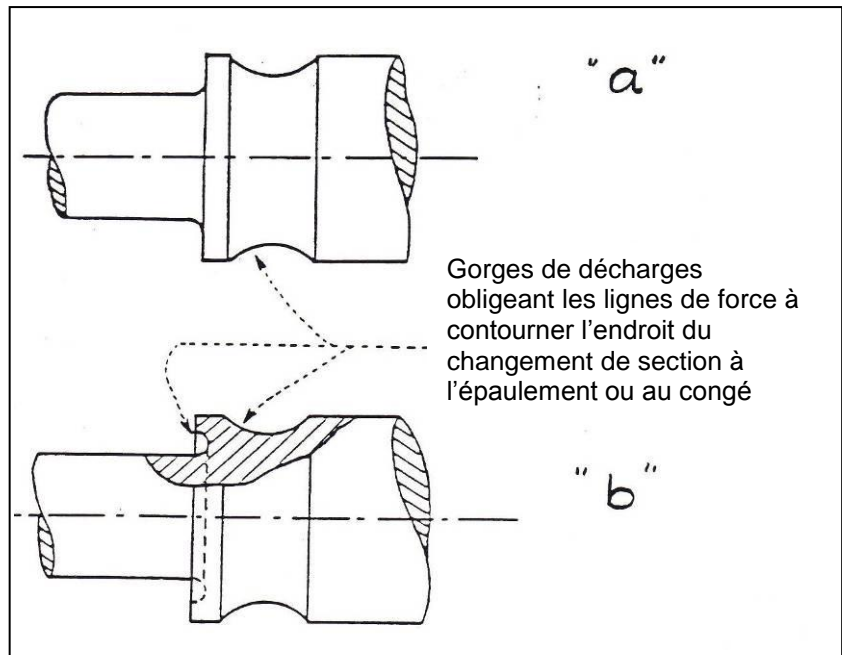
Lorsqu'il s'agit de monter un roulement sur un arbre à épaulement, l'arbre ne doit pas comporter un angle vif ou un rayon de congé trop petit pour éviter que les contraintes de serrage ne se superposent à la pointe de contrainte produite à la base du raccordement.

A cet effet, pour conserver un rayon de congé suffisant, il est nécessaire de prévoir une bague avec un dégagement à l'endroit du congé ; le roulement prend alors appui sur la bague sans serrer à la naissance du congé.

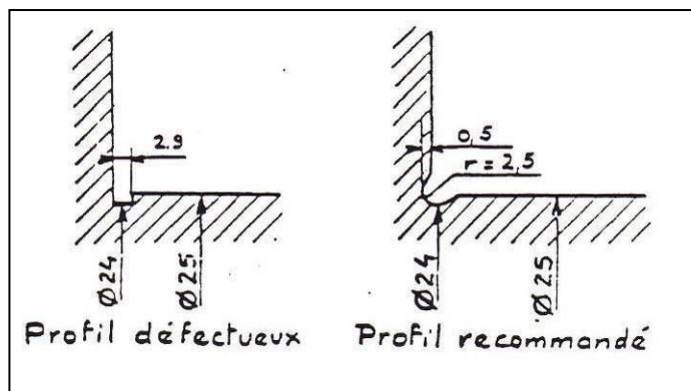


L'emploi d'une gorge de décharge dans la partie forte de l'arbre ( cas « a » ci-après ) est favorable, mais n'exclut pas le montage de la bague avec dégagement.

Une autre solution qui peut permettre de supprimer la bague est celle qui est représentée par le cas « b » ci-après. La gorge circulaire au changement de section et la gorge de décharge dans la partie forte de l'arbre ont pour effet de modifier favorablement les lignes de force.



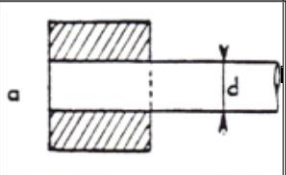
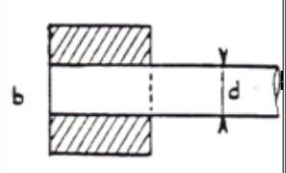
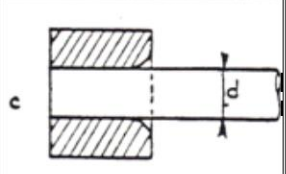
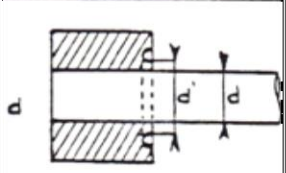
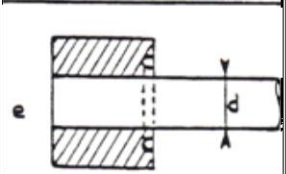
Dans le cas d'un pignon arbré, on doit éviter tout angle vif au fond de la gorge de dégagement nécessaire à la rectification de la partie cylindrique de l'arbre.



### Arbres à emmanchement à force

Dans les emmanchements à force, l'endurance à la flexion est affectée par les contraintes radiales dues au frettage, par la concentration des contraintes au ras de l'encastrement et par les effets de la corrosion par frottement qui se produisent inévitablement lorsque le serrage est insuffisant ou que les efforts alternatifs sont trop importants.

Il est fréquent de trouver, dans les emmanchements à force d'une bague sur un arbre, une réduction de 50 % de la limite d'endurance, par rapport à celle de l'arbre lisse.

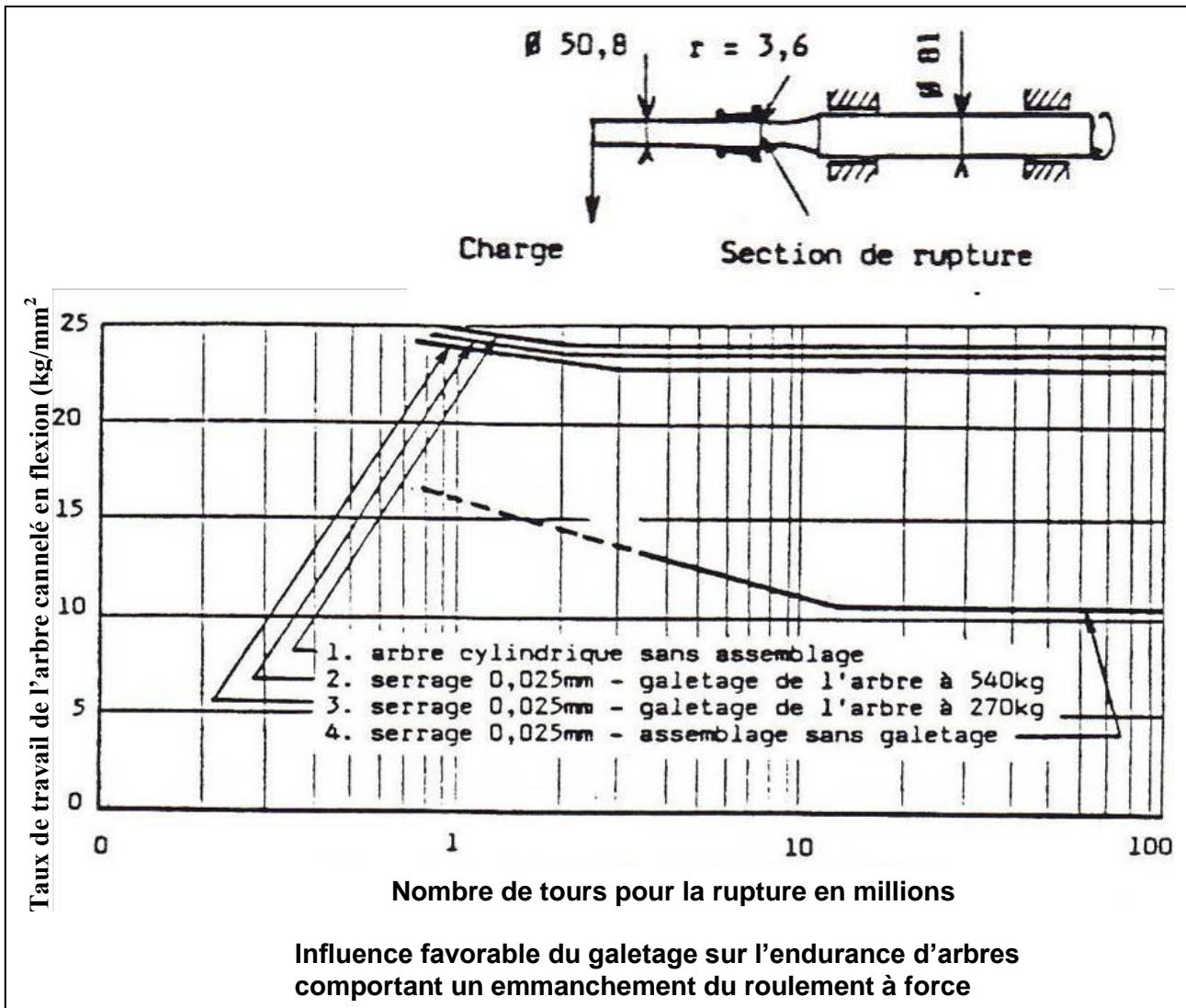
		Limite d'endurance kg / mm <sup>2</sup>	Augmentation % de l'endurance
	d = 14 mm	15,5	
	Avec compression préalable de la surface de l'arbre d = 14 mm	27	74
	Avec arrondi de rayon égal à : 3 mm 1 mm d = 14 mm	18 16	16 3
	Avec gorges circulaires d' = 16 mm d = 14 mm	21	35
	Avec compression préalable de la surface de l'arbre et gorges circulaires	30	93

Le tableau ci-après, qui reproduit des résultats d'essais dus à THUM et WUNDERLICH, montre que l'effet d'un arrondi au ras de la bague est assez faible, voire négligeable ; par contre, une gorge circulaire donnant de l'élasticité à la bague s'avère meilleure.

La compression par galetage de la surface de l'arbre est nettement favorable et l'emploi simultané du galetage de l'arbre et de la gorge circulaire permet d'obtenir pour l'emmanchement une limite d'endurance, par rapport à celle de l'arbre lisse (limite d'endurance de l'arbre lisse = 29 kg/mm<sup>2</sup>).

L'efficacité du galetage est bien démontrée par les courbes d'endurance relatives à des emmanchements à la presse de bagues de roulements sur des essieux.

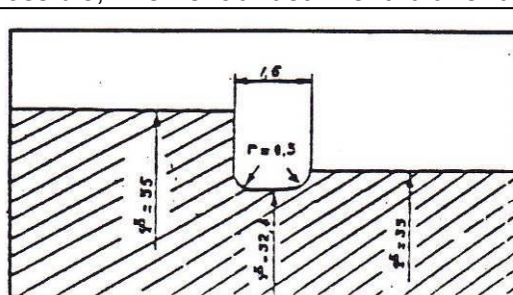




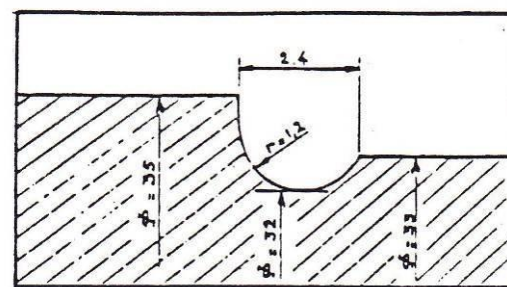
S'il s'agit de la portée d'un arbre devant recevoir un pignon emmanché à force, le profil de la gorge doit comporter un rayon aussi grand que possible, même au détriment d'une diminution du diamètre de l'arbre.

Cette diminution est toujours moins néfaste que celle d'une gorge de faible profondeur, mais avec un angle vif.

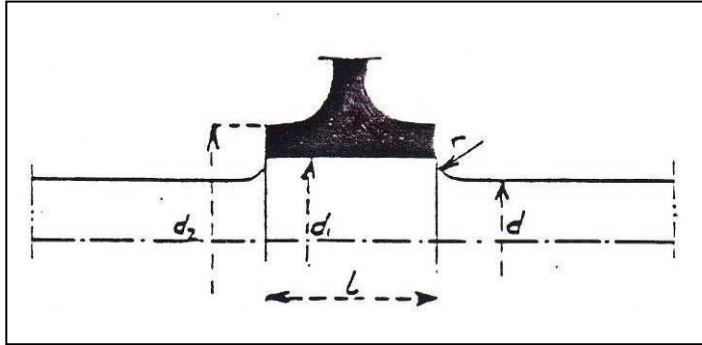
Avec le profil ci-contre, on a un risque non négligeable de cassure.



Avec ce profil de droite, l'endurance est meilleure car le rapport  $r / d$  passe de  $0,3 / 32,4 = 0,009$  à  $1,2 / 32 = 0,037$ , c'est-à-dire sensiblement multiplié par 4.

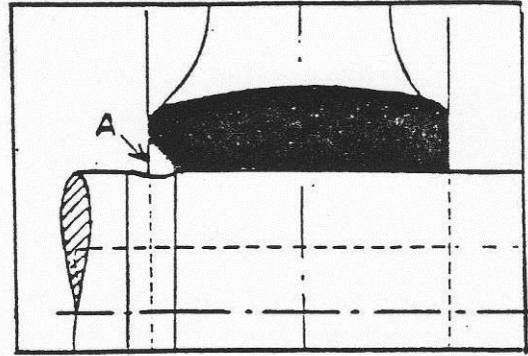


Pour les assemblages frettés, il est par ailleurs avantageux de donner à l'arbre un diamètre plus fort dans la partie emmanchée avec un rayon  $r$  compris entre  $d_1 - d$  et  $2(d_1 - d)$ , comme le montre la figure ci-après.



Dans le cas d'une sollicitation suffisamment forte pour dépasser la limite d'endurance, la rupture survient à la naissance du congé vers l'arbre et non pas vers la portée lorsque le rapport  $d_1 / d$  est supérieur ou égal à 1,15, toutes précautions étant prises par ailleurs pour obtenir un usinage correct du congé, sans ressaut à la base.

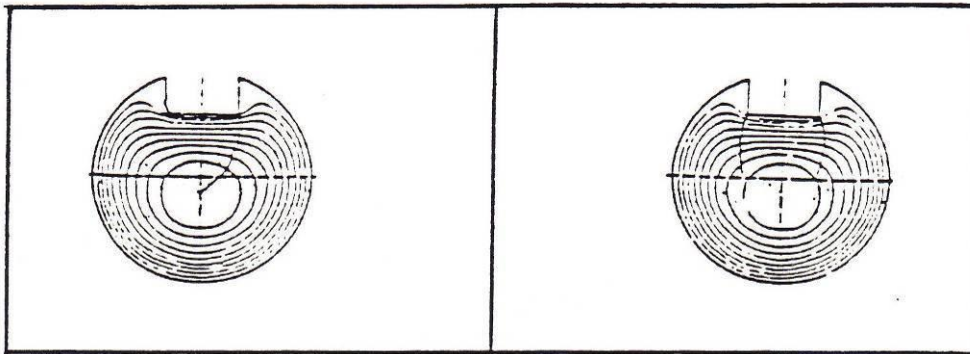
Une gorge de décharge dans l'arbre est favorable comme le montre l'exemple ci-contre.



Par ailleurs, le galetage de l'arbre constitue un moyen très efficace pour éviter les ruptures de fatigue, l'assemblage fretté après galetage ayant la même limite d'endurance que l'arbre lisse comme nous l'avons vu précédemment.

### Rainures de clavetage

La distribution des lignes de force est bien connue d'après les travaux de OSCHATZ.

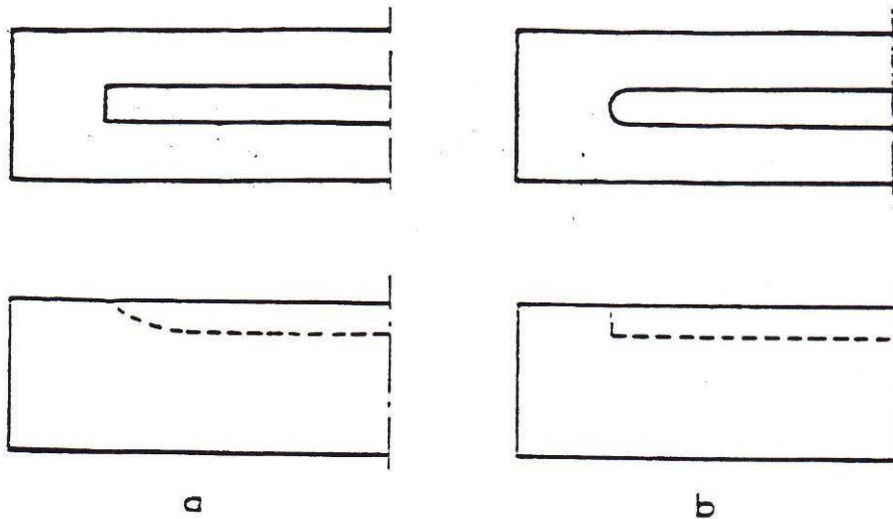


Trajet de la fissure de fatigue pour un arbre cannelé comportant au fond de la cannelure un arrondi d'un côté et un vif de l'autre.

Trajet des fissures de fatigue pour le même arbre cannelé, avec deux angles vifs au fond de la cannelure.

Si l'on compare deux formes de cannelures, celle correspondant au cas « a » ci-après est la plus favorable.

La limite d'endurance de cette forme est supérieure de 23 % à celle de la forme « b » pour un acier mi-dur au carbone recuit.



Lorsqu'il s'agit d'assemblages de pièces devant transmettre un couple de torsion, tels que des arbres sur des pignons ou des essieux sur des roues, on consolide l'assemblage à force par une clavette destinée, en principe, à empêcher la rotation relative.

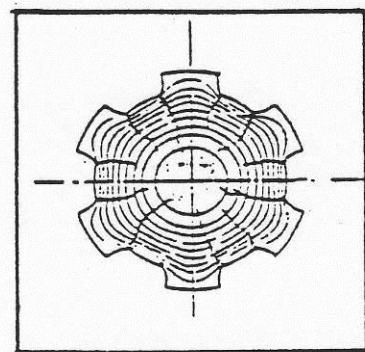
La rupture de fatigue s'amorce presque toujours au fond de la rainure de clavetage, soit radialement, soit suivant une circonférence. Dans ce dernier cas, ce sont les battements répétés de la face d'appui de la clavette qui amorcent la cassure, par suite d'un serrage insuffisant.

Les angles vifs au fond de cannelure produisent dans l'arbre une augmentation locale considérable des contraintes dues au fretage.

Il est recommandé de prévoir des rayons aux fonds de cannelures ou des gorges de décharge, ce qui n'est d'ailleurs possible qu'avec des cannelures de la forme type « b ».

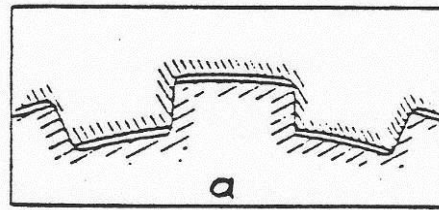
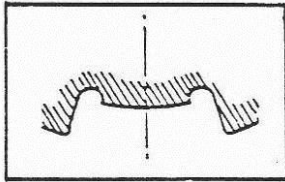
### Arbres cannelés

Dans le cas d'arbres cannelés, où l'assemblage est monté sans jeu et forme un encastrement travaillant à la torsion, les fissures sont dirigées symétriquement vers le centre de l'arbre donnant ainsi à la cassure un « faciès rayonnant ».



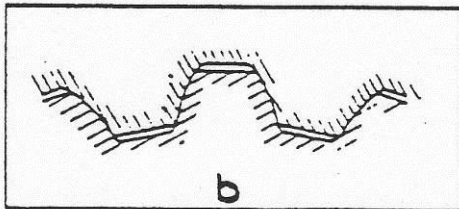
Les moyens d'augmenter l'endurance sont :

1. Renforcement de l'arbre à l'embout cannelé.
2. Exécution d'un congé aux angles des fonds de cannelures.
3. Exécution de gorges de décharge à ces mêmes endroits.
4. Forme des cannelures avec flancs en développante et gorges de décharge au fond.



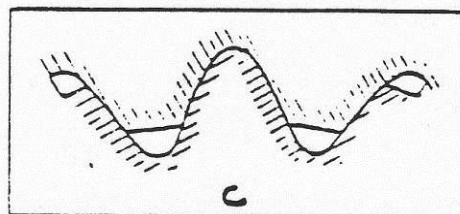
Flancs droits

$$\alpha_k = 2,1$$



Flancs arrondis, pente 20°

$$\alpha_k = 1,8$$



Flancs arrondis, avec fond rond, pente 30°

$$\alpha_k = 1,0$$

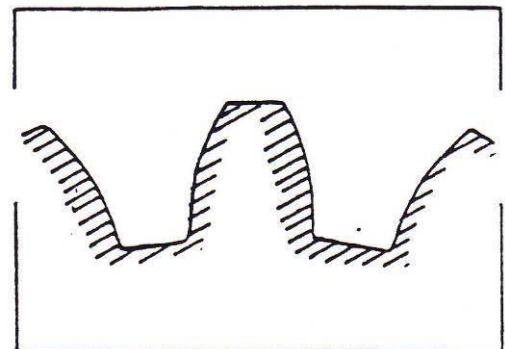
La forme « c » indique la valeur du coefficient statique de concentration de contrainte  $\alpha_k$  pour cette forme, comparativement à celles avec flancs arrondis (« b ») et flancs droits (« a »).

La forme de la figure « c » est la forme idéale, en ce sens qu'elle ne donne lieu à aucune concentration de contraintes :  $\alpha_k = 1$

## Engrenages

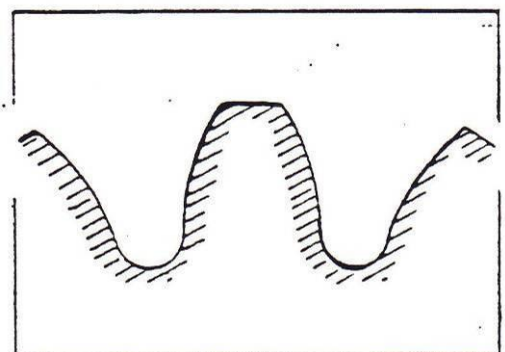
Les mêmes principes s'appliquent aux engrenages pour lesquels des ruptures de fatigue surviennent souvent au fond des dents dont les rayons sont insuffisants, et surtout lorsque le congé est mal raccordé au fond, en laissant une strie longitudinale.

La figure ci-contre montre que le coefficient  $\alpha_k$  de concentration de contrainte est diminué de moitié par l'exécution d'une gorge à la base des dents. Cette gorge est opérée presque obligatoirement dans le cas où la finition se fait par rasage ou rectification, car autrement il serait difficile d'éviter une usure anormale de l'outil travaillant au fond des dents.



Profil de dent normal

$$\alpha_k = 3,5$$



Profil de dent avec fond entièrement circulaire

$$\alpha_k = 1,7$$



## Assemblages boulonnés

Les assemblages boulonnés de pièces par vis et écrous, et par goujons, comptent parmi les plus importants des éléments de machines.

Si l'on étudie la répartition des contraintes dans l'assemblage vis-écrou soumis à une tension axiale, on observe que les lignes de force, partant de la pièce sur laquelle l'écrou prend appui, subissent une déviation à 180 °, en s'alignant dans la direction de la tige. Elles se concentrent surtout aux premiers filets voisins de la face d'appui de l'écrou.

La photoélasticimétrie indique que pour un écrou à 6 filets :

34 % de l'effort sont supportés par le premier filet ;  
23 % par le second ;  
16 % par le troisième ;  
11 % par le quatrième ;  
9 % par le cinquième ;  
7 % par le sixième.

Ainsi, les 3 / 4 de l'effort sont supportés par les trois premiers filets.

Suivant la section normale à la tige du boulon, la contrainte maximum au fond du premier filet,  $\alpha_{\max}$  peut atteindre huit fois la contrainte moyenne  $\alpha_m$  (obtenue en divisant la charge totale par la section), dans le cas de filets à fond aigu.

Les sections dangereuses dans l'assemblage vis-écrou normal sont :

- ✓ Au ras de la tête de vis, au droit du changement de section.
- ✓ A la naissance du filetage, dans la tige de vis.
- ✓ Au ras de l'écrou, dans le filetage de la tige de vis.

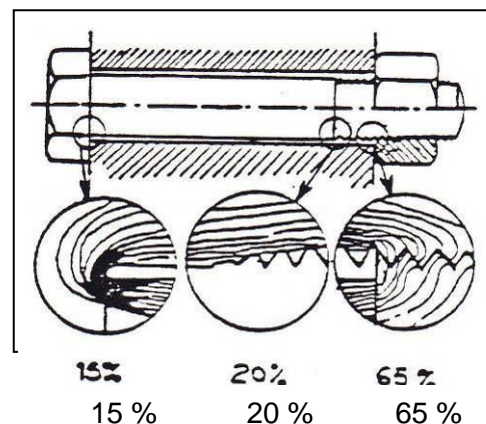
D'après des résultats statistiques, les pourcentages de ruptures par fatigue sont respectivement :

15 % 20 % 65 %

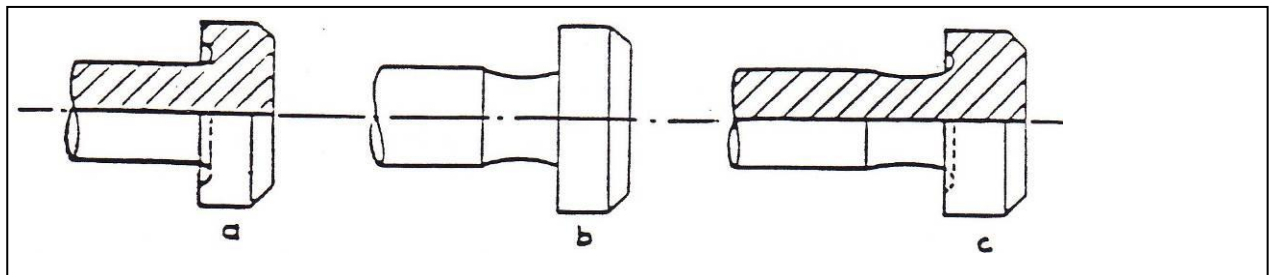
Les moyens d'éviter les ruptures sont les suivants pour les sections dangereuses.

### Tête de vis

Le raccordement de la tête et de la tige de vis doit être fait avec un rayon de congé aussi grand que possible, dans la mesure où le portage de la tête demeure suffisant. Pour cette raison, il y a avantage à faire une gorge de décharge, soit dans la tête de vis, soit dans la tige au raccordement, soit dans les deux parties.



Pourcentage des ruptures de fatigue



## Filetage

La forme du filet, la valeur de l'arrondi au fond du filet, ainsi que le procédé de filetage, sont les facteurs principaux.

Le tableau ci-après donne les valeurs des limites d'endurance des filets triangulaires à fond aigu, à fond arrondi et demi-ronds pour des filetages en acier doux ( $R = 40 \text{ kg/mm}^2$ ) et en acier spécial ( $R = 83 \text{ kg/mm}^2$ )

L'avantage de l'acier spécial s'amenuise considérablement lorsque le filet est à fond aigu.

En ce qui concerne le procédé d'usinage, le roulage des filets est très supérieur à l'usinage à l'outil, par suite de l'orientation favorable des fibres, de l'arrondi inévitable à fond de filet et des contraintes de compression produites

	Acier doux	Acier NiCr
	$E = 29$ $R = 40$ $f = 17$	$E = 69$ $R = 83$ $f = 21$
	$f = 18$	$f = 24$
	$f = 18,5$	$f = 26$

## Tige

Pour atténuer la pointe de contrainte au premier filet, il convient de créer une gorge de décharge dont la longueur doit être au moins égale à la moitié du diamètre de la tige de vis, le diamètre étant légèrement inférieur à celui des filets.

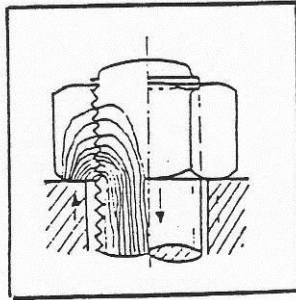
## Ecrou

Il faut chercher à obtenir une meilleure répartition des lignes de force sur le plus grand nombre de filets et, si possible, sur toute la hauteur de l'écrou.

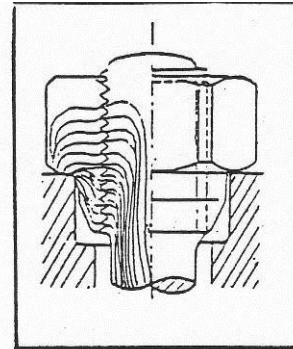
Les figures ci-après montrent la modification des lignes de force par rapport à l'écrou normal, qui se traduit par une augmentation de l'endurance de 20 % avec une légère conicité à l'entrée de l'écrou de manière à moins serrer les premiers filets.

Avec l'écrou évidé, l'amélioration atteint 30% ; enfin, avec l'écrou à collet, on obtient la solution la plus rationnelle.

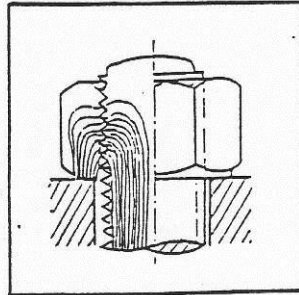
Ecrou normal



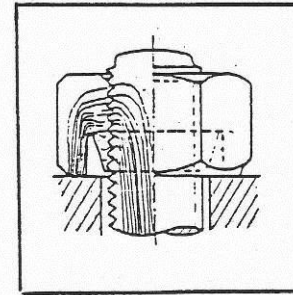
Ecrou à collet



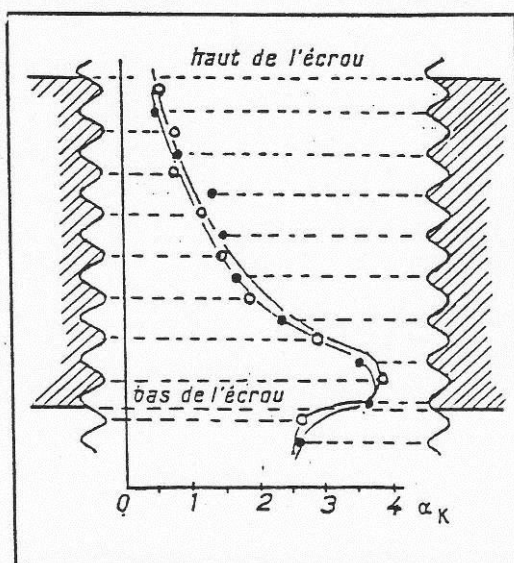
Ecrou avec entrée conique



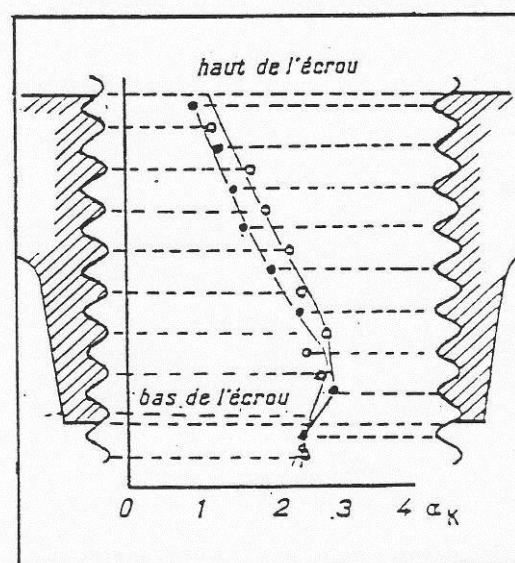
Ecrou évidé



Les figures ci-après représentent les valeurs comparées du coefficient de concentration de contrainte au fond des filets, pour un assemblage vis-écrou ordinaire et pour l'assemblage avec l'écrou à collet. Celui-ci correspond bien à une meilleure répartition des contraintes.



Ecrou ordinaire



Ecrou à collet conique

## **Etat de surface**

Les rayures d'usinage, les stries de meulage, lorsque leur sens est perpendiculaire à celui des contraintes, sont souvent la cause de ruptures de fatigue.

Il en est de même des marques d'outils, des empreintes de dureté ( attention à l'estampillage fait après une vérification de sécurité réglementaire ).

Les marques de repérage, les coups de pointeau, frappés à froid sont particulièrement défavorables. Ces marques doivent être absolument prohibées dans les régions des pièces fortement sollicitées. Le marquage doit se faire en bout ou, de préférence, au tampon à l'aide d'encre spéciales.

## **Soudures**

Les soudures sont aussi des amorces de cassures dans les 2 types de cas suivants.

### **Défauts de soudage**

Les principaux défauts de soudage sont les suivants :

- fissures dues à un mauvais choix des conditions de soudage ;
- manque de pénétration dû à un non respect des conditions de soudage ;
- morsures et caniveaux ;
- soufflures et inclusions gazeuses ou de laitier.

### **Transmission d'efforts non naturelle**

Les règles principales à respecter sont les suivantes.

- Eviter que trois cordons de soudure se rejoignent, sinon il y a le risque de voir apparaître des fissures au bout de quelques mois.  
En effet, il y a alors présence de tensions hyperstatiques.  
Si on ne peut pas faire autrement, un recuit local est nécessaire.
- Eviter les zones à forte concentration de contrainte
- Autant que possible situer le joint dans les zones les moins sollicitées
- Limiter les déformations par la symétrie des assemblages et la position des cordons
- Préférer les soudures bout à bout aux cordons d'angle, pour les pièces fortement sollicitées
- Eviter les cordons frontaux (perpendiculaires à l'effort) car il y a risque de rupture rapide par traction

Voir à ce sujet le chapitre consacré au soudage



## Détériorations de surface

### Cavitation

La cavitation est due à la formation de bulles de vapeur du liquide transporté qui, entraînées à grande vitesse contre les parois, y implosent ajoutant ainsi un effet de pression à l'effet de vitesse. La cavitation est un effet très destructeur ; il amplifie très fortement l'effet de corrosion chimique.

Comment peut-on se retrouver en présence de bulles de vapeur ?

Il suffit d'avoir une augmentation de la vitesse du liquide dans la tuyauterie avec pour conséquence une diminution de la pression pour que le liquide se mette à bouillir.

Les causes principales sont :

- L'encrassement du filtre à l'aspiration des pompes. L'encrassement mène à une réduction de la surface de passage avec pour conséquence une augmentation de la vitesse et une diminution de pression (Bernoulli).
- Un niveau de réservoir trop bas à l'aspiration. S'il est trop bas pour compenser la pression de vapeur du liquide, il y a ébullition, donc cavitation.
- Un démarrage de pompe avec la vanne d'aspiration fermée et la vanne de refoulement ouverte. Le phénomène est semblable à celui du filtre encrassé.
- Une pompe, une vanne ou une turbine surdimensionnée.

Les pompes sont les principales victimes de la cavitation. Mais cela concerne aussi les vannes et turbines.



### Solutions possibles pour éviter cette défaillance

#### A la conception

- Ne jamais prévoir des pompes, turbines ou vannes surdimensionnées.
- Ne jamais prévoir des niveaux de réservoir trop bas à l'aspiration.

#### En exploitation

- Toujours respecter le bon mode opératoire : un démarrage de pompe avec la vanne d'aspiration ouverte et la vanne de refoulement fermée (à ouvrir progressivement). Si nécessaire, mettre en place des détrompeurs pour éviter les erreurs des opérateurs.
- Pour les turbines toujours respecter le bon mode opératoire de démarrage (s'il n'est pas automatisé) : voir la Règle de l'art à ce sujet.
- Pour les vannes, éviter qu'elles soient ouvertes lorsque peu de liquide est en circulation.

#### Contrôle

On peut contrôler la présence d'une cavitation par les vibrations, il faut que ce soit en continu, sinon c'est inutile car le phénomène est très rapide et destructeur. Par contre il faut toujours surveiller le colmatage des filtres.

#### Prévention

On peut endiguer le phénomène par des revêtements sur la roue et le corps de pompe :

- Rilsan, utilisable jusqu'à 80-100 °C, a une bonne résistance au frottement, à l'abrasion, à la cavitation.
- Caoutchoucs à base de polyuréthane ou de néoprène.

## Usure par adhésion

Il s'agit d'un phénomène de grippage avec transfert d'une pièce sur l'autre.. Selon la sévérité de la détérioration le dommage causé peut aller d'un simple grippage jusqu'à la soudure franche. Par ailleurs, l'usure par adhésion s'accompagne toujours d'un échauffement et de ce fait il y a une coloration allant du brun au bleu sombre. L'utilisation de métaux de duretés trop voisines augmente l'aire de contact et les risques de grippage.



### Solutions possibles pour éviter cette défaillance

1. Choisir des métaux de duretés différentes ; le plus dur doit être le plus poli.
2. Choisir des lubrifiants avec des additifs extrême pression.
3. On peut faciliter le frottement entre les pièces avec des métaux mous déposés (métal blanc pour les coussinets par exemple)
4. Apport de sels métalliques est une solution avec la phosphatation par exemple.
5. Les traitements thermiques diminuent les risques : trempe, cémentation, nitruration, de même que la métallisation et le cadmiage.

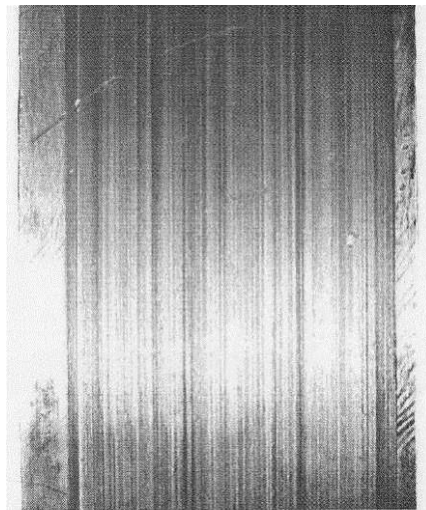
## Usure par abrasion

Il y a abrasion quand des particules sont arrachées de la pièce la plus tendre sans se souder à l'autre pièce.

Les surfaces présentent des sillons de profondeur variable parallèles au déplacement.

Généralement on distingue deux modes d'usure par abrasion :

1. L'abrasion à deux corps : la pièce la plus dure râpe la plus tendre.
2. L'abrasion à trois corps, dans laquelle des éléments plus durs que les pièces s'incrustent dans la pièce la moins dure.



### Solutions possibles pour éviter cette défaillance

Les solutions sont les mêmes que pour l'usure par adhésion.

Mais de plus il faut absolument empêcher l'entrée de corps étrangers avec une bonne étanchéité.

Certains polymères résistent bien à l'abrasion, car ils absorbent beaucoup d'énergie avant de se fragmenter.

## Erosion

C'est une usure abrasive particulière, causée par des impacts de particules solides contenues dans un fluide en mouvement ou par des particules liquides en milieu gazeux.

Les dégâts sont fonction de l'énergie cinétique, donc de la masse et du carré de la vitesse de la particule. L'enlèvement de matériau croît très vite avec la vitesse.

Si le matériau est ductile, on trouve des rides annulaires très écrouies et cassantes et la vitesse d'usure passe par un maximum pour des angles d'incidence de 20 à 30°.

S'il est très dur et fragile, on ne trouve que des craquelures et l'usure augmente continûment avec l'angle d'incidence.

### Solutions possibles pour éviter cette défaillance

En érosion par impact comme en abrasion sous faibles contraintes, l'emploi de certaines matières plastiques ou élastomères est possible, par exemple des polyuréthanes spéciaux utilisés sous forme de revêtements..

## Fluage superficiel

Il s'agit d'écoulements de matière, sans grands reliefs et très étalés. Ce phénomène peut se produire sous l'effet de contraintes triaxiales importantes. La parade est l'utilisation de matériaux très résistants à la compression.

### Solutions possibles pour éviter cette défaillance

Il n'y a aucune solution par traitement ou revêtement. Il faut opter pour des matériaux plus résistants à la compression, par exemple des aciers durs ou extra-durs.

## Fatigue

Induite par le frottement de roulement ou de roulement avec glissement sous fortes charges répétées, on la rencontre essentiellement dans les engrenages et les roulements dont elle constitue le mode normal de destruction.

Deux types de fatigue se présentent :

### L'écrouissage

L'écrouissage, ou fatigue superficielle, présente un premier signe visible qui est une apparence brunie, un éclat lustré du métal et la disparition des marques d'usinage. L'incubation est assez courte, survenant même dans des contacts peu chargés, puis de petites piqures se forment, alignées le long des aspérités initiales. Assez souvent apparaissent de petites piqures ou « pitting ».

### L'écaillage

Après un long temps de vieillissement se produit une émission brutale de particules dont la surface atteint quelques mm<sup>2</sup>, la profondeur quelques dixièmes de mm, et dont la taille est sans rapport avec la structure du métal. L'usure s'étend par le bord des zones écaillées, découvrant progressivement les sous-couches dont l'aspect est poli.

### Solutions possibles pour éviter cette défaillance


En premier, si cela est possible, il faut chercher à réduire les contraintes de contact. Deuxièmement, si le temps de vieillissement paraît trop court (donc la durée de vie trop faible) on peut penser à des traitements appropriés pour augmenter la dureté de surface, tels que nitruration, cémentation, trempe superficielle, par exemple

## Fatigue thermique

C'est une dégradation par alternance d'échauffements et de refroidissements, qui touche des pièces comme les cylindres de laminoirs, les matrices de forge ... mais aussi les surfaces rectifiées dans de mauvaises conditions.

Les échauffements anormaux peuvent être estimés par la coloration de l'acier :

**Coloration des aciers chauffés**

Couleur	Inox	Autres aciers
 Jaune clair		215°C
 Jaune paille	280°C	230°C
 Orangé	320°C	245°C
 Brun	350°C	255°C
 Gorge de pigeon	400°C	265°C
 Violet pourpre	470°C	275°C
 Bleu clair	510°C	290°C
 Bleu foncé	550°C	310°C
 Verdâtre	640°C	330°C
 Gris noir	725°C	400°C

# Corrosion

## Corrosion atmosphérique

Comme la corrosion par aération différentielle, ou la corrosion caverneuse, ou la corrosion galvanique, elle affecte les métaux en milieu aqueux.

Ici l'électrolyte est apporté par l'eau contenue dans l'atmosphère.

### Solutions possibles pour éviter cette défaillance

Comme protection, on pense bien sûr à l'utilisation des peintures :

- Peintures liquides ; plusieurs familles de peinture sont mises en œuvre en fonction des propriétés recherchées.
- Peintures poudres : elles se déclinent en 3 grandes familles :
  - époxy
  - époxy polyester (mixte),
  - polyester

Voir à ce sujet le paragraphe « Revêtements » du chapitre « Techniques spéciales »

## Corrosion par aération différentielle

Corrosion par aération différentielle, ou par l'oxygène, ou par goutte d'eau (les zones fortement oxygénées sont pôles + ou cathodes, les zones pauvres en oxygène sont anodiques)

### Solutions possibles pour éviter cette défaillance

Idem à la corrosion atmosphérique.

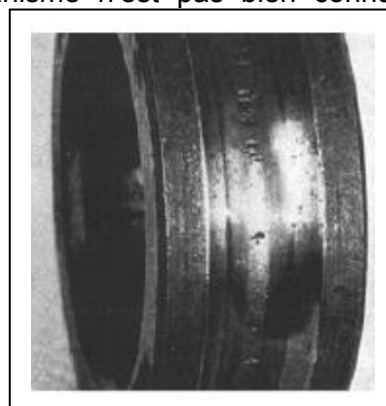
## Corrosion par piqûres

Il s'agit d'une attaque très localisée du métal. En général, les piqûres sont profondes, ce qui n'est pas toujours visible.

La corrosion par piqûres est l'une des formes les plus graves de la corrosion car elle peut s'avérer très rapidement dommageable pour le matériau. Son mécanisme n'est pas bien connu. On imagine plusieurs causes possibles :

- ✓ les courants vagabonds,
- ✓ une corrosion bactérielle,
- ✓ une forte concentration d'oxygène,
- ✓ la présence de soufre ou de phosphore.

Si cette corrosion se reproduit la meilleure solution pour y pallier est de changer de matériau.



### Solutions possibles pour éviter cette défaillance

Comme indiqué ci-dessus, il y a plusieurs causes possibles.

Si des risques de courants vagabonds existent, il faut les éliminer.

S'il y a une présence d'eau, il faut de suite prendre des mesures contre une possible corrosion bactérielle (voir plus loin).

Pour les autres possibilités, il convient d'envisager le remplacement du matériau en pensant notamment à des aciers inoxydables.

## Corrosion caverneuse

Elle s'apparente à la corrosion par piqûres ; elle apparaît dans les crevasses, essentiellement dans les vannes et entre les écrous et rondelles.

Il s'agit d'un déficit en oxygène qui entraîne une acidification suite à quoi le métal le moins rare devient anodique et est dissous.

## Corrosion électrique

Sous l'effet de courants vagabonds, deux surfaces métalliques voisines peuvent être soumises à une différence de potentiel suffisante pour créer un arc, entraînant une abrasion (symptôme : la cratérisation)

Origines des fuites :

- mauvaises mises à la terre,
- courants induits sur les machines électriques,
- charges électrostatiques, provenant des frottements.

### Solutions possibles pour éviter cette défaillance

1. Il faut toujours assurer la bonne mise à la terre des machines électriques.
2. Lors des soudages à l'arc, il faut toujours veiller à ce que les mises à la masse soient au plus près des pièces à souder.

## Corrosion bactérielle

Les huiles de coupe et les eaux industrielles contiennent souvent des « ferro-bactéries » aérobies ou anaérobies.

Une bactérie se divise toutes les vingt minutes, donnant naissance à un milliard de bactéries en 12 heures. On remarque la présence de cette corrosion bactérielle sur les filtres où elle donne des dépôts sous forme d'une mousse.

Les bactéries aérobies donnent des acides, les anaérobies attaquent les produits sulfatés pour donner du H<sub>2</sub>S (gaz très dangereux).

### Solutions possibles pour éviter cette défaillance

Dans tous les systèmes de refroidissement en circuit fermé, il est impératif de mettre un produit anti-bactérie dans l'eau, sinon l'efficacité du refroidissement a toutes les chances d'être fortement diminuée ; voir une société spécialisée à ce sujet. Ne jamais mettre de l'eau de javel si des organes sont en acier inoxydable car le chlore risquerait d'attaquer celui-ci.

A noter que l'on rencontre parfois ce phénomène avec certaines huiles. Il faut alors consulter le fournisseur d'huiles.

## Corrosion de contact ou « fretting corrosion »

Elle survient lorsque deux pièces sont en contact et sont soumises à des vibrations (ex : bague extérieure d'un roulement dans son logement : formation de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en poussière rougeâtre très abrasive)



Exemple : ce bout d'arbre portait une poulie qui n'était pas suffisamment immobilisée.

Les vibrations ont provoqué l'attaque du bout d'arbre et de la rainure de clavette ; la clavette a fini par se rompre.



### Solutions possibles pour éviter cette défaillance

C'est une règle de qualité en maintenance qu'il faut toujours respecter : assurer les bons serrages et les blocages de ceux-ci. Sinon, on paie à coup sûr les travaux faits « à peu près ».

## Corrosion galvanique

Chaque métal a un potentiel électrique. Lorsque deux métaux de natures différentes sont réunis par une solution aqueuse conductrice ils forment une pile : il y a transfert des ions de l'anode métallique vers la cathode. On observe alors une corrosion de l'alliage le moins noble.

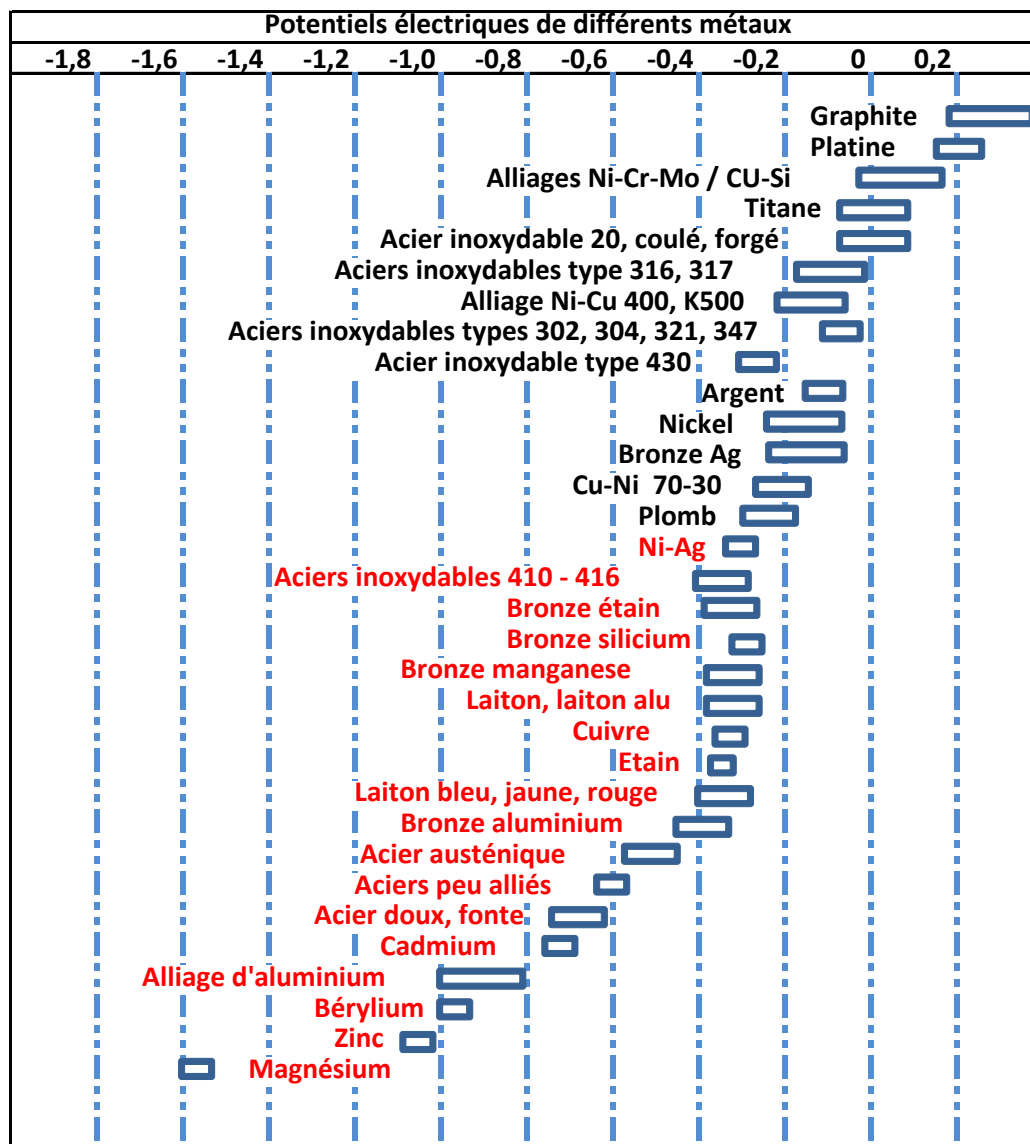


Le tableau ci-après montre les valeurs comparatives des potentiels de différents métaux. Les métaux indiqués en rouge sont les victimes « classiques » de la corrosion galvanique.

### Solutions possibles pour éviter cette défaillance

Les différents moyens de lutte contre cette corrosion sont :

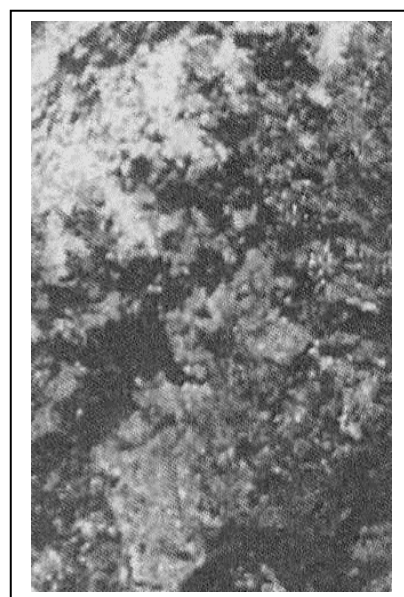
- choisir des couples métalliques dont les éléments sont les plus proches possibles dans la série galvanique ;
- éviter un rapport de surface défavorable ;
- éviter le contact direct entre deux métaux différents, à l'aide d'un joint, d'un isolant, d'un revêtement.



## Corrosion sous tension

Cette corrosion survient quand la pièce est soumise à des efforts dans un milieu corrosif. Les premiers développements ressemblent à de l'usure ou de l'abrasion. Mais cela se termine par des ruptures. Celles-ci sont perpendiculaires à l'axe des sollicitations.

L'aspect de la rupture est feuilleté.





### Solutions possibles pour éviter cette défaillance

La solution la plus sûre est de remplacer le matériau en place par un autre qui ne se corrode pas. Très souvent l'emploi d'un polyamide donne cette solution.

## Défaillances de l'acier inoxydable

Les défaillances liées à l'acier inoxydable sont de deux types :

1. Les défaillances des métaux avec lesquels l'acier inoxydable est en contact ; elles sont la conséquence d'une corrosion galvanique.
2. Les défaillances des organes en acier inoxydable ; elles sont la conséquence de rayures ou l'absence de passivation assez rapide.

### ○ Corrosion galvanique

Une corrosion appelée galvanique apparaît lorsque deux métaux de natures différentes sont réunis par une solution aqueuse conductrice et forment une pile : transfert des ions de l'anode métallique. Cette solution aqueuse peut être de l'eau, ou simplement une atmosphère humide.

C'est le cas de l'acier inoxydable dont le potentiel électrique est très différent de celui de l'acier au carbone :

**ne jamais laisser une pièce en acier inoxydable au contact avec une pièce en acier au carbone**, celle-ci risquant de se détruire.

### ○ Rayures

La couche de protection de l'acier inoxydable n'est que de 15μ environ.

Si l'on raye l'acier inoxydable, du chlore risque d'y pénétrer et former du chlorure de chrome ce qui « pourrit » la pièce en acier inoxydable.

### ○ Passivation

En principe les aciers inoxydables sont auto-passivant : la couche de protection se forme spontanément avec l'exposition à l'air. Mais ce n'est pas le cas lorsqu'il y a contamination par la saleté, la graisse, des traces d'acier au carbone dues au travail par outils. **Après tout travail par outil il est nécessaire de passer les pièces** dans des bains de passivation pour enlever cette contamination.

#### **Passivation par des solutions d'acide nitrique**

##### Solution 1

La solution doit contenir 20 à 25% d'acide nitrique et 2,5% de bichromate de sodium. La pièce doit être immergée pour au moins 20 minutes à une température entre 50 et 55°C.

##### Solution 2

La solution doit contenir 20 à 45% d'acide nitrique. La pièce doit être immergée pour au moins 30 minutes à une température entre 21 et 32°C.

##### Solution 3

La solution doit contenir 20 à 25% d'acide nitrique. La pièce doit être immergée pour au moins 20 minutes à une température entre 55 et 60°C.

### **Passivation par des solutions d'acide citrique**

#### Solution 1

La solution doit contenir 4 à 10% d'acide citrique. La pièce doit être immergée pour au moins 4 minutes à une température entre 60 et 71°C.

#### Solution 2

La solution doit contenir 4 à 10% d'acide citrique. La pièce doit être immergée pour au moins 10 minutes à une température entre 49 et 60°C.

#### Solution 3

La solution doit contenir 4 à 10% d'acide citrique. La pièce doit être immergée pour au moins 20 minutes à une température entre 21 et 49°C.

### **Finition de la passivation**

Immédiatement après la passivation un rinçage à l'eau est nécessaire.

Le traitement de passivation peut être complété par une immersion dans une solution à 4 – 6% de dichromate de sodium pour accélérer la formation de la couche protectrice.

### **Solutions possibles pour éviter cette défaillance**

En maintenance, assez souvent on utilise de l'acier inoxydable. Il est nécessaire de donner les instructions suivantes au personnel interne, et veiller par ailleurs à ce que la sous-traitance les respecte :

1. Ne jamais laisser une pièce en acier inoxydable au contact avec une pièce en acier au carbone : il faut toujours utiliser un joint isolant.
2. Les serrages d'une pièce en acier inoxydable avec une pièce en acier au carbone doivent être faits avec des boulons en acier inoxydable, mais une rondelle en polymère doit être placée sous l'écrou côté pièce en acier au carbone.
3. Pour la moindre rayure il faut passiver lorsqu'il y a risque de présence de chlore.
4. Après tout travail de l'acier inoxydable il faut passiver (on peut le faire avec une éponge).

## **Corrosion chimique**

La mise en contact avec des produits agressifs entraîne une corrosion chimique : réaction chimique avec perte régulière de matière, formation de piqûres ou fissuration par corrosion intergranulaire.

Les agents corrosifs peuvent être :

- des acides,
- des hydracides,
- des composés halogénés ou alcalins,
- des atmosphères réductrices ou oxydantes (attention aux additifs des lubrifiants)

Le tableau ci-après indique des compatibilités et non compatibilités entre matériaux et différents produits

	<div><div>C : Compatible</div><div>V : Compatible mais tenue dans le temps variant avec les concentrations et T°C.</div><div>N : Non compatible</div></div>																															
	Fonte	Acier doux	Acier 1/2 dur	Acier 13% Cr	Acier inox 201	Acier inox 304	Acier inox 304 L	Acier inox 316 L	Acier 18/10	Acier 18/10 + Mo	Acier 15/30 + Mo	Acier galvanisé	Nickel	Plomb	Aluminium	Bronze	Monel	Tombac	Amiante	Néoprène	C.P.V.	Nitrile	P.T.F.E.	Bronze d'alu	Caoutchoucs	Novagom	Plastef	Polyéthylène	Polyvinyle	Rilsan	Viton	
Acide acétique	V	N	N	V	C	C	C	C	V	C	C	N	V	N	V	V	V	N	C	V	N	V	C	V	V	N	V	C	C	C	N	
Acide benzoïque								C	C	C		C	N	C	V		V	C				C		V	N	V		C			C	
Acide borique	N	N	N	C	C	C	C	C	C	C	C	N	C	C	V	N	C	V	C	C	C	C			V	C	C		C		C	
Acide butyrique			N		C	C	C	C			N				C			C				C										
Acide carbonique	N	V						C	C	C		C	C	C	N	C									V	C	C	C			C	
Acide chlorhydrique	V	N	N	N	N	N	N	N	V	V	C	N	V	V	N	N	V	N	N	C	V	V	C	V	V	N	V	C	C	C	C	
Acide chromique	FS		N		C	C	C	V	V	V	N	V	C	N	N	V	N	N	N	C	V	C		V	N	V	V	V	V	V	V	
Acide citrique	V	V	N	V	C	C	V	C	C	C	C	N	V	C	V	N	C	N	N	C	C	N	C	V	V	V	C	V	V	C		
Acide cyanhydrique	V	V	N	N	V	V	C	C	C	C	C	N			C		C	N	N	C	C	N	C			V	C					
Acide fluorhydrique	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	C	N	C	V	N	V	C	N	N	N	V	N	N		V	V		C	C		C	
Acide formique	N	N	N	N	N	N	N	V	V	V	V			C	V	N	V	N	N	N	N	C	V	V	N	C	V	V	C	N		
Acide gallique					C	C	C	C						C					N	N												
Acide gras : butyrique, margarique, oléique, palmitique, stérarique	V	N	N	C	C	C	C	C	C	C	C	C	V	V	V	C	N	C	N		N	C	V		C	C					C	
Acide lactique				V				V	C	C			C	V	V	V							C		V	C	C	C	C	C		
Acide malique								C	C	C		C		V		C										C						
Acide muriatique	C	N		N				V	V	C		C	C	N	N	N	V						C	C	N	C	C	C	C	C		
Acide nitrique	FS	N	N	V	C	C	C	V	C	C	C	N	N	N	V	N	N	N	N	N	V	V	N	V	N		V	V	V	V	C	
Acide oléique	V		V		V	V	V	V						C			V	C	V	C	V	C										
Acide oxalique	V	V	N	V	C	C	C	C	V	C	C	C		C	V	N	V	V	C	N	C	V	C		V	C	C			C	C	
Acide phénique					V	C	C	V	C	C	C		C	N	V		C														C	
Acide phosphorique	N	N	N	N	N	N	N	N	V	V	C		V	V	N	N	V	N	N	N		C	N	V	N	C	V	V	C	C		
Acide picrique	N		N		C	C	C	C	V	V	V	N	N	N	V	N	V	N	C		N		C			C	C					
Acide pyrogallique				C				V	V	V		C	C					N				C				C						
Acide salicylique					C	C	C	C						C				N				C										

		Fonte	Acier doux	Acier 1/2 dur	Acier 13% Cr	Acier inox 201	Acier inox 304	Acier inox 304 L	Acier inox 316 L	Acier 18/10	Acier 18/10 + Mo	Acier 15/30 + Mo	Acier galvanisé	Nickel	Plomb	Aluminium	Bronze	Monel	Tombac	Amiante	Néoprène	C.P.V.	Nitrile	P.T.F.E.	Bronze d'alu	Caoutchoucs	Novagom	Plastef	Polyéthylène	Polyvinyle	Rilsan	Viton	
Acide sulfhydrique		V	V	C	C	C	C	C	C	C	C			V	C	N		N	N	V	C	C	C				V						
Acide sulfureux	V	V	V	V	V	C	C	V	V	C	C	V	V	C	V	N	C	N	N	V	C	V	C		V	C	V	V	V			C	
Acide sulfurique	V	V	N	N	N	N	N	V	V	V	V	N	V	V	N	N	V	N	N		N			V	V	V	V	V	V	V	V	C	
Acide tannique	V		V	V	V	C	C	V	C	C	C	V	C	C	V		C	V			N		C		V	V	C	V	V			C	
Acide tartrique	V	V	V	N	V	C	C	V	C	C	C	V	V	C	V.4	N	V	N					C	C	V	V	C	V	V				
Acide trichloracétique	N								C	C	C		C	C										CS		V							
Acide urique					V	C	C	V	C					C	V	N	C	N			C	C	C				C			C			
Air comprimé	C		C		C	C	C	C				C			C			C	C	C	C		C										
Acétate d'aluminium			N		C	C	C	C	C	C					V			V	C				C				C						
Acétate de cuivre			N		C	C	C	C	C	C					V			V	C				C				C						
Acétate de plomb			N		C	C	C	C	C	C					V		C	V	C				C				C						
Acétate de cellulose					C	C	C	C							C				C														
Acétate d'éthyle	V		C		V	V	V	V				C			C			C	C	N	N	N	C										
Acétone	C		C	V	C	C	C	C	C	C		C			C		C	C	C	N	N	N	C		CS	N	V	N	N			N	
Acétylène	C	C	C			C						C	C		C	N	C	V	C	V	C	V	C		V	C	C					C	
Air humide	FS	N		V					C				C	V	C	C	C							C	V		C					C	
Air marin	FS	N		N					C				C	V	C	N	C							C			C						
Alcools	C	C	C	V	V	C	C	C	C	C			C	C	V	C	C	V	C						V	V	C	V	V	C			
Aldéhyde formique									C	C					V												C		V				
Alun				V					V	C			V	V	V		C								C	C	C						C
Ammoniac (gaz)	C	V	C		C	C	C	C	C	C		C	V	C	C	N	C	C	C	C	C	C	C	V	V	V	C	V	V				
Ammoniaque	C	V	V	C	C	C	C	C	C	C		C	V	C	V	N	V	N	C	N		N	C	V	V	V	C	V	V	C	C		
Anhydride acétique					V	C	C	C							V			N			N		C										
Anhydride sulfureux	N	V	C	V	V	V	V	V	C			N		C	C	V	V	V	C	C	C	V	C	C	V	V	V		V			C	
Anhydride sulfurique	C	V		N					C	C				C		N	C									V	V						
Aniline	V		V		C	C	C	C				C			C			N	C	V	V	N	C										

	C : Compatible V : Compatible mais tenue dans le temps variant avec les concentrations et T°C. N : Non compatible																															
	Fonte	Acier doux	Acier 1/2 dur	Acier 13% Cr	Acier inox 201	Acier inox 304	Acier inox 304 L	Acier inox 316 L	Acier 18/10	Acier 18/10 + Mo	Acier 15/30 + Mo	Acier galvanisé	Nickel	Plomb	Aluminium	Bronze	Monel	Tombac	Amiante	Néoprène	C.P.V.	Nitrile	P.T.F.E.	Bronze d'alu	Caoutchoucs	Novagom	Plaster	Polyéthylène	Polyvinyle	Rilsan	Viton	
Benzène	C	V	V	C	V	V	V	C	C			C	C	C	C	C	V	C	N	N	N	C		N	N	C	N	N	C			
Benzine					C	C	C	C				C	C	C	C	C	V	C	N			C		N	N	C	N	N	C			
Benzols	C	V	V	C	C	C	C	C	C	C		V	C	N	V	N	C		C					N		C		V	C			
Bicarbonate d'ammoni.	V		V		C	C	C	C	V	V		V	N		N		V	C								C		V				
Bicarbonate de K et Na	V	V	V		C	C	C	C	V	V		V	C		V		C								C	C		V				
Bichlorure de K et Na	V	V						V	V				N	N	C	V								C		C		V				
Bichromate de K et Na					V	C	C	V						C				C						V		C	V	V				
Bisulfate de K, de Na	N		N		N	V	V	C				N			N		V	C		C		C										
Bière		N		C				C	C			C	N	C	V	C							C	C	N	C	V	V	C			
Bisulfite de K et Na	V	N	N		N	V	V	C	C	C		N			V		C					C		V	C	C	V	V	C			
Bisulfite de Ca	N		N		V	C	C	C	V	C		N			C			N	C			C			C	C						
Borate de soude								C	C															V		C		V				
Bore, borax			V		N	N	N	C	C	C		V			N		N	C	N		N	C			V	C		V				
Bouillies	N	N						C					C	V	C	N								V		C		V				
Brome	N	N	N	N	N	N	N	N	V	V		N	V	N	N	N	V	N	N	V	N	C	N	N	N		N	N		C		
Butane	C		C	C	C	C	C	C	C	C		C	C	N	C	C	C	C	C	C	C	C		CS	C	C		C		C		
Butylène			C		C	C	C	C				C			C		C	C	N													
Camphre					C	C	C	C	C	C		C		C		C		C								C						
Carbonate de K et de Na	V	N	N	C	C	C	C	C	C	C			C	C	N	N	C	N	C				C	C	V	C	C	C	V			
Anhydride carbonique		C		C	C	C	C	C	C				C	C				C	C						C	C						
Chaux		C			N	C	C	C	C	C			C	N	N	C		C	C	C	N	C	C	V	C	C	C	V				
Chlore	V	V	C	V	N	N	C	V	C	C		C	C	C	V	V	C	V	C			C	C	V	C	V		V		C		
Chlorate de potassium					N	C	C	V						C					N		N											
Chlore + eau	FS	N	N	N	N	N	N	N	N	V		N	V	V	N	N	V	N	V	C	V	C		V		C		V				
Chloroforme	C		C	N	C	C	C	C	C	C		C	C		C	C	C	V	C	N	N	N	C		N	N		N		C		
Chlorure d'aluminium	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V		V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	C	C				C	

C : Compatible V : Compatible mais tenue dans le temps variant avec les concentrations et T°C. N : Non compatible																																	
	Fonte	Acier doux	Acier 1/2 dur	Acier 13% Cr	Acier inox 201	Acier inox 304	Acier inox 304 L	Acier inox 316 L	Acier 18/10	Acier 18/10 + Mo	Acier 15/30 + Mo	Acier galvanisé	Nickel	Plomb	Aluminium	Bronze	Monel	Tombac	Amiante	Néoprène	C.P.V.	Nitrile	P.T.F.E.	Bronze d'alu	Caoutchoucs	Novagom	Plaster	Polyéthylène	Polyvinyle	Rilsan	Viton		
Chlorure d'ammonium	V	V	V	N	V	V	V	V	C	C		V	C		V		C	V	V	V	V	V	V	C		C	C		V				
Chlorure de calcium	V	V	V	C	V	V	V	V	C	C	V	V	C		V	V	C	V	V	V	V	V	V	V	V	C	C	C	V	C	C		
Chlorure de cuivre	V	V	V	V	V	V	V	V	N	N	V	V			V	V		V	V	V	V	V	V	V	V	C	C		V				
Chlorure d'étain	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V			N	V		V	V	V	V	V	V	V	V		C	V	C				
Chlorure d'éthyle	V	V	V	C	V	V	V	V	C	C	V	V	V		C	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	C	C						
Chlorure de magnésium	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	C		V	V	C	V	V	V	V	V	V	V	V	C	C	C	C	C	C	C	
Chlorure de mercure	V	V	V	N	V	V	V	V	V	V	V	V	C		N	V	C	V	V	V	V	V	V	V	V	C	C					C	
Chlorure de méthyle		V	V	V	V	V	V	V	C	C	V	V			N	V	C	V	V	V	V	V	V	V	CS	V	C		N				
Chlorure de potasse	FS	C	V		V	V	V	V	C	C	V	V	C			V	C	V	V	V	V	V	V	V		C	C	V	V		C		
Chlorure de sodium	C	C	V	V	V	V	V	V	C	C	V	V	V		V	V	C	V	V	V	V	V	V	V		C	C	V	C	C			
Chlorure de zinc	V	V	V		V	V	V	V	V	V	V	V	C		N	V	C	V	V	V	V	V	V	V		V	C	C	C		C		
Cidre		N		C					C	C			V	N	N	V	V							C	V		C	C	C	C			
Cire d'abeille		C	C		C	C	C	C	C		C		C	C	C	C	C	C					C			C							
Citron	V	V		V					C	C	C		V	C	V	N	C							V	V	V	C	V	V	C			
Colles d'os			C		C	C	C	V	C	C		C		C	V	N	C	V	C	C	V	C	C			N	C						
Créosote	C	C	C	C	V	C	V	V	C	C		C	C	N	V	C	C	V	C	V	N	V	C	C	N	C	C					C	
Cyanure de cuivre									C	C														V		C							
Cyanure de K et Na	N	C	N	C	C	C		C	C	C		N			N	N	C	N	C				C		V	C	C	C	V				
Cyanure de zinc								C	C																	C							
Cyclohexane	V		V		V	V	V	V			V				C			V	C	N		V	N										
Diéthylène glycol			V		C	C	C	N			V				C			C	C	C			N										
Dowtherm			C		C	C	C	C			C				C			C	N	N	N		N										
Eau ammoniacale	C	C		C					C			V	C	C	N	V									V		C		V				
Eau distillée	N	N		C					C	C		C	N	C	N	C									V	C	C	C	V	C	C		
Eau de Javel	C	N		N					V	V		V	V	V	N	V									V	V			V	C			
Eau de mer	FS	N	N	N	C	V	V	C	V	V		V	C	C	V	C	C	C	C	C	V	C	C	V	C	C	C	C	V	C	C		

	<div>C : Compatible V : Compatible mais tenue dans le temps variant avec les concentrations et T°C. N : Non compatible</div>																															
	Fonte	Acier doux	Acier 1/2 dur	Acier 13% Cr	Acier inox 201	Acier inox 304	Acier inox 304 L	Acier inox 316 L	Acier 18/10	Acier 18/10 + Mo	Acier 15/30 + Mo	Acier galvanisé	Nickel	Plomb	Aluminium	Bronze	Monel	Tombac	Amiante	Néoprène	C.P.V.	Nitrile	P.T.F.E.	Bronze d'alu	Caoutchoucs	Novagom	Plastef	Polyéthylène	Polyvinyle	Rilsan	Viton	
Eau oxygénée	N	N	V	V				C	C			V	C	V	N	V									V	C	C	C	V			
Encres	V	V	V	V	V	V	V	C	V	V		V	V	V		V		C				C			V	C	C	C				C
Essence de pétrole	C	V	C		C	C	C	C	C	C		C	C	C	C	C	C	C	V	N	V	C	C	CS	C	C	C	N	N	C	C	
Ether	V		V	C	C	C	C	C	C	C		V		C	V	C	C	V	C	N	N	V	C		CS	C	C	N	V		V	
Ethylène glycol	V		V		V	C	C	C			V			C			V	C	C	C	C	C	C									
Ferrocyanure de K				N				C						C										V		C						
Flegmes		V						C					C		V																	
Formol				C	V	V	V	C	C				C	V	N		C	C	N		N	N		V	C	C	N	C			C	
Fluor					V	C	C	V														N										
Fréon	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C				N	V		V	C	C		C	V		N	V						V	
Gaz d'éclairage	C	C	C	C	C	C	C	C	C		C	C	C	V	V	C	C	C	C		V	V	V	V		C					C	
Gaz de combustion	C	V	C	C	C	C	C	C	V		C	V	C	V	N	V	C	C	C		V	V	C			C					C	
Gélatines	V								C	C		C	C	C	V	C										C	C				C	
Glucose	C	C							C					C	C											C	C		V		C	
Glycérine	FS	C	C	V	C	C	C	C	C	C		C	C	C	C	C	C	C	N	N	N	N				C	C	C	C	C	C	
Goudrons	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C		C		C	N	V	C	C	C	N	N		C	V	V	C						
Héxane	C		C		C	C	C	C			C			C				C	V		C	C										
Huiles - fuels	FS	C	C	C	C	C	C	C	C	C		C	C	C	C	C	V	C	V		V	N	C	CS	C	C	N	C	C			
Huiles de lubrification	C		C		C	C	C	C			C			C			C	C	N	C		N										
Huiles végétales			V		V	V	V	C			V			C			V	C	N	N	N	N										
Hydrogène	V	C	C		C	C	C	C	C		C		N	C	C	C	C	C	C		C	C		V	C	C					C	
Hydrogène sulfuré	V		V		C	C	C	C			V			C			V	C	N	N	N	N										
Hypochlorite de K et Na	V	N		N					V	V		N	C	N	N	V							N	V	C			V	C			
Hyposulfite de Na					C	C	C	C				C	C	V		C		C	N	N	N	N		V	C	C	C	C	C			
Iode	N		N	N	C	C	C	C	V	V		N	N	V	V7			N	C	V	N	C	C				C		V		C	
Iodure de K								C	C			C				C										C						

<div>C : Compatible</div> <div>V : Compatible mais</div> <div>tenue dans le temps variant</div> <div>avec les concentrations et T°C.</div> <div>N : Non compatible</div>	Fonte	Acier doux	Acier 1/2 dur	Acier 13% Cr	Acier inox 201	Acier inox 304	Acier inox 304 L	Acier inox 316 L	Acier 18/10	Acier 18/10 + Mo	Acier 15/30 + Mo	Acier galvanisé	Nickel	Plomb	Aluminium	Bronze	Monel	Tombac	Amiante	Néoprène	C.P.V.	Nitrile	P.T.F.E.	Bronze d'alu	Caoutchoucs	Novagom	Plastef	Polyéthylène	Polyvinyle	Rilsan	Viton
Iodoforme								C	C																						
Jus de fruits	N	N	V	C	V	V	V	C	C	C		C	C	N	V	V	C	V	C	C	C		C			C	C		C		C
Mélasses			V		V	C	C	V				C			C		V	C	C	C		C									
Lait	N	N		C					C	C			C	N	C	N	C						N	V	C	C	C	C	C	C	C
Latex	V	N							C				C	C	V	N	C										C				
Lessives	C	N		V					C	C			C	V	N	N	C						V	V		C					
Maltose	N								C					C	C	C										C					
Mazout	C	C		C				V						C	C	V							C	CS	C	C		V	C		
Mercure	N	C	C	C	C	C	C	C	C		C	V	V	N	N	C	N	C	C	C	C	N		V	C						C
Sels de mercure												N																			
Méthane	C		C		C	C	C	C		C					C			C	C	V		C	C								
Méthanol	V		C		V	C	C	V		C					V		V	C													
Moutarde	N	N							C	C			N	N	N											C		V			
Naphtaline					C	C	C	C							C				C												
Nitrate d'argent				V				V	V						V											C	C	V		C	
Nitrate de cuivre	V		V		N	C	C	V		V			V	V				C								C		V		C	
Nitrate de fer	V		V		N	C	C	V	V	V				V				C								C		V		C	
Nitrate de plomb				C				V					C	N	N											C		V			
Nitrate d'ammonium, de K, de NA, d'Al	C	C	V	V	N	C	C	V	C	C	V		V	C	N		V	C								C	C	V	C	C	
Nitrobenzine, cellulose, phénol, toluène								C				C	C	C	N	C							N	CS	C	C					V
Oignon	N	N						C	C				N	C	N																
Oléum	C	C						V	V				N	V	N											C	N	N			V
Oxygène	V	C	C		C	C	C	C		V		V	V	C	C	C	C	C	V	C	V	C		V	C	C		V			



	<div><div>C : Compatible</div><div>V : Compatible mais tenue dans le temps variant avec les concentrations et T°C.</div><div>N : Non compatible</div></div>																															
	Fonte	Acier doux	Acier 1/2 dur	Acier 13% Cr	Acier inox 201	Acier inox 304	Acier inox 304 L	Acier inox 316 L	Acier 18/10	Acier 18/10 + Mo	Acier 15/30 + Mo	Acier galvanisé	Nickel	Plomb	Aluminium	Bronze	Monel	Tombac	Amiante	Néoprène	C.P. V.	Nitrile	P.T.F.E.	Bronze d'alu	Caoutchoucs	Novagom	Plaster	Polyéthylène	Polyvinyle	Rilsan	Viton	
Ozone	N	N	N					C					C	V	N	C	N	C	V	C	N	C		CS	N	C	N	V				
Paraffines	C	C	C		C	C	C	C	C		C	C	C	C	C	C	C	C	N			C				C	N	V			C	
Pâte à papier	C	C						V					C	C	N											C		V				
Pentane	V		V		V	V	V	V			V			C			V	C	C			C										
Perchlorate d'am, Na					N	N	N	V	V	V				C				C	N		N					C						
Permanganate de K	V		V		C	C	C	C	C		V			V		C	V	C								C	C	V				
Perchloréthylène	V		C		N	N	V	C						C			V	C	N		N	C										
Reroxyde de sodium			V		C	C	C	C			V			C			N	C	N	N	N	C										
Pétroles bruts	FS	V	V	C				V	V		V	V	C	V	N	V	N	C		N			V	CS		V	V	N	C	C		
Phénols	C		V	C	V	C	C	V	C	C	V		N	V	N	C	V	C	N	V	N	C		CS	N	C	V	V			C	
Phosphate de Fe, de Na	V	V			C	C	C	C	C			C		V		V		C				C			C	C		V				
Jus de pommes	N	N						C	C				N	V	V											C		V				
Potasse (solution)	C	V	V		C	C	C	C	V	V		C	V	N	N	C	N	C	C	C		C	C	V	C	C	C	V	C			
Potasse caustique	V	V	N		N	N	N	C	V		N	C	V	N	N	C	N	C	N	N	N	N	V	V		C	C	V				
Propane	C		C	C	C	C	C	C	C		C	C	N	C	C	C	C	C	C	C	C	C		CS	C	C		C			C	
Purin	V	N						C						C	N											C		C				
Résines	C							C				C	C	C	C	C										C						
Saumure neutre	C	C						C	C			C			C	C										C		V			C	
Savons liquides	FS	N	C		V	V	V	C	C	C		C	C	C	V	N	C	V	C				C			C		V				
Sel ammoniac		N						V	V				C	C	N									V		C						
Sel marin	N	N						C				C	C	V	N	C								V		C		V			C	
Silicate de sodium	V		V		C	C	C	C			V			C			V	C				C										
Sodium fondu					N	N	N	C						N			N	N	N	N	N	N										
Soie artificielle								C					C	C	N											C						
Soude et ses sels	C	V	V	V	N	C	C	V	V	V			C	V	N	N	C	N	C	C	V	C	C	V	V	C	C	V	C		V	
Soude caustique	V	V	V	N	N	V	V	C	V				C	V	N	N	C	N	C		N		C	V	V		C	C	V			

	<div><div>C : Compatible</div><div>V : Compatible mais tenue dans le temps variant avec les concentrations et T°C.</div><div>N : Non compatible</div></div>																															
	Fonte	Acier doux	Acier 1/2 dur	Acier 13% Cr	Acier inox 201	Acier inox 304	Acier inox 304 L	Acier inox 316 L	Acier 18/10	Acier 18/10 + Mo	Acier 15/30 + Mo	Acier galvanisé	Nickel	Plomb	Aluminium	Bronze	Monel	Tombac	Amiante	Néoprène	C.P.V.	Nitrile	P.T.F.E.	Bronze d'alu	Caoutchoucs	Novagom	Plaster	Polyéthylène	Polyvinyle	Rilsan	Viton	
Soufre		N	N		N	C	C	V	V	V		N		N	V	N	N	C	N		N	N	N		V	C						
Sucres divers					C	C	C	C			C	C	C	C	C	C	C	C				C	C	V		C		V				
Sulfate d'aluminium	N				V	C	C	V	V	C		C	C	N		C	V	C	N	N	N	C	N	V	C	C		V				
Sulfate d'ammonium				N	N	N	V	C	V	V		C	C	V	N	C	V	C	N			C	C	V	C	C	V	V				
Sulfate de chrome								V	V																C		V					
Sulfate de cuivre et Ca	N	N	N		C	C	C	C	V	V	N			N		V	V	C				C		V	C	C	V	V			C	
Sulfate de fer	N	N	N		C	C	C	C	V	V	N			V		V	V	C				C			C	C	V	V			C	
Sulfate de magnésium	V	C	V		C	C	C	C	V	V	V	C		V		C	C	C	C	C	C	C		V	C	C	V	V				
Sulfate de K et de Na	V	C	V	N	C	C	C	C	C	C	V	C		V		C	V	C						V		C	V	V	C			
Sulfate de zinc	FS	V	V		C	C	C	C	C	C	V	C		V		C		C	C	C	C			V	C	C	V	V			C	
Sulfite d'ammonium			V		N	C	C	V			V							C	N	N												
Sulfure de carbone				C	C	C	C	C	V	V				V		C		C	N	N		C		N	N	C	V	V			C	
Sulfure de sodium	V			V	N	V	V	V	C	C				N		C		C	N	N	N	C				C					V	
Tanin								V	V				C	V	N								C			C		V				
Teintures organiques								C	C				V	V	N								V			C						
Térébenthine	FS	C	V		C	C	C	C	C	C	C	C	C	V	C	C	C	C	V	V	V	C				C	C	C			C	
Tétrachlorure de C.					C	C	C	C	C	C		C		N		C	V	C	N			C	C	N	N	C	V	V	C	C		
Toluène	C		C		C	C	C	C		C				C			C	C	N	N	N	C										
Jus de tomate		N		C				C					N	C	N											C		V				
Trichloréthylène	C	V	V	C	N	V	V	C	C	C	V	C	C	V	C	C	V	C	N	N	N	C	C	N	N	C	N	N			C	
Urée		N	N		N	N	N	C	C		N	C	C	C	N	C	N	C	N	N	N	C				C		V				
Vapeur saturée	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	V	N	C	C	C	C		N		C	C	N		C	N	N			V	
Vapeur surchauffée	V	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	N	N	V	C	V	C	N	N	N	V	C	N		C	N	N			V	
Vernis		V	V		C	C	C	C	C		V	C	C	C	N	C	N	C	C			C			C							
Vinaigre	N	N	N	V	C	C	C	C	C	C	N	C	N	N	N	C	N	N	V	C	V	C		V	V	C	C	C			N	
Vinasses	V	C						C					C	N	N	C								V		C	C	V			C	

<b>C</b> : Compatible <b>V</b> : Compatible mais tenue dans le temps variant avec les concentrations et T°C. <b>N</b> : Non compatible		<b>Fonte</b>	<b>Acier doux</b>	<b>Acier 1/2 dur</b>	<b>Acier 13% Cr</b>	<b>Acier inox 201</b>	<b>Acier inox 304</b>	<b>Acier inox 304 L</b>	<b>Acier inox 316 L</b>	<b>Acier 18/10</b>	<b>Acier 18/10 + Mo</b>	<b>Acier 15/30 + Mo</b>	<b>Acier galvanisé</b>	<b>Nickel</b>	<b>Plomb</b>	<b>Aluminium</b>	<b>Bronze</b>	<b>Monel</b>	<b>Tombac</b>	<b>Amiante</b>	<b>Néoprène</b>	<b>C.P.V.</b>	<b>Nitrile</b>	<b>P.T.F.E.</b>	<b>Bronze d'alu</b>	<b>Caoutchoucs</b>	<b>Novagom</b>	<b>Plaster</b>	<b>Polyéthylène</b>	<b>Polyvinyle</b>	<b>Rilsan</b>	<b>Viton</b>
	<b>Vins</b>	N	N						C	C				N	V		C							C	V		C	C	V	C	C	
	<b>Vitriol</b>	V	V	N	N	N	N	N	V	V	V	N	V	V	N	N	V	N	N		N			V	V	V	V	V	V	V	V	C
	<b>Sels de zinc</b>	FS	V						V					N	V	N	V						V	V			C		V			
	<b>Xylène</b>			V		C	C	C	C			V			C				C	N	N	N	C									

FS : Fontes spéciales      CS : Caoutchouc synthétique

- Notes :
- Concernant le Rilsan et le Viton les critères s'appliquent aux matières plastiques des mêmes familles : voir le § « revêtements » du chapitre « techniques spéciales »
  - Pour les métaux ne figurant pas dans ce tableau, voir le § « propriétés des différents métaux » du chapitre « lois et valeurs physiques »

**Solutions possibles pour éviter cette défaillance**

En cas de corrosion chimique, la meilleure solution est de changer de matériau. Sinon, on peut penser à des protections avec des résines époxy ; voir voir le § « revêtements » du chapitre « techniques spéciales »

## Bourrages

### Obstructions dans des tuyauteries d'un liquide

Dans le cas d'une circulation en circuit fermé de l'eau, de l'huile de coupe, et même de certaines huiles, on peut avoir des obstructions du fait de la formation de bactéries et même parfois d'algues.

Comme nous l'avons dit précédemment, les eaux industrielles, huiles de coupe et certaines huiles contiennent souvent des « ferro-bactéries » aérobies ou anaérobies.

Une bactérie se divise toutes les vingt minutes, donnant naissance à un milliard de bactéries en 12 heures. On remarque la présence de cette corrosion bactérielle sur les filtres où elle donne des dépôts sous forme d'une mousse.

Les bactéries aérobies donnent des acides, les anaérobies attaquent les produits sulfatés pour donner du H<sub>2</sub>S qui est un produit extrêmement dangereux.

Il est impératif de mettre un produit anti-bactérie dans le liquide, pour éviter tout risque d'obstruction ; voir une société spécialisée à ce sujet. Ne jamais mettre de l'eau de javel si des organes sont en acier inoxydable car le chlore risquerait d'attaquer celui-ci.

### Bourrages d'un produit pulvérulent

Avec les produits en poudre, on observe parfois des bourrages.

Deux cas se présentent.

#### 1. Les bourrages sont permanents

Dans ce cas, la conception de l'équipement (essentiellement les tuyauteries) est à considérer.

Il s'agit :

- a. de bien identifier les endroits où se font ces bourrages (très souvent au niveau des coudes) ;
- b. de noter les différences entre les endroits à problèmes et les endroits sans problème ;
- c. de voir par cette comparaison quelles sont les modifications nécessaires.

#### 2. Les bourrages sont occasionnels

Les bourrages occasionnels sont dus à des modifications ponctuelles dans le process : le produit change de consistance en étant plus sec ou plus humide.

Il s'agit donc de faire de nombreux relevés pour bien identifier le problème.

- a. Il faut décrire le problème (QQOQCC) en répondant aux questions suivantes :

<b>QUI ?</b>	<i>Qui s'aperçoit de la défaillance ? Qui intervient ?</i>
<b>QUOI ?</b>	<i>Qu'est-ce qui est bloqué ? Avec quoi intervient-on ?</i>
<b>OU ?</b>	<i>Quel endroit, quel circuit, quelle zone ? Y-a-t'il un équipement similaire sur lequel ne survient pas la défaillance ?</i>
<b>QUAND ?</b>	<i>Quels jours ? Quelles heures ? Depuis quand ? Pendant quelle opération ?</i>
<b>COMMENT ?</b>	<i>est-ce brutal ou le bourrage est-il progressif ?</i>
<b>COMBIEN ?</b>	<i>Ce blocage est-il fréquent ?</i>

**REMEDE** ⇒ *Comment fait-on pour redémarrer quand la défaillance apparaît ?  
Quelle réparation éventuelle fait-on ?*

Il s'agit dans cette étape de recueillir tous les éléments pour identifier le problème et de contrôler leur exactitude.

- b. Pour identifier la défaillance il est primordial de recueillir le maximum d'informations auprès des opérateurs. En général, la Maintenance ne consulte pas assez les opérateurs. Or ceux-ci recueillent des informations qui sont utiles. Il arrive même assez souvent que l'un d'entre eux (ou plusieurs) a identifié la cause et la solution à mettre en œuvre

Dans ce cas, il est rare que l'on trouve une solution corrective à 100 % ; très souvent la solution consiste à éviter l'effet (la panne) en faisant des manœuvres palliatives.

## Blocages

Le blocage dans un transport d'un produit est le type de défaillance qui nécessite le plus d'observations sur le terrain.

- a Il faut particulièrement bien identifier la défaillance en répondant aux questions suivantes.  
Il faut décrire le problème (QQOQCC) en répondant aux questions suivantes :

<b>QUI ?</b>	<i>Qui s'aperçoit de la défaillance ? Qui intervient ?</i>
<b>QUOI ?</b>	<i>Qu'est-ce qui est bloqué ? Avec quoi intervient-on ?</i>
<b>OU ?</b>	<i>Quel endroit, quel circuit, quelle zone ? Y-a-t'il un équipement similaire sur lequel ne survient pas la défaillance ?</i>
<b>QUAND ?</b>	<i>Quels jours ? Quelles heures ? Depuis quand ? Pendant quelle opération ?</i>
<b>COMMENT ?</b>	<i>y a-t-il un choc ou le blocage est-il progressif ?</i>
<b>COMBIEN ?</b>	<i>Ce blocage est-il fréquent ?</i>
<b>REMEDE</b>	<i>⇒ Comment fait-on pour redémarrer quand la défaillance apparaît ? Quelle réparation éventuelle fait-on ?</i>

Il s'agit dans cette étape de recueillir tous les éléments pour identifier le problème et de contrôler leur exactitude.

- b Pour identifier la défaillance il est primordial de recueillir le maximum d'informations auprès des opérateurs. **En général, la Maintenance ne consulte pas assez les opérateurs.** Or ceux-ci recueillent d'informations qui sont utiles. Il arrive même assez souvent que l'un d'entre eux (ou plusieurs) a identifié la cause et la solution à mettre en œuvre.
- c. Ce défaillance nécessite beaucoup de temps d'observations sur le terrain.

## Défaillances de Roulements

Nous distinguons deux aspects :

1. constatations faites lors d'inspections ;
2. constatations faites après défaillances.

### Constatations faites lors d'inspections

Lors des inspections (visuelles, auditives, au toucher, ou avec des moyens de contrôles non-destructifs) on tire trop souvent des conclusions hâtives. On ne doit pas toujours remplacer un roulement qui fait du bruit ou qui est chaud.

A titre d'exemple, un roulement chaud parce que trop graissé est un cas fréquent ; dans ce cas il suffit d'enlever un peu de graisse.

Les tableaux ci-après permettent d'apporter un éclairage sur les constats que l'on peut faire.

<div> <div>Constats</div> <div>Causes possibles</div> </div>	Roulement trop chaud	Roulement bruyant	Durée de vie trop courte	Vibrations	La rotation de l'arbre est dure
<b>Problèmes de conception</b>					
Jeu du roulement insuffisant	X	X	X		X
Jeu excessif dans le roulement		X		X	
Alésage du logement surdimensionné ou agrandi par la charge	X	X	X	X	
Arbre surdimensionné	X	X	X		X
Logement sous-dimensionné	X	X	X		X
Epaulement de l'arbre ou du logement trop petit		X	X	X	X
Congé d'arbre ou de logement trop grand		X	X	X	X
Roulements préchargés (voir jeu axial)	X	X	X		X
Bague extérieure tournant dans le logement	X	X	X	X	
Joint frottant sur l'épaulement d'arbre	X	X	X		X
<b>Problèmes de lubrification</b>					
Lubrification inadéquate ou insuffisante	X	X	X		X
Lubrification excessive	X				X

<div> <div>Constats</div> <div>Causes possibles</div> </div>	Roulement trop chaud	Roulement bruyant	Durée de vie trop courte	Vibrations	La rotation de l'arbre est dure
<b>Problèmes de montage</b>					
Roulement pincé dans le logement	X	X	X	X	X
Joints non alignés ou jeu insuffisant dans les chicanes, ou mauvais positionnement des déflecteurs	X	X			X
Joints trop serrés	X				X
Roulement mal fixé sur l'arbre		X	X	X	
Serrage excessif du manchon	X	X	X		X
Plat ou coup sur un élément roulant		X	X	X	
Portée d'arbre ou alésage conique			X	X	
Défaut d'alignement	X		X		X
<b>Problèmes d'exploitation</b>					
Corps étrangers et impuretés		X	X	X	X
Faux brinelling		X			
<b>Fin de vie normale</b>	X	X		X	

<b>Roulement trop chaud</b>
<b>Problèmes de conception</b>
Jeu du roulement insuffisant
Alésage du logement surdimensionné ou agrandi par la charge
Arbre surdimensionné
Logement sous-dimensionné
Roulements préchargés (voir jeu axial)
Bague extérieure tournant dans le logement
Joint frottant sur l'épaule d'arbre
<b>Problèmes de lubrification</b>
Lubrification inadéquate ou insuffisante
Lubrification excessive
<b>Problèmes de montage</b>
Roulement pincé dans le logement
Joints non alignés ou jeu insuffisant dans les chicanes, ou mauvais positionnement des déflecteurs
Joints trop serrés
Serrage excessif du manchon
Défaut d'alignement
<b>Fin de vie normale</b>

Note : un roulement chaud parce que trop graissé est un cas fréquent. Beaucoup de spécialistes disent qu'il est plus fréquent de voir des défaillances par un surplus de graissage que par un manque.



<b>Roulement bruyant</b>
<b>Problèmes de conception</b>
Jeu du roulement insuffisant
Jeu excessif dans le roulement
Alésage du logement surdimensionné ou agrandi par la charge
Arbre surdimensionné
Logement sous-dimensionné
Epaulement de l'arbre ou du logement trop petit
Congé d'arbre ou de logement trop grand
Roulements préchargés (voir jeu axial)
Bague extérieure tournant dans le logement
Joint frottant sur l'épaulement d'arbre
<b>Problèmes de lubrification</b>
Lubrification inadéquate ou insuffisante
<b>Problèmes de montage</b>
Roulement pincé dans le logement
Joints non alignés ou jeu insuffisant dans les chicanes, ou mauvais positionnement des défecteurs
Roulement mal fixé sur l'arbre
Serrage excessif du manchon
Plat ou coup sur un élément roulant
<b>Problèmes d'exploitation</b>
Corps étrangers et impuretés
Faux brinelling
<b>Fin de vie normale</b>

<b>Vibrations</b>
<b>Problèmes de conception</b>
Jeu excessif dans le roulement
Alésage du logement surdimensionné ou agrandi par la charge
Epaulement de l'arbre ou du logement trop petit
Congé d'arbre ou de logement trop grand
Bague extérieure tournant dans le logement
<b>Problèmes de montage</b>
Roulement pincé dans le logement
Roulement mal fixé sur l'arbre
Plat ou coup sur un élément roulant
Portée d'arbre ou alésage conique
<b>Problèmes d'exploitation</b>
Corps étrangers et impuretés
<b>Fin de vie normale</b>

<b>Durée de vie trop courte</b>
<b>Problèmes de conception</b>
Jeu du roulement insuffisant
Alésage du logement surdimensionné ou agrandi par la charge
Arbre surdimensionné
Logement sous-dimensionné
Epaulement de l'arbre ou du logement trop petit
Congé d'arbre ou de logement trop grand
Roulements préchargés (voir jeu axial)
Bague extérieure tournant dans le logement
Joint frottant sur l'épaulement d'arbre
<b>Problèmes de lubrification</b>
Lubrification inadéquate ou insuffisante
<b>Problèmes de montage</b>
Roulement pincé dans le logement
Roulement mal fixé sur l'arbre
Serrage excessif du manchon
Plat ou coup sur un élément roulant
Portée d'arbre ou alésage conique
Défaut d'alignement
<b>Problèmes d'exploitation</b>
Corps étrangers et impuretés

<b>La rotation de l'arbre est dure</b>
<b>Problèmes de conception</b>
Jeu du roulement insuffisant
Arbre surdimensionné
Logement sous-dimensionné
Epaulement de l'arbre ou du logement trop petit
Congé d'arbre ou de logement trop grand
Roulements préchargés (voir jeu axial)
Joint frottant sur l'épaulement d'arbre
<b>Problèmes de lubrification</b>
Lubrification inadéquate ou insuffisante
Lubrification excessive
<b>Problèmes de montage</b>
Roulement pincé dans le logement
Joints non alignés ou jeu insuffisant dans les chicanes, ou mauvais positionnement des déflecteurs
Joints trop serrés
Serrage excessif du manchon
Défaut d'alignement
<b>Problèmes d'exploitation</b>
Corps étrangers et impuretés

## Constatations faites après défaillances

Récupérer : lubrifiant, joints, déflecteurs, particules métalliques ou autres.  
Ne jamais nettoyer un roulement avant expertise.

Noter les dates des derniers graissages ou contrôles de niveau.

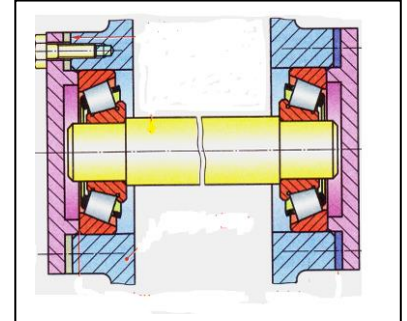
Il arrive parfois que **le roulement soit complètement détruit**.  
C'est le cas le plus difficile à analyser.  
Examinons tout d'abord quelles sont les causes possibles.

### Cause N°1

Le montage de deux roulements est en X et les roulements sont mal réglés avec un jeu assez réduit. Ce jeu est insuffisant pour compenser la dilatation de l'arbre due à la température. Les roulements se bloquent mais le thermique du moteur ne déclenche pas. Dès lors il y a des arrachements de métal et la destruction du roulement se propage assez rapidement. Cette destruction est accompagnée d'un échauffement et l'on peut constater des phénomènes de fluage à certains endroits.

Ce cas est assez rare car plusieurs facteurs doivent se conjuguer :

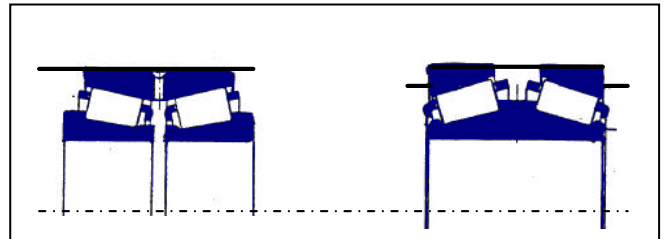
- faible jeu entre les roulements ;
- température élevée due aux roulements, mais aussi à des apports extérieurs ;
- grand longueur de l'arbre, ce qui est peu souvent le cas avec ce type de montage.



### Cause N°2

Sur les arbres d'une certaine longueur, on utilise parfois des montages avec 2 roulements doubles. L'un est du type X et il est bloqué. L'autre est du type O et il est libre en translation pour absorber les dilatations.

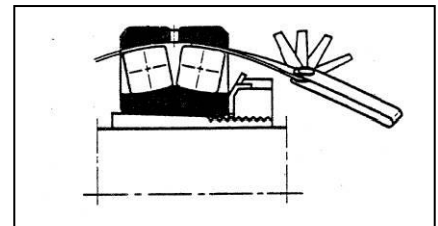
Lors des montages, veillez à garder cette liberté en translation, sous peine d'avoir une grave défaillance. Ce cas est plus fréquent que le précédent car l'arbre est plus long et la dilatation plus grande.



### Cause N°3

Cette cause s'apparente à la N° 1.

Cela concerne les montages de roulements rotulants à alésages coniques. Si on a trop serré le roulement sur l'arbre ou le manchon conique, le roulement va rapidement se bloquer du fait de l'échauffement et si le thermique du moteur ne déclenche pas, il y a des arrachements de métal et alors la destruction du roulement se propage assez rapidement. Là aussi, on peut constater des phénomènes de fluage de la matière.



### Cause N°4

Avec le temps les cages embouties s'usent au niveau des alvéoles. Elles peuvent finir par casser et passer entre les billes ou rouleaux. Il y a alors blocage puis arrachements de métal et destruction du roulement ; cela peut être assez rapide.



### Cause N°5

Lorsque le roulement a été monté « à la frappe », il se peut que les chemins de roulement et/ou les billes ou rouleaux aient été marqués. Si ces marquages sont importants, le roulement peut arriver à se bloquer. On a alors un phénomène identique à ceux décrits précédemment. Mais cette cause est assez rare ; généralement la durée de vie est fortement réduite, mais le phénomène de destruction n'est pas très rapide ; le bruit et les vibrations engendrées sont une alarme que l'on découvre à temps.

## Cause N°6

Une cause de destruction est due à des chocs violents en utilisation. Dans ce cas la destruction assez rapide, car ces chocs peuvent casser des éléments roulants, ou les bagues, qui sont en acier trempé et donc fragiles.

## Cause N°7

Les problèmes de lubrification ne sont pas rares :

- niveau d'huile trop bas ;
- manque de graisse ;
- trop plein de graisse (assez fréquent).

Dans tous les cas il y a échauffement, puis blocage du roulement, puis destruction. Le phénomène est assez rapide.

Ces 7 causes sont les plus fréquentes en cas de destructions de roulements.

Bien sûr il y a bien d'autres causes de défaillances de roulements comme nous l'avons indiqué ci-dessus, mais généralement le phénomène de destruction n'est pas très rapide ; le bruit et les vibrations engendrées sont une alarme que l'on découvre à temps (surtout si l'on a une bonne maintenance préventive)

## Examinons maintenant les circonstances de ces destructions.

### Cas N°1

L'équipement est nouveau. La destruction est survenue peu de temps après son démarrage. Dans ce cas les causes à examiner sont :

Cause N°1, N°2, N°3 : le roulement a été monté avec insuffisamment de jeu, ou trop de précharge.

La cause N°7 peut être envisagée si l'on a oublié de graisser.

Dans ce cas, la garantie est certainement d'application.

### Cas N°2

La destruction du roulement est arrivée peu de temps après un remplacement. La cause est certainement à rechercher dans les circonstances de ce remplacement :

- Mauvais réglage ? Voir causes N°1, N°2, N°3
- Mauvais montage ? Voir cause N°5.
- Manque ou trop de lubrification lors du remplacement. Voir cause N°7, et l'avis du graisseur.

### Cas N°3

La destruction du roulement est arrivée après un certain temps d'utilisation. La cause est certainement à rechercher dans les circonstances de ce remplacement :

- Usure de la cage ? Voir causes N°4. L'état de la cage doit être bien observé.
- Chocs inopinés en utilisation ? Voir cause N°6..
- Manque ou trop de lubrification lors du remplacement. Voir cause N°7, l'avis du graisseur et les dates de graissage ou de contrôles de niveau.

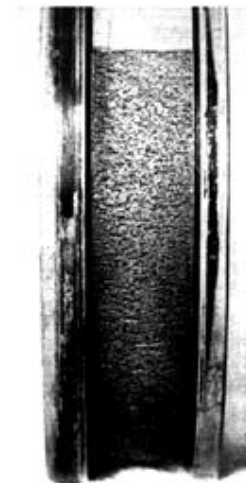
Si **Le roulement n'est pas détruit** et s'il est important ou critique, il est intéressant d'analyser les causes de défaillance.

Les tableaux ci-après sont une aide à cette analyse.

Symptomes	Observations	Causes	Remèdes
<b>N° 1</b> <b>Ecaillages</b>  <b>Ecaillages de fatigue</b> vieillessement	1er stade : Apparition de lésions de surface isolées.  2ème stade : Les lésions tendent à se rejoindre, l'état de surface se détruit et de petites écailles sont mélangées au lubrifiant.  3ème stade : L'écaillage gagne toute la surface concernée, l'état de surface est complètement détruit.  Localisation : zone de charge.	Il s'agit d'une fatigue du métal à la limite de la durée de vie.  Mais il est possible que le roulement ait eu à supporter des efforts anormaux qui ont diminué sa durée de vie : . courroie de transmission trop tendue; . désalignement (dans ce cas parfois les marques sont décentrées)	Remplacer le roulement.  Si la durée de vie paraît courte, vérifier : . tension de courroie; . alignement avec autres équipements.

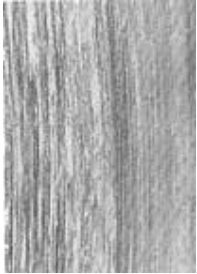
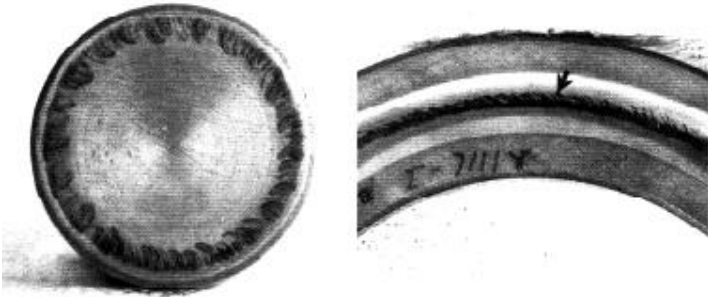



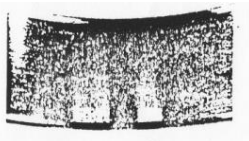
2ème stade



Fin de vie

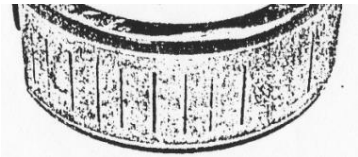
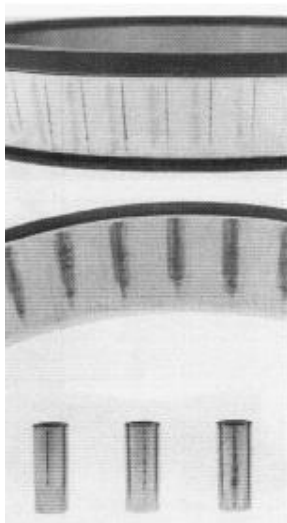
Symptomes	Observations	Causes	Remèdes
<p><b>N° 2</b></p> <p><b>Ecaillages</b></p> <p><i><b>Ecaillages superficiels</b></i></p>	<p>Il y a des taches à la surface des pistes et des zones de charge.</p> <p>. Seule la surface des pièces est affectée (différence importante avec l'écaillage de fatigue)</p> <p>Ces écaillages superficiels peuvent progressivement déboucher sur des grippages.</p>	<p>Lubrification absente, ou inadaptée ou insuffisante.</p> <p>Il se forme de micro-soudures qui entraînent l'arrachement de très fines particules de métal.</p>	<p>. Adaptation de la lubrification en qualité, quantité, et fréquence.</p>

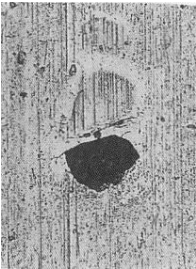
Symptomes	Observations	Causes	Remèdes
<b>N° 3</b> <b>Grippage</b> 	<u>Premier stade :</u> . Arrachements superficiels de métal. . Traces d'échauffement. . Disparition localisée de la rectification.	Lubrification absente, ou inadaptée ou insuffisante.	. Adaptation de la lubrification en qualité, quantité, et fréquence. . Au montage des roulements à rouleaux coniques, graisser sous la cage vers la grande base des rouleaux
	<u>Dernier stade :</u> . Corps roulants déformés par arrachement du métal. . Cages détruites. . Soudure de corps roulants sur les bagues par échauffement.	Mauvaises tolérances d'ajustement : . Bague extérieure tournant dans son logement. . Arbre tournant dans l'alésage	Au montage toujours s'assurer des tolérances d'ajustement.
	Localisation : d'abord les alvéoles des cages, puis les corps roulants.	Vitesse élevée qui entraîne un freinage des corps roulants par le lubrifiant dans le cas de charges élevées et d'accéléra-tions brutales	Dans le cas de vitesse élevée, choisir un lubrifiant plus fluide permettant la mise en rotation rapide des corps roulants.
			

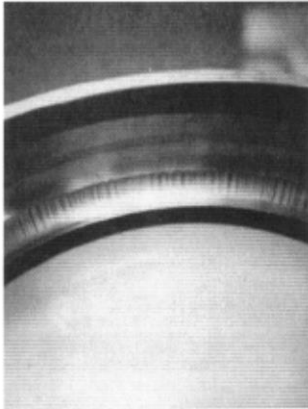
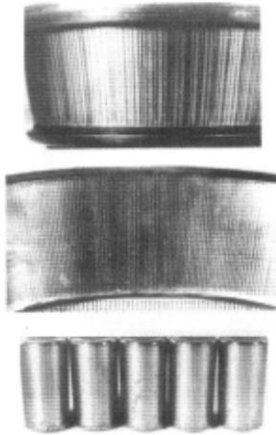
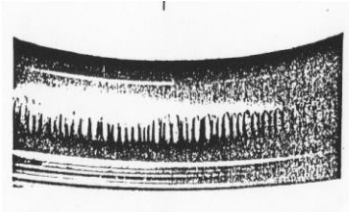
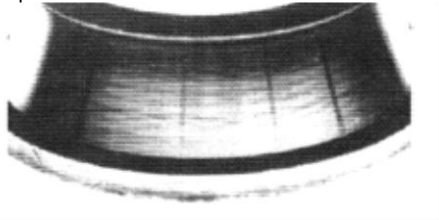
Symptomes	Observations	Causes	Remèdes
<b>N° 4</b> <b>Empreinte de corps roulants</b> Déformation ou arrachement de métal  <b>Roulements à billes</b>	. Empreintes de forme conique . L'écartement des empreintes est égal à celui des billes.  Stade avancé : source d'écaillages.  Constat en service : bruyance anormale.  Localisation : en partie ou sur la totalité de la circonférence.	. Mise en place d'un roulement par percussion (coups sur une bague pour enfoncer la bague opposée)	Ne jamais frapper sur la bague opposée à celle que l'on veut mettre en place. Utiliser un tube pour placer celle-ci.
		Chute d'un roulement sur un sol dur.	Eviter les chutes accidentelles des roulements : . Vérifier les conditions de stockage en magasin. . Effectuer les travaux sur des surfaces planes.
			



Symptomes	Observations	Causes	Remèdes
<b>N° 4</b> <b>Empreinte de corps roulants</b> Déformation ou arrachement de métal <b>Roulements à rouleaux cylindriques</b>	. Rayures parallèles à la génératrice des pistes Ecartement égal à celui des rouleaux . Arrachement de métal fréquent.	Il peut y avoir un coincement des rouleaux lors de l'assemblage. Si l'on force l'introduction par pression ou par percussion, les rouleaux rayent la piste de la bague réceptrice.	. Ne jamais forcer une bague dans l'autre. . Bien graisser le roulement avant l'assemblage.
<b>Roulements Rotulants</b>	Idem	Souvent le roulement se met de travers avant le montage. Si l'on force la remise en place par percussion, les rouleaux rayent la piste de la bague réceptrice.	. Bien graisser le roulement avant le montage. . Il est recommandé d'effectuer un mouvement de rotation qui aidera les deux bagues à bien se mettre en place.
<b>Roulements à rouleaux Conique</b>	Idem	Des empreintes peuvent être faites si le cône est utilisé pour mettre la cuvette en place.	Ne pas se servir du cône pour enfoncer la cuvette.

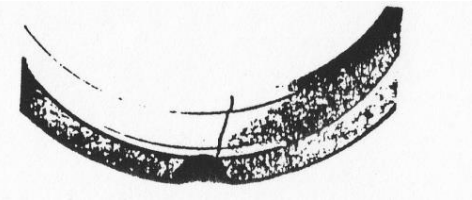
Symptomes	Observations	Causes	Remèdes
<p><b>N° 5</b></p> <p><b>Empreinte de corps roulants par abrasion</b></p> <p>Faux brinelling</p>	<p>On a des empreintes dont l'écartement correspond à celui des corps roulants.</p> <p>Examen sous fort grossissement :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>. Il s'agit de disparition de matière et non de refoulement.</li> <li>. Les particules arrachées sont génératrices de traces d'oxydation.</li> </ul> <p><u>Ne pas conclure à une corrosion de contact.</u></p> 	<p>Cette dégradation affecte les roulements à l'arrêt sous l'effet de vibrations extérieures. En raison de celles-ci le lubrifiant s'échappe de la zone de charge laissant à nu les zones de contact. Se créent alors des micro-grippages et micro-soudures provoquant des arrachements de métal.</p> 	<p>Plusieurs précautions sont à prendre pour éviter ce phénomène.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Caler les arbres des machines pendant leur transport ou leur stockage.</li> <li>2. Mise en rotation lente ou séquentielle des machines à l'arrêt pour faciliter la répartition du lubrifiant et éviter des charges permanentes sur les mêmes points.</li> <li>3. Sur le plan de la lubrification, les gélifiants recommandés sont le calcium et le calcium-plomb pour réduire cet effet. Par ailleurs, il est préférable de ne pas utiliser les graisses aux silicones.</li> </ol>

Symptomes	Observations	Causes	Remèdes
<b>N° 6</b> <b>Usure</b>  <b>Empreintes de corps étrangers</b>	<p>Une réduction importante de la durée de vie peut être due à l'introduction de corps étrangers dans les roulements.</p> <p>Les constatations que l'on peut faire sont les suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>. petites empreintes sur les pistes de roulement dues à un enfoncement de matière;</li> <li>. jeux excessifs;</li> <li>. sillons longitudinaux ou sectorisés sur pistes;</li> <li>. usure des cages, des corps roulants et des pistes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Manque de soins au montage.</li> <li>. Manque de protection en service ( le nettoyage industriel trouve là toute son importance )</li> </ul> 	<p><u>Au stockage :</u> Toujours garder les roulements stockés dans leur emballage d'origine.</p> <p><u>Au montage :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>. Toujours bien nettoyer les arbres et logements (voir "règles de l'art")</li> <li>. Travailler sur des établis propres.</li> <li>. Les récipients des lubrifiants doivent être tenus fermés et à l'abri des poussières.</li> </ul> <p><u>En service :</u> Eviter toute projection sur les paliers en installant des capotages.</p>

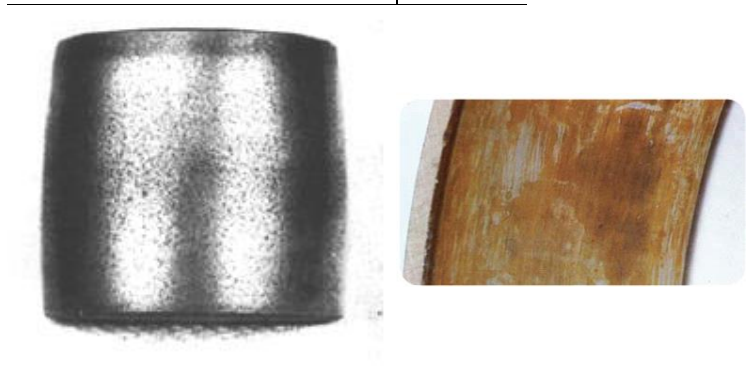
Symptomes	Observations	Causes	Remèdes
<b>N° 7</b> <b>Cannelures et cratères</b>	<p>Cette défaillance a deux formes :  <u>Cannelures</u> (plutôt les roulements à rouleaux) :  Plages étroites et parallèles, donnant l'aspect de cannelures.  <u>Cratères</u> (plutôt les roulements à billes) :  Piqures à bords nets, en chapelets plus ou moins longs.  Il s'agit de fusions localisées du métal.</p>	<p>La cause de ces cannelures et cratères est due à des courants électriques de fuite qui provoquent des arcs à travers le film du lubrifiant entre corps roulants et pistes.</p> <p>Les origines de ces courants de fuite sont multiples :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>. mauvaises mises à la terre de moteurs;</li> <li>. soudages à l'arc avec des retours de courant mal situés;</li> <li>. etc.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. S'assurer périodiquement des bonnes mises à la terre des moteurs électriques.</li> <li>. Donner les instructions nécessaires aux soudeurs pour le branchement du poste de soudure (mise à la masse des pièces).</li> </ul>
			



Symptomes	Observations	Causes	Remèdes
<b>N° 8</b> <b>Traces de coups</b>  <b>Fissures</b>  <b>Cassures</b>	<p>Cette défaillance peut être grave. Elle concerne :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>. Traces de coups et d'empreintes d'outils.</li> <li>. Fissures et cassures.</li> </ul> <p>On la constate particulièrement dans 2 cas :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>. Roulements rotulants qui peuvent parfois se déboîter au montage.</li> <li>. Roulements à rouleaux cylindriques dont les épaulements de guidage sont très fragiles vis-à-vis des chocs.</li> </ul>	<p>Dans tous les cas il s'agit de montages de roulements par percussion, sans les précautions nécessaires (voir les "règles de l'art" à ce sujet)</p> <p>A noter que les fissures ne sont pas toujours visibles immédiatement, mais peuvent se propager par la suite et former des éclats.</p> <p>A noter que la majorité des roulements est en acier décollété et trempé, donc fragile. Il n'y a qu'une marque qui utilise l'acier cémenté.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Il ne faut jamais faire de percussion directe sur les bagues. L'interposition d'un tube est toujours recommandée.</li> <li>. Concernant les roulements à rouleaux, il est préférable de chauffer la bague intérieure pour faciliter la mise en place.</li> <li>. Pour redresser la bague intérieure déboîtée d'un roulement rotulant, il est toujours recommandé de faire tourner la bague en même temps que l'on contient les rouleaux déboîtés.  <u>Jamais frapper pour redresser !</u></li> </ul>



Symptomes	Observations	Causes	Remèdes
<b>N° 9</b> <b>Rupture des bagues</b>	<p>Sans autre trace, il s'agit de ruptures transversales, ou cassures affectant de larges secteurs des bagues.</p> 	<p><u>Bague intérieure :</u> Serrage excessif sur l'arbre.</p> <p><u>Bague extérieure :</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Charge excessive due à une précharge ayant pour origine un serrage trop important de la bague intérieure.</li> <li>2. Contraintes radiales en raison d'un jeu trop faible à l'origine.</li> </ol>	<p>. Les tolérances d'ajustement ne doivent pas entraîner une réduction du jeu interne, voire une précharge.</p> <p>. Il vaut mieux remplacer le roulement par un autre à jeu augmenté.</p>

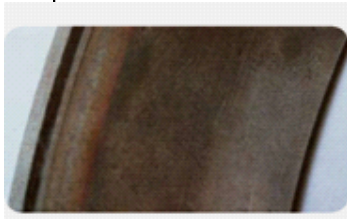
Symptomes	Observations	Causes	Remèdes
<b>N° 10</b> <b>Corrosion</b>	<p>On constate des taches rougeâtres plus ou moins étendues (quelquefois noires)</p> <p>Cette oxydation peut être localisée ou généralisée; elle concerne à la fois les bagues, les billes ou rouleaux et la cage. Elle peut se prolonger par une attaque des surfaces.</p>	<p>La cause est bien sûr due à une entrée de liquide corrosif ou d'humidité sur le roulement.</p> <p>Cela peut être du à un défaut d'étanchéité, ou à un travail du roulement en atmosphère saturée d'humidité avec des périodes alternées de marche et d'arrêt (d'où la création de condensations)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Supprimer les projections diverses.</li> <li>. Veiller à ce que de bons modes opératoires de nettoyage à l'eau soient respectés.</li> <li>. Remplacer ou installer des déflecteurs et joints d'étanchéité appropriés.</li> <li>. Employer des lubrifiants n'émulsionnant pas avec l'eau.</li> </ul>



Symptomes	Observations	Causes	Remèdes
<p><b>N° 11</b></p> <p><b>Corrosion de contact</b></p>	<p>Il y a des taches brunes, noires ou roses plus ou moins étendues.</p> <p>Au frottement on voit apparaître des traces de rouille ainsi qu'une attaque plus ou moins profonde des zones concernées.</p> <p>Parfois, il y a un mélange d'oxyde et de lubrifiant qui donne une pâte brune.</p> <p>Ce constat est fait dans l'alésage, sur les faces d'appui ou sur le diamètre extérieur.</p> 	<p>Il y a un serrage insuffisant de la bague qui tourne par rapport à la charge, et de ce fait la bague extérieure dans son logement ou l'arbre dans l'alésage tourne lentement.</p> <p>Le frottement engendré entraîne des grippages localisés avec arrachement de fines particules métalliques qui s'oxydent très vite et jouent un rôle abrasif.</p> 	<p>. Contrôler les tolérances d'ajustement de l'arbre et du logement; recharger l'arbre si nécessaire.</p> <p>. Vérifier le serrage axial (peut-être insuffisant)</p> <p>. Appliquer des anti-grippants sur les portées et épaulements (suif ou autre)</p>

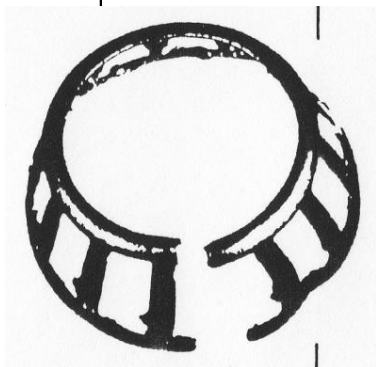



Symptomes	Observations	Causes	Remèdes
<b>N° 12</b> <b>Coloration</b>	Il y a là une oxydation superficielle et une polymérisation du lubrifiant à haute température ce qui donne une coloration brune des bagues et corps roulants.	Plusieurs causes sont possibles :	
		. Source extérieure de chaleur échauffant le roulement.	. Eviter d'exposer les paliers aux sources de chaleur extérieures; si possible favoriser les refroidissements.
		. Lubrification excessive, ou graisse trop consistante.	. Vérifier que l'excédent de graisse puisse s'échapper facilement (voir le chapitre "lubrification")
		. Insuffisante ou mauvais choix du lubrifiant.	. Utiliser le lubrifiant adapté aux conditions de service (température, vitesse)
		. Chauffage excessif du roulement lors de son montage.	. Utiliser les méthodes de montage correctes.
		. Serrage excessif des bagues (intérieure sur l'arbre, extérieure dans le logement)	. Eviter les précontraintes anormales en vérifiant les ajustements au montage.



Symptômes	Observations	Causes	Remèdes
<b>N° 13</b> <b>Détérioration des cages</b>  <b>Déformation</b>	Sont concernées les cages et surtout leurs alvéoles : . alvéoles écrasées; . traces de coups; . déformations.	Au montage la cage est l'élément le plus vulnérable tant que le roulement n'est pas définitivement en place. Les raisons principales sont : . ripage d'un jet lors du montage par percussion; . absence d'outillage de montage adapté.	Respecter les règles de l'art concernant le montage des roulements, avec si possible des montages à la presse.
<b>Usure</b>	Usure plus ou moins grande des alvéoles et des diamètres intérieurs / extérieurs des cages.	Introduction de particules abrasives au montage ou en fonctionnement.	. Avant montage veiller à la propreté de toutes les pièces.  . Remplacer ou installer des déflecteurs et joints d'étanchéité appropriés.  . Les récipients des lubrifiants doivent être tenus fermés et à l'abri des poussières.

Symptomes	Observations	Causes	Remèdes
<b>N° 13</b> <b>Détérioration des cages</b>  <b>Rupture</b>	<p>Il s'agit là d'une rupture avec ou sans laminage sous les corps roulants.</p> <p>Quand des parties de cage passent sous les corps roulants, cela crée de très gros dégâts et l'on a bien du mal à identifier l'origine du sinistre.</p>	. Serrage trop grand du roulement dû à une annulation de jeu interne : montage trop serré ou trop grand échauffement.	. Respecter les tolérances au montage et surveiller les températures de fonctionnement.
		. Concernant les roulements à billes, efforts de déversement alternés et répétés, ou accélérations / décélérations trop brutales.	. Utiliser des roulements avec des cages prévues pour ce type de fonctionnement.
		. Grippage dû à une lubrification défectueuse.	. Adaptation de la lubrification en qualité, quantité, et fréquence.
		. Vitesse excessive de la cage	. S'assurer que le choix du roulement correspond aux conditions de service.
		. Endommagement grave au montage.	



Symptomes	Observations	Causes	Remèdes
<b>N° 14</b> <b>Piqures</b> <b>(Pitting)</b>	<p>Il s'agit là d'une corrosion très localisée avec la formation de petits trous.</p> <p>Mais ceux-ci sont très profonds et cette forme de corrosion peut être très dommageable pour le roulement.</p>	<p>Les causes sont multiples :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>. courants vagabonds;</li> <li>. corrosion bactériologique;</li> <li>. présence d'oxygène.</li> </ul> <p>Mais de fait, on ne connaît pas vraiment l'origine de la corrosion par piqures pour les roulements.</p>	<p>En présence de piqures, deux points sont à vérifier :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>. la présence possible de courants vagabonds;</li> <li>. les étanchéités;</li> <li>. quand la lubrification est à l'huile, il est prudent d'ajouter un produit anti-bactéries.</li> </ul>
			

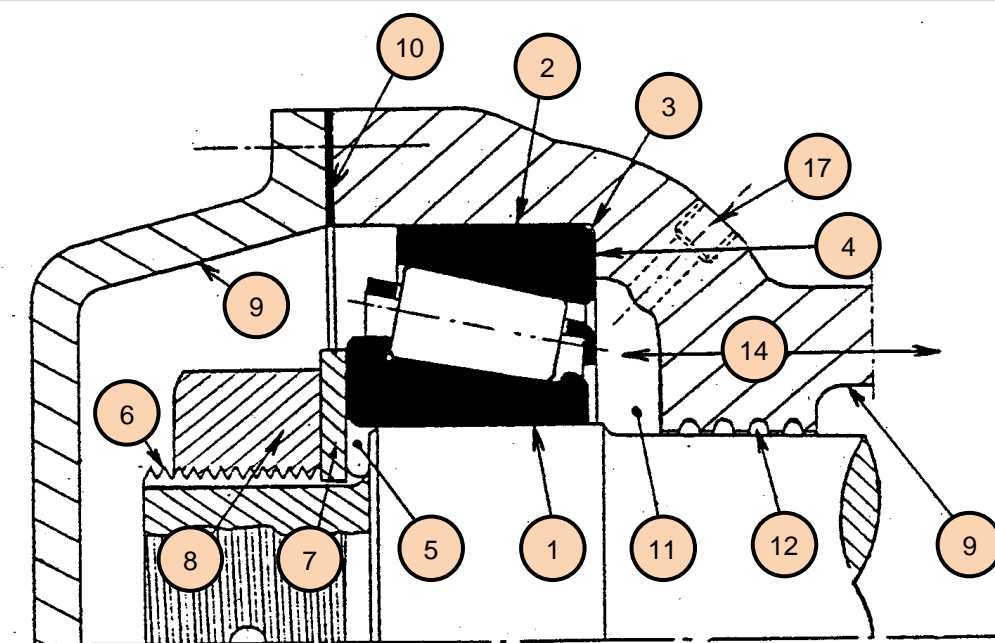
## Recommandations générales

Voir le dessin page suivante.

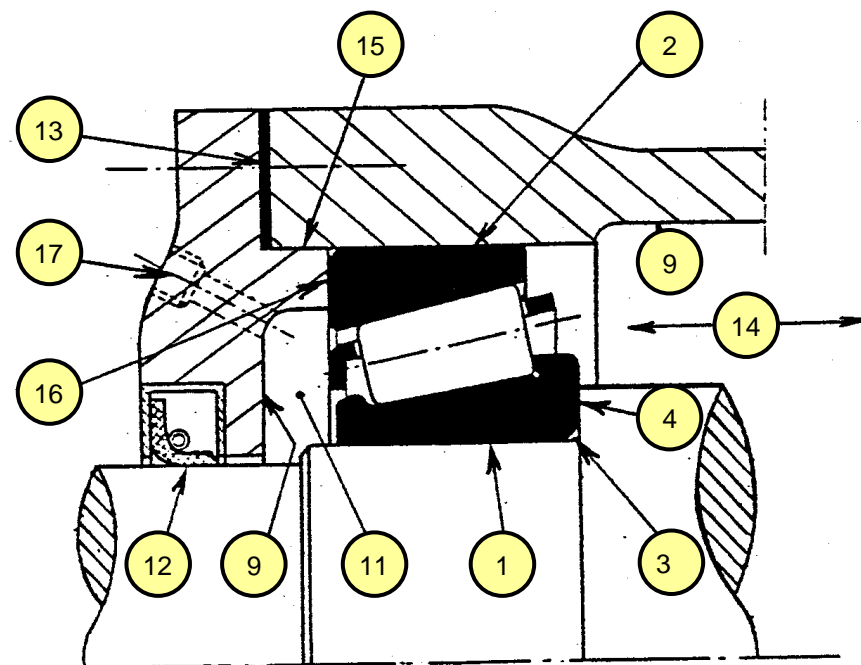
1. Respecter les tolérances préconisées pour les portées des bagues intérieures. Réduire les longueurs rectifiées.
2. Respecter les tolérances préconisées pour les logements des bagues extérieures.
3. Les rayons de raccordement des pièces doivent être plus petits que ceux des bagues.
4. L'appui doit être suffisant pour supporter la réaction axiale, mais l'accrochage pour démontage doit être possible. Surface d'appui bien plane et perpendiculaire à l'axe de l'arbre ou au logement de bague extérieure.
5. Jeu de 3 à 5mm suivant grandeur du roulement.
6. Filetage à pas fin soigneusement exécuté. Plus le réglage sera précis moins il y aura d'usure.
7. Rondelle de 3 à 6mm d'épaisseur suivant grandeur du roulement, de préférence traitée et rectifiée. Peut être supprimée dans le cas de faibles vitesses.
8. Ecrou avec face d'appui bien perpendiculaire au filetage et proprement usinée. Freinage à étudier soigneusement suivant application.
9. Il y a intérêt à peindre les surfaces intérieures non usinées : l'huile chaude et les vibrations pouvant détacher des particules de métal ou du sable de fonderie nuisibles aux roulements.
10. Surface correctement usinée; un joint est recommandé.
11. Prévoir jeu pour extrémité de la bague intérieure et cage du roulement.
12. Prévoir une étanchéité correcte; le polissage de l'arbre à cet endroit procure de meilleurs résultats.
13. Jeu de cales de réglage. Epaisseurs normales : 0,1 - 0,25 - 0,5mm.
14. Les alésages des logements des bagues extérieures doivent être bien alignés. Engrenages et roulements ne dureront pas s'il y a faute d'alignement.
15. Centrage nécessaire pour maintenir les cales et pour centrer le joint 12 sur l'arbre.
16. Cette face doit être bien plane et perpendiculaire au centrage.
17. Arrivée du lubrifiant, en principe côté petite extrémité des galets.

Pour la présentation de ces recommandations, nous avons choisi de prendre un roulement à rouleaux coniques en exemple, car il présente le cas le plus complet.

Mais ces recommandations sont vraies pour tous types de roulements, une ou l'autre pouvant être sans objet en fonction du type même de roulement considéré.



Cône réglable ( bague intérieure )



Cuvette réglable ( bague extérieure )

## Propreté

Quand toutes les pièces ont été vérifiées et trouvées dans les tolérances recommandées et avant le montage des roulements, les logements, arbres et autres pièces adjacentes aux roulements et aux systèmes d'étanchéité doivent être soigneusement nettoyés.

On utilisera un fil d'acier et une brosse métallique pour nettoyer les conduits et orifices de lubrification.

Il est conseillé de peindre les parties brutes de fonderie avec une peinture ou un vernis résistant aux lubrifiants, pour éviter que des particules ne se détachent plus tard et tombent dans l'huile et les roulements.

Les roulements doivent être laissés dans leur emballage d'origine et emmagasinés dans un endroit propre et sec jusqu'au moment de leur utilisation. Il n'est pas nécessaire de retirer la graisse de protection avant d'effectuer le montage; cette graisse est parfaitement miscible avec tout type de lubrifiant utilisé. Dans les cas où, pour faciliter le réglage, il est préférable d'avoir des roulements propres, on utilisera l'une des méthodes suivantes.

### ***Petits roulements ou petites quantités***

- a. Pétrole : sans séchage ou essuyage, il a l'avantage de protéger un certain temps les roulements contre l'oxydation.
- b. Essence : dégraisse plus vite que le pétrole mais, outre le danger d'incendie présenté par son emploi, elle dessèche les roulements ce qui nécessite leur trempage dans de l'huile ou de la graisse de protection après séchage.
- c. White-spirit : idem
- d. Tri- ou perchloréthylène : idem, mais sans danger d'incendie.

### ***Gros roulements ou grosses quantités***

- a. Huile minérale pure de 4 à 6°E à 50°C, chauffée à 130 - 150°C.  
Les roulements sont trempés dans l'huile chaude et rincés dans de l'huile soluble à 5% chauffée à 90°-95°C ; quand les roulements sont secs, ils peuvent être trempés dans de l'huile ou de la graisse de protection.  
Ne pas utiliser si les roulements contiennent de l'eau en suspension dans le lubrifiant.
- b. Solutions de trisilicate de sodium, phosphate trisodique, carbonate de sodium, etc... chauffées à 90 - 100°C ( 20 - 25g par litre d'eau )  
Très économiques pour les gros roulements très sales. Quand les roulements sont secs, ils doivent être trempés dans de l'huile ou de la graisse de protection.
- c. Eau chaude ou vapeur FORMELLEMENT DECONSEILLÉES par suite du risque d'oxydation.

Dans le cas où les roulements seraient séchés par un jet d'air, bien vérifier que cet air n'est pas humide, et ne pas faire tourner le roulement à grande vitesse avec le jet d'air.

# Défaillances d'Engrenages

## Recommandations générales

Les recommandations générales que l'on peut faire concernant les réducteurs sont les suivantes.

### Après 50 heures de marche

Dans l'huile il y a sans doute de la limaille et des débris dus à l'usinage et au montage. Il est donc recommandé de faire une vidange.

Si le réducteur est important, on peut faire une petite vidange pour nettoyer le fond, puis un filtrage avec un appareil mobile.

### Après 6 mois et 1 an

Les dentures peuvent se détruire lentement en raison d'une incompatibilité avec l'huile (additifs) ou de mauvais montages. Il est recommandé de faire une vérification assez tôt, soit après 6 mois puis 1 an. S'il s'agit d'un gros réducteur, on peut procéder par endoscopie en passant par exemple par le trou du reniflard. Il suffit de voir l'état de quelques dentures.

### Lubrification

- Contrôler régulièrement l'absence de fuites et le bruit : une fois / semaine si possible.
- Contrôler régulièrement le niveau d'huile quand c'est possible : une fois / mois si possible. S'il n'y a pas de voyant, on peut alors faire des ajouts jusqu'au trop plein par exemple une fois par semestre, ou introduire une jauge.
- Pour les réservoirs et réducteurs contenant au moins 500 litres, il est conseillé de faire des analyses d'huile une fois par semestre. Ce sont les résultats qui dicteront la nécessité de vidanger ou non.
- Lorsqu'il n'y a pas d'analyse d'huile, il est conseillé de faire une vidange par an pour les huiles minérales et tous les 3 ans pour les huiles de synthèse. Bien entendu pour les petits réducteurs et motoréducteurs, on peut augmenter cette fréquence et passer par exemple à 3 ans pour les huiles minérales.
- Lorsque l'atmosphère est poussiéreuse, les reniflards doivent être nettoyés une fois par mois.

### Inspection

Des visites préventive sont nécessaires, en dehors des contrôles sensoriels par semaine, soit :

- des mesures et analyses spectrales de vibrations pour les réducteurs importants, complétées par des analyses d'huile ;
- des mesures acoustiques pour les autres.

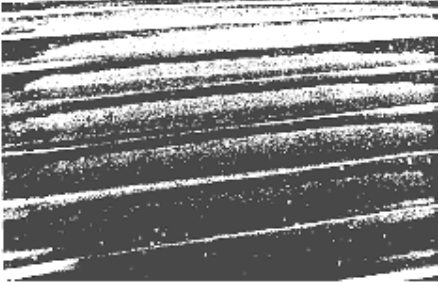
## Analyses après ouvertures de réducteurs.


Après 6 mois et 1 an de marche d'une part, suite aux résultats des contrôles de maintenance préventive, on est amené à ouvrir des réducteurs pour les examiner.

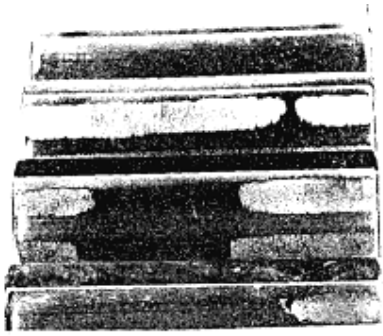
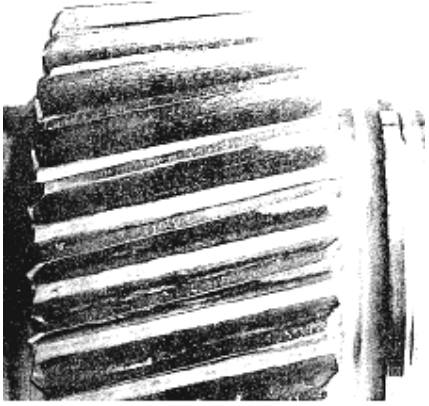
Il est alors intéressant d'analyser les causes de défaillance.

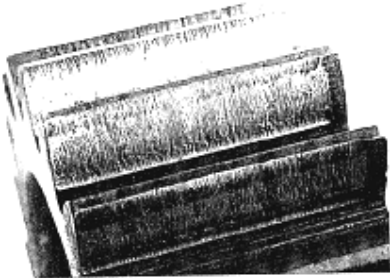
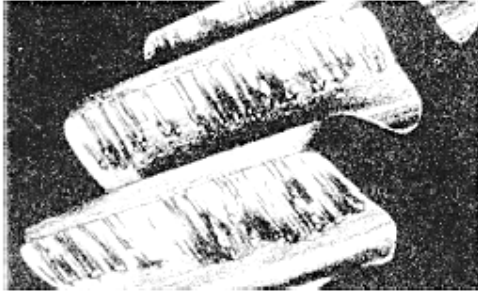
Les tableaux ci-après sont une aide à cette analyse.



Symptomes	Observations	Causes	Remèdes
<b>N° 1</b> <b>Piqures</b>	<p>Comme leur nom l'indique, ce sont des trous coniques peu profonds.</p> <p>On remarque souvent que leurs sommets sont tournés vers le pied des dents menantes et le sommet des dents menées.</p> <p>Sur les surfaces courantes, la fatigue (dite "Hertzian fatigue") forme des piqures de l'ordre du mm.</p> <p>Avec des surfaces durcies, on a des petites piqures de 10 µ de profondeur.</p> <p>Pour l'œil, la surface avec micro-piques apparaît comme gercée, ou a l'apparence du grès.</p> <p>La présence de quelques piqures n'est pas un risque immédiat, et souvent le phénomène disparaît de lui-même.</p> <p>Cependant, il faut surveiller car la situation peut devenir catastrophique.</p>	<p>La défaillance par piqures est courante. C'est :</p> <p><b>Soit un phénomène de fatigue</b> qui peut se propager et générer des écaillages. C'est assez courant.</p> <p><b>Soit un phénomène du à des inclusions.</b></p> 	<p><b>A la conception :</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. réduire les charges si possible;</li> <li>2. optimiser la géométrie de l'engrenage</li> <li>3. utiliser des dentures proprement rectifiées avec un polissage ("honage")</li> </ol> <p><b>A l'utilisation :</b></p> <p>Utiliser un lubrifiant avec une bonne viscosité. Eventuellement refroidir.</p> <p>Il est conseillé de commencer par un renouvellement de l'huile pour éliminer une éventuelle pollution.</p> <p>Si le phénomène persistait, il serait alors judicieux d'examiner une possibilité de diminution de charge.</p>


Symptomes	Observations	Causes	Remèdes
<b>N° 2</b> <b>Ecaillage</b>	<p>Les zones écaillées font apparaître une surface irrégulière, comme accidentée. Les piqures forme des trous en pente plus ou moins douce, alors que les écaillages sont limités par des "falaises" à angles vifs.</p> 	<p>Il y a trois causes principales :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.- Les écaillages sont initialisés par des inclusions de particules métalliques présentes dans l'huile.</li> <li>2.- Une surcharge de longue durée peut générer des écaillages.</li> <li>3.- Un développement de piqures.</li> </ol>	<p><b>A la conception :</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. réduire les charges si possible;</li> <li>2. optimiser la géométrie de l'engrenage</li> <li>3. utiliser des dentures proprement rectifiées avec un polissage ("honage")</li> </ol> <p><b>A l'utilisation :</b></p> <p>Utiliser un lubrifiant avec une bonne viscosité. Eventuellement refroidir. Il est conseillé de commencer par un renouvellement de l'huile pour éliminer une éventuelle pollution.</p> <p>Faire faire des analyses d'huile une fois / 6 mois, avec spectrographie, analyse de ferrographie et analyse au niveau des acides, de la viscosité et de la présence d'eau.</p>



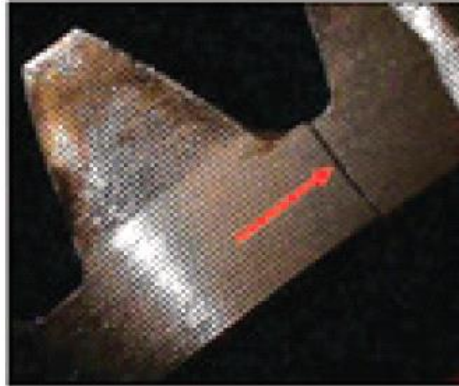
Symptomes	Observations	Causes	Remèdes
<b>N° 3</b> <b>Grippage généralisé (scuffing)</b>	<p>Il y a transfert de métal d'une denture sur l'autre, ou émission de débris.</p> <p>Le grippage généralisé est une usure catactrophique qui modifie l'aspect et la configuration de toutes les dents.</p> <p>On peut avoir un grippage à chaud qui donne des teintes brunes, bleues ou violacées; on rencontre ce cas lorsque l'engrenage tourne vite.</p> <p>Mais on peut aussi avoir un grippage à froid sans coloration des dents. C'est le cas lorsque l'engrenage ne tourne pas très vite.</p> 	<p>Les causes sont toujours liées au lubrifiant</p> <p>Il y a toujours soit rupture du film d'huile, soit un manque de lubrifiant qui génère le grippage.</p> 	<p><b>A la conception</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Utiliser des surfaces rectifiées et polies.</li> <li>2. Eviter les basses vitesses.</li> </ol> <p><b>Au démarrage</b></p> <p>Si possible, travailler les 10 premières heures à moitié de charge.</p> <p><b>A l'utilisation</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pour les engrenages à très basse vitesse il faut éviter les lubrifiants avec des additifs sulfuro-phosphoreux. Mais on peut utiliser d'autres additifs "anti-scuff" ou anti-grippage.</li> <li>2. Il est recommandé d'utiliser un lubrifiant refroidi à haute viscosité.</li> <li>3. Le reniflard doit être régulièrement nettoyé.</li> </ol>

Symptomes	Observations	Causes	Remèdes
<b>N° 4</b> <b>Usure abrasive</b> <b>(abrasive wear)</b>	<p>Il y a abrasion quand des particules sont arrachées de la pièce la plus tendre sans se souder à l'autre pièce. Les surfaces présentent des sillons de profondeur variable parallèles au déplacement.</p> 	<p>Généralement on distingue deux modes d'usure par abrasion :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. L'abrasion à deux corps : la pièce la plus dure râpe la plus tendre.</li> <li>2. L'abrasion à trois corps, dans laquelle des éléments plus durs que les pièces s'incrudent dans la pièce la moins dure</li> </ol> 	<p><b>A la conception</b>  Minimiser en prévoyant des dentures dures avec un lubrifiant à haute viscosité.</p> <p><b>Au démarrage</b>  Vidanger après 50 heures . Remplacer le filtre.</p> <p><b>En utilisation</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Prévenir en remplaçant les filtres et en nettoyant le reniflard fréquemment.</li> <li>2. Minimiser en gardant une grande propreté durant les opérations de maintenance.</li> <li>3. Changer le lubrifiant une fois par an.</li> <li>4. Faire faire des analyses d'huile une fois / 6 mois, avec spectrographie, analyse de ferrographie et analyse au niveau des acides, de la viscosité et de la présence d'eau.</li> </ol>

Symptomes	Observations	Causes	Remèdes
<b>N° 5</b> <b>Poli-miroir</b>	<p>Il s'agit d'une plastification partielle des dents, ce qui donne une brillance.</p> <p>En principe cela témoigne d'un bon fonctionnement.</p> <p>Mais en cas de surcharges et de lubrification inadaptée la température peut monter et favoriser des grippages.</p>	<p>La présence d'additifs EP à base de sulfures, d'ammoniac ou de bore facilite la formation d'un "poli-miroir".</p>	<p>Si la température a tendance à monter :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Utiliser moins d'additifs EP.</li> <li>2. Enlever les éléments abrasifs par une filtration fine, ou en renouvelant plus fréquemment l'huile.</li> </ol>



Symptomes	Observations	Causes	Remèdes
<b>N° 6</b> <b>Déformation</b> <b>plastique</b> <b>par roulage</b>	<p>Il s'agit d'une déformation de la denture essentiellement au niveau de la roue menante.</p> 	<p>Ce phénomène apparait presque toujours sur des dentures non traitées.  L'engrenage devient bruyant.  Une rupture de denture est à craindre.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Eliminer les surcharges, et prévoir si nécessaire un limiteur de couple.</li> <li>2. Amener une huile plus visqueuse.</li> <li>3. Vérifier les alignements, notamment au niveau des accouplements GV et PV.</li> </ol>

Symptomes	Observations	Causes	Remèdes
<b>N° 7</b> <b>Déformation</b> <b>plastique</b> <b>par martelage</b> <b>ou</b> <b>Casse</b> <b>ou</b> <b>Fissurations</b>	<p>On observe des sillons importants sur les dents.</p> 	<p>La cause en est presque toujours une surcharge brutale.</p> 	<p><b>1. Eliminer les surcharges, et prévoir si nécessaire un limiteur de couple.</b></p> <p><b>2. Vérifier les alignements, notamment au niveau des accouplements GV et PV.</b></p> 

## Défaillances de Garnitures mécaniques

**Opérations à effectuer avant démontage** ( si la machine n'est pas déjà arrêtée ) :

- S'il y a un fluide barrage : noter la différence de pression avec le fluide véhiculé.
- S'il y a un quench : noter sa pression.
- Noter la température et débit du liquide de circulation.

**Opérations à effectuer pendant et après démontage**

- Noter :  
conditions d'utilisation : produit – vitesse – pression  
conditions de montage : sens de rotation – ressort conique – vis de pompage  
encrassements anormaux, pertes de fluide.
- Vérifier :  
serrages et fixations.
- Récupérer :  
particules ( fluide de refroidissement – fluide perdu )  
tous les éléments dont joints toriques.

Ne jamais nettoyer une garniture avant diagnostic.

Amener l'ensemble à l'atelier dans un récipient propre pour démontage complet et diagnostic.

### Diagnostic

Voir l'analyse ci-après



FUIITE OU AUTRE ANOMALIE !	
TYPE DE GARNITURE	A VERIFIER D'ABORD
Garniture avec ressort conique	Le sens de montage préconisé par le constructeur est-il respecté ?
Garniture avec vis de pompage	Le sens de montage préconisé par le constructeur est-il respecté ?
Garniture simple effet avec circulation sans quench	La circulation paraît-elle normale ?
Garniture simple effet avec quench	La circulation paraît-elle normale en débit ?
Garniture double effet	La pression de barrage doit être de 1,5 bar à 2 bars plus élevée que la pression maximale dont il faut assurer l'étanchéité
	La température de sortie doit être inférieure à 60°C Sinon vérifier : le débit le refroidissement ( réglage-fonctionnement-purge de l'air) la qualité du fluide barrage (voir couleur - particules) éventuellement l'appariement des bagues de frottement

REPARATION	
CONSTAT	A VERIFIER
Bagues de frottement en bon état, sans crasse	Les joints toriques doivent être bien serrés : 5 à 12% de compression latérale
	Jointure de l'enveloppe extérieure des joints toriques à double enveloppe PTFE : placer contre le sens de montage
	Joints toriques en PTFE massif : cause à explorer dans le cas des hautes pressions et températures intermittentes
	Garnitures compensées ( $k < 1$ ) sont sujettes à ouverture dans les cas suivantes : conditions de marche intermittentes variations de vitesses, de pressions changements de températures poussées par à-coups en direction radiale
	Garnitures non compensées : les coups de bélier peuvent se faire ressentir désagréablement

Bagues de frottement encrassées	Propreté, mouillage (proscrit) au montage
	Qualité du liquide de circulation ou de barrage
	Conception s'il s'agit d'une garniture simple effet : un double effet ne se justifie-t-il pas ?
Bagues de frottement fendues aux changements de section	Montage : trop brutal des dispositifs de blocage
	Utilisation : oscillations avec pulsations et coups de bélier
	Conception : ajustements frettés et pressés sont menacés durant l'arrêt de la garniture changement de section à angle vif
	Surcharge thermique ( voir liquide de refroidissement )
Bagues de frottement ont des zones brûlées, avec des éclats, des fissures	Phénomène dû à une surcharge thermique A voir : liquide de refroidissement pression excessive pour la garniture vitesse excessive pour la garniture appariement des matériaux
Bagues fendues à l'endroit de points de centrage	Phénomène dû à des sollicitations par à coups et surcharges locales A voir : qualité des emplacements au montage qualité du montage des systèmes de blocage oscillation avec pulsations et coups de bélier
Bagues de frottement avec fissures de tensions thermiques résultant de soudures	Fissures surtout dans la direction radiale. Lors de l'emploi du carbone métallisé associé à un métal, il peut arriver que par dépassement de la température d'utilisation admissible, les deux matériaux se soudent
Bagues de frottement usées par déformations	L'usure peut être normale ou accidentelle A vérifier : précautions de montage qualité des réparations
Bagues de frottement bloquées par le produit polymérisé	Produit véhiculé est plastifiant : à l'arrêt de la pompe il peut se polymériser contre les bagues  Dans ce cas, il vaut mieux un démarrage manuel et progressif de la pompe, plutôt qu'un démarrage automatique et instantané

Bagues de frottement rayées	Produit véhiculé est plastifiant : à l'arrêt de la pompe il peut se polymériser contre les bagues Dans ce cas, il vaut mieux un démarrage manuel et progressif de la pompe, plutôt qu'un démarrage automatique et instantané
	Voir le liquide de refroidissement : éventuellement vidanger, et remplacer ou nettoyer les filtres
	Voir l'appariement des matériaux
Usure régulière et normale, mais durée de vie anormale	Si le fluide perdu est noirci par des particules de matériaux érodés : rugosités trop grandes
	Sinon voir : pression de frottement élevée forte température du produit accroissement des vitesses

## Défaillances de Pompes hydrauliques

Bien que le dépannage consiste avant tout en une analyse de fonctionnement du système ( d'où l'intérêt de bien connaître les différents types de pompes hydrauliques ), on constate que des causes types reviennent assez souvent.

La liste suivante est un guide à ce sujet.

### → On ne monte pas en pression :

- Un corps étranger bloque une soupape en position ouverte.
- Une soupape est détarée : limiteur de pression ou autre.
- Le circuit n'impose pas un freinage suffisant pour monter en pression : moteur tournant à vide par exemple.
- Le débit s'échappe par un centre ouvert ou tandem du distributeur.

### → Le débit est insuffisant :

- La pompe tourne dans le mauvais sens.
- La pompe tourne trop lentement.
- La crépine n'est pas immergée.
- Le filtre est encrassé.
- L'huile est trop épaisse.
- Il y a une entrée d'air importante :
  - .- sur l'alimentation : raccord desserré,
  - .- sur la pompe : joint détérioré, etc...

### → Cas particuliers

#### Pompes à engrenages

- Si le rendement volumétrique diminue : le jeu de fonctionnement entre dents et flasques est trop important, ce qui favorise les fuites du refoulement vers l'aspiration.
- Si le rendement mécanique n'est pas bon : le jeu de fonctionnement entre dents et flasques est trop faible, ce qui augmente les frottements.

Quand il y a une compensation hydrostatique, il convient d'agir sur le ressort en appui sur le flasque mobile.

#### Pompes à vis

- Dans le cas de fuites : vérifier l'état des joints à lèvres.

### **Pompes à palettes**

- Fuites :
  - .- état du joint à lèvres,
  - .- usure ou encrassement de la plaque de poussée.

### **Pompes à pistons en ligne**

L'état du fluide est important.

Des pertes de rendement peuvent être dues à l'état des clapets d'aspiration ou de refoulement.

## Défaillances de Courroies

Symptôme	Causes et remèdes
Elongation au delà des possibilités de rattrapage	<p>Elongation inégale d'une courroie à l'autre : transmission mal alignée : à retensionner, ou cordes de traction cassées : jeu à remplacer.</p> <p>Elongation à peu près égale : possibilité de rattrapage insuffisante, ou transmission largement surchargée.</p>
Durée insuffisante des courroies	<p>Cordes de traction endommagées lors d'une installation incorrecte.</p> <p>Ou gorges de poulies usées.</p> <p>Ou transmission mal calculée.</p>
Les courroies émettent un bruit	<p>Grillage de protection mal placé.</p> <p>Ou courroies détendues.</p> <p>Ou un corps étranger dans les gorges.</p>
Vitesse de la poulie menée incorrecte	<p>Erreur de calcul de la transmission.</p> <p>Ou courroies à retensionner (traces de brûlures sur l'enrobage : les courroies patinent)</p>
Paliers surchauffés	<p>Transmission exagérément tendue : gorges de poulies usées ; tensionnement incorrect.</p> <p>Ou les courroies patinent et échauffent : à retensionner.</p> <p>Ou poulies trop petites.</p> <p>Ou mauvais état des paliers.</p> <p>Ou poulies placées trop loin.</p>
Les courroies se retournent dans les gorges	<p>Vibrations latérales excessives : utiliser de préférence des courroies assemblées.</p> <p>Ou corps étrangers dans les gorges des poulies.</p> <p>Ou poulies mal alignées.</p> <p>Ou gorges de poulies usées (v. calibre)</p> <p>Ou cordes de traction déchirées lors d'une installation incorrecte : jeu à remplacer.</p> <p>Ou galet plat mal placé.</p>
Courroie cassée	<p>Choc violent sous tension : retirez l'objet cause du choc.</p> <p>Ou la courroie a quitté la transmission : voir alignement de la transmission ; voir présence éventuelle d'un corps étranger ; voir tension de la courroie.</p>
Flancs de la courroie crevassent	<p>Galet extérieur trop petit</p> <p>Ou température de fonctionnement trop haute : aérez la transmission.</p> <p>Ou vibrations anormales : équilibrez la transmission.</p>

## Aides aux diagnostics de défaillances : défaillances de courroies

Usure des angles et de l'extérieur	La courroie se déchire au contact d'un obstacle quelconque.
Usure des flancs	Patinage continu : retensionnez. Ou mauvais alignement. Ou poulies usées. Ou courroie inadéquate.
Flancs et base de la courroie brûlés	Courroie patine au démarrage ou à l'arrêt du moteur : remplacez la courroie et tensionnez. Poulies usées.
Enrobage écaillé – Flancs mous et gluants – Profil gonflé – Mauvaise adhérence entre couches d'enrobage	Huile ou graisse sur les courroies ou poulies. Éliminez la source de l'huile ou de la graisse. Nettoyez avec un chiffon imbibé d'un produit dégraissant non inflammable et non toxique, ou d'un détergent quelconque et d'eau.
Courroie coupée dans sa base	La courroie a fonctionné en appui sur les bords de la poulie avant d'être éjectée : vérifiez tension et alignement de la transmission, après remplacement de la courroie retensionnez et réalignez correctement. Ou un corps étranger s'est glissé dans la transmission. Ou la courroie a été forcée lors de l'installation.
La base de la courroie est profondément craquelée	La courroie patine : installez une nouvelle courroie en veillant au bon tensionnement. Ou galet tendeur installé du mauvais côté de la courroie. Ou stockage incorrect.
<b>CAS PARTICULIERS DES COURROIES ASSEMBLEES</b>	
La bande de jonction se sépare des courroies	Poulies usées
Un brin tourne hors des gorges de poulies Fente ouverte dans le brin extérieur	Mauvais alignement, sous-tension ou corps étranger
Brin extérieur et brin adjacent commencent à se séparer	Tension incorrecte, mauvais alignement ou corps étranger ont forcé la courroie à quitter sa position normale.
Tous les brins séparés de la bande de jonction	Courroie tourne en dehors et au sommet de la gorge. Ou trop lâche, faisant contact avec le grillage de protection. Ou galet tendeur usé.
Sommet de la bande de jonction effiloché ou endommagé	Un obstacle interfère avec la course normale de la courroie.
Sommet de la bande de jonction boursoufflé ou déchiré	Débris et corps étrangers s'accumulent entre les brins de la courroie.





## Tableaux causes - effets

	Page
Pompe.....	100
Mixeur ou agitateur.....	101
Réducteur.....	102
Ventilateur centrifuge.....	103
Soufflante.....	104
Vanne commandée manuellement.....	105
Vanne pilotée.....	105
Vanne commandée par solénoïde.....	106 ..
Compresseur centrifuge.....	107
Compresseur rotatif.....	109

# Aides aux diagnostics de défaillances : tableaux causes - effets

Pompe													
	Effets												
Causes	Pression obtenue insuffisante	Pompage intermittent	Capacité insuffisante	Pas de liquide fourni	Température élevée des roulements	Durée de vie des roulements trop courte	Durée de vie trop courte de la garniture mécanique	Fortes vibrations	Bruit élevé	Appel de puissance excessif	Défauts moteur	Élévation de température du moteur	Élévation de température du liquide
Arbre plié													
Cavitation													
Débit insuffisant à travers la pompe													
Déformation de la pompe en raison d'une trop grande tension de la courroie													
Désalignements													
Entrée d'air													
Filtre partiellement bouché													
Fuites dans la tuyauterie et les vannes													
Garniture mécanique impropre													
Gravité spécifique trop grande													
Instabilité hydraulique													
Mauvais sens de rotation													
Moteur ( ou turbine ) déséquilibré													
NPSH insuffisant (pression d'aspiration insuffisante)													
Obstructions dans la ligne ou dans la pompe													
Problèmes électriques du moteur													
Rotor déséquilibré													
Roue encombrée													
Roue mal montée													
Roulements défectueux													
Tête de pompe trop grande par rapport à la conception prévue													
Usure interne													
Viscosité trop grande													
Vitesse trop basse													
Vitesse trop grande													
Volume aspiré insuffisant													

Mixeur ou Agitateur							
Causes	Effets						
	Tourbillon visible en surface	Mélange incomplet du produit	Vibration excessive	Usure excessive	Moteur trop chaud	Trop grande demande de puissance	Trop de défaillances de roulements
Arbre trop long							
Corps abrasifs dans le produit							
Ensemble tournant déséquilibré ou endommagé							
Mauvais sens de rotation							
Montage du mixeur/agitateur trop bas							
Montage du mixeur/agitateur trop haut							
Montage du mixeur/agitateur trop près d'un côté ou d'un coin							
Température du produit trop basse							
Viscosité du produit trop grande							
Vitesse trop basse							
Vitesse trop grande							

Réducteur									
	Effets								
Causes	Défaillance de l'engrenage	Variations dans le couple d'entraînement	Puissance de sortie insuffisante	Roulements trop chauds	Trop faible durée de vie des roulements	Surcharge du moteur	Fortes vibrations	Bruit important	Défauts moteur
Accouplements usés									
Arbre plié									
Corps étranger dans le réducteur									
Couple excessif									
Défaut de lubrification									
Désalignement des engrenages ou du réducteur									
Desserrages									
Distance incorrecte entre arbres									
Eau ou liquide dans le réducteur									
Engrenages mal montés sur les arbres									
Fondation instable									
Jeu d'engrenages non adapté à l'application									
Mauvais sens de rotation									
Moteur endommagé									
Roulements usés									
Surcharge									
Trop grande ou trop faible tension de courroie									

Ventilateur centrifuge										
	Effets									
	Pression insuffisante	Travail intermittent	Débit insuffisant	Roulements trop chauds	Durée de vie des roulements insuffisante	Surcharge sur le moteur	Fortes vibrations	Bruit élevé	Trop fort appel de puissance	Défauts moteur
Causes										
Accouplement usé										
Arbre plié										
Corps étranger causant un déséquilibre										
Corps étrangers dans les roulements										
Défauts de bobinage au moteur										
Désalignements : roulements, accouplement, courroies ou la roue										
Desserrages										
Entrée mal réglée										
Entrée ou sortie d'air défectueuse										
Fondation instable										
Fuites d'air dans le système										
Garniture trop serrée										
Grande chaleur externe										
Instabilité aérodynamique										
Mauvais sens de rotation										
Moteur endommagé										
Roue déformée dans la volute										
Roue du ventilateur mal équilibrée										
Roue endommagée										
Roue montée à rebours sur l'arbre										
Roulements mal lubrifiés										
Roulements usés										
Sortie du ventilateur plus grande que la capacité prévue										
Tension de courroie trop faible										
Tension de courroie trop grande										
Trop de graisse dans les roulements										
Variations à l'entrée d'air										
Vibrations venant de l'extérieur										
Vitesse trop faible										

Soufflante										
	Effets									
Causes	Débit nul	Pression insuffisante	Débit insuffisant	Usure trop grande	Température trop haute	Vibrations et bruit excessifs	Trop fort appel de puissance	Défauts moteur	Température élevée du moteur	Température élevée de l'air
Accouplement desaligné										
Corps étrangers dans l'air ou le gaz										
Filtre d'entrée bouché										
Fuite d'air à l'entrée										
Insuffisance d'air ou de gaz à l'entrée										
Mauvais sens de rotation										
Panne du moteur										
Porosité des tuyauteries dans le système										
Pression de sortie trop grande										
Température d'entrée trop grande / humidité										
Usure interne des organes										
Vitesse trop faible										

Vanne commandée manuellement							
	Effets						
Causes	La vanne ne s'ouvre pas	La vanne ne se ferme pas	La vanne "repasse"	Fuite à la tige	Perte sous forte pression	Ouvertures/fermetures trop rapides	Ouvertures/fermetures trop lentes
Corps étrangers sur le siège de la vanne							
Dégât mécanique							
Entaille							
Etanchéité mauvaise							
Pression dans la ligne trop grande							
Serrage de la garniture trop faible							
Serrage de la garniture trop fort							
Tige de vanne courbée							
Usure trop grande							
Vanne sous-capacitive							
Vis endommagée							

Vanne pilotée							
	Effets						
Causes	La vanne ne s'ouvre pas	La vanne ne se ferme pas	La vanne "repasse"	Fuite à la tige	Perte sous forte pression	Ouvertures/fermetures trop rapides	Ouvertures/fermetures trop lentes
Corps étrangers sur le siège de la vanne							
Dégât mécanique							
Entaille							
Pilot bloqué							
Pression du pilot trop grande							
Pression du pilot trop faible							

Vannes commandée par solénoïde							
	Effets						
Causes	La vanne ne s'ouvre pas	La vanne ne se ferme pas	La vanne "repasse"	Fuite à la tige	Perte sous forte pression	Ouvertures/fermetures trop rapides	Ouvertures/fermetures trop lentes
Bobinage défectueux							
Corps étrangers sur le siège de la vanne							
Corrosion							
Défaillance du solénoïde							
Dégât mécanique							
Entaille							
Mauvais type de vanne (N-O, N-C)							
Pression du pilot trop grande							



Compresseur centrifuge									
	Effets								
Causes	Vibrations excessives	Variations de débit du compresseur	Perte de pression en sortie	Pression d'huile de lubrification trop basse	Température de l'huile des paliers trop haute	Les composants ne restent pas alignés	Perte de charge persistante	Présence d'eau dans l'huile	Défauts moteur
Accouplement sec									
Accouplement usé ou déréglé									
Arrivée d'huile à la pompe bouchée									
Composant tombé									
Composants mal assemblés									
Condensation dans le réservoir d'huile									
Débit insuffisant									
Défaillance des pompes									
Défaillance d'un capteur de température ou d'un switch									
Dépôts accumulé sur le diffuseur									
Dépôts accumulés sur le rotor /pollution									
Desalignement de l'arbre									
Desserrage ou perte d'un boulon									
Filtre à huile bouché									
Fuite dans la tuyauterie									
Fuite dans la tuyauterie d'huile									
Fuite de la tuyauterie de refroidissement									
Fuite d'huile									
Gauchissement de la fondation ou plaque de base									
Jeu trop important du roulement									
Mauvaise qualité de l'huile									
Niveau d'huile trop bas au réservoir									

Compresseur centrifuge ( Suite )									
Causes	Effets								
	Vibrations excessives	Variations de débit du compresseur	Perte de pression en sortie	Pression d'huile de lubrification trop basse	Température de l'huile des paliers trop haute	Les composants ne restent pas alignés	Perte de charge persistante	Présence d'eau dans l'huile	Défauts moteur
Plage de vitesse critique									
Réglage incorrect de la vanne de régulation de pression									
Résistance plus grande du système									
Rotor déformé ( la cause est un refroidissement brusque)									
Rotor endommagé									
Rotor mal équilibré									
Roulements usés ou endommagés									
Sympathetic vibration									
Température interne importante									
Tuyauterie poreuse									
Vanne de décharge mal réglée ou mal ouverte									
Vibration									
Vitesse du compresseur trop basse									
Vitesse trop basse de la pompe à huile									

Compresseur rotatif ( lobes, palettes ou vis )										
Causes	Effets									
	Pas de fourniture d'air ou de gaz	Pression insuffisante	Capacité insuffisante	Usure excessive	Température excessive	Bruit et vibrations excessifs	Trop grand appel de puissance	Défauts moteur	Température élevée du moteur	Température élevée de l'air ou du gaz
Aspiration insuffisante d'air ou de gaz										
Corps étrangers dans l'arrivée de l'air ou du gaz										
Filtre d'entrée encombré										
Fuite d'air à l'aspiration										
Mauvais alignement de l'accouplement										
Panne du moteur (ou de la turbine)										
Pression excessive										
Rotation dans le mauvais sens										
Serrage d'un élément tournant										
Soupape de décharge ouverte ou mal réglée										
Température à l'entrée / humidité										
Tension de la tuyauterie sur le compresseur										
Usure interne des organes										
Vitesse trop faible										



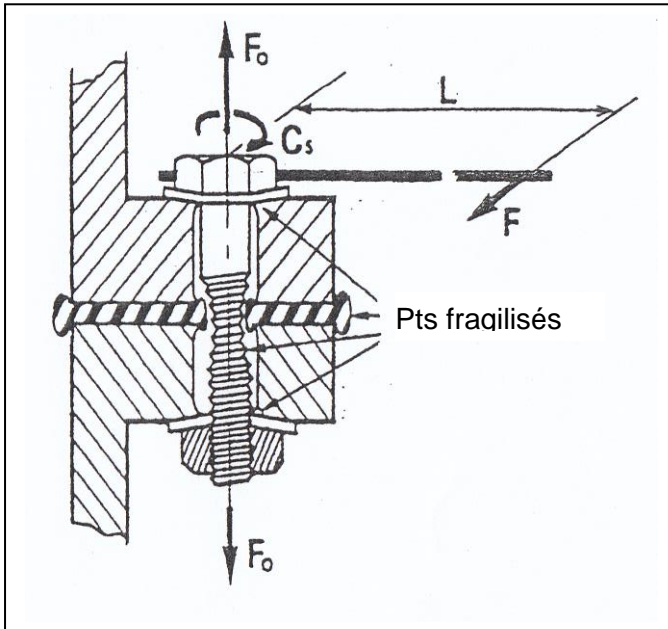
# Règles de l'art en maintenance

	Page
<b>Serrages.....</b>	<b>113</b>
<b>Roulements et coussinets.....</b>	<b>116</b>
<b>Joints.....</b>	<b>132</b>
<b>Accouplements.....</b>	<b>141</b>
<b>Chaînes et courroies.....</b>	<b>156</b>
<b>Tuyauterie et robinetterie.....</b>	<b>161</b>
<b>Pompes et turbines.....</b>	<b>171</b>
<b>Hydraulique.....</b>	<b>188</b>
<b>Pneumatique.....</b>	<b>203</b>
<b>Divers.....</b>	<b>207</b>
<b>Sécurité.....</b>	<b>237</b>
<b>Stockage.....</b>	<b>242</b>
<b>Tolérances ISO.....</b>	<b>249</b>



## Serrages

**Avec le graissage, le respect des tolérances, les serrages font partie des 3 règles de l'art fondamentales de la mécanique.**



La fiabilité des assemblés vissés nécessite la maîtrise des opérations de serrage.

L'ensemble vis-écrou est soumis à trois principaux types de contraintes

- les serrages excessifs
- les vibrations
- les écarts de température

Lors d'un serrage trop puissant le corps de vis a tendance à s'étirer jusqu'à l'approche du point de rupture.

D'autre part, les vis insuffisamment bloquées risquent de se desserrer dans des ensembles mécaniques qui, la plupart du temps, sont soumis à des vibrations. **Les règles suivantes doivent être impérativement respectées :**

- ✓ Tout écrou ( non bloquant ) doit être bloqué :
  - ✓ contre-écrou,
  - ✓ rondelle éventail,
  - ✓ goupille ou fil de blocage,
  - ✓ point de colle (loctite) pour les vis à tête fraisée ou parker.
- ✓ La vis doit avoir une longueur supérieure de 2 à 3 filets à l'épaisseur de l'écrou.
- ✓ Une plaque de montage doit être bien fixée par deux boulons ou plus.
- ✓ Les serrages doivent être vérifiés régulièrement.
- ✓ Pour les serrages critiques, le contrôle de la position de l'écrou n'est pas suffisant. Sous l'effort, le corps de vis peut progressivement s'allonger ; pour le contrôle il faut donc pratiquer un resserrage.
- ✓ Il ne faut jamais laisser une vis cassée en l'état, car le système est fragilisé.  
Il faut utiliser un extracteur et la remplacer  
( à l'instant ou lors d'un prochain arrêt programmé ;  
cela doit donc être impérativement signalé )



## Règles de l'art en maintenance : serrages

- ✓ Les couples de serrage sont à respecter, notamment pour les diamètres forts qui nécessitent obligatoirement l'utilisation de clés dynamométriques ou hydrauliques comme le montrent les tableaux ci-après.

Par ailleurs :

- ✓ La clé à molette doit être proscrite car elle détériore les pans des écrous et vis.
- ✓ Repérez tout montage ( coup de pointeau ou trait d'un marqueur ) avant démontage, pour éviter toute erreur au remontage.
- ✓ Veillez à vérifier tout travail lorsqu'il est terminé, même si le temps presse.

Le tableau de couples ci-après permet de connaître les couples de serrage (C en m.daN, ou Kgm) pour une contrainte totale égale à 85 % de la limite élastique de l'acier de la vis (Re en daN par mm<sup>2</sup>).

Pour connaître la valeur en fonction du diamètre de vis, il convient de se référer à la classe de qualité du boulon à serrer :

CLASSE	Résistance à la rupture Rm en daN.N/mm <sup>2</sup>	Limite élastique Re en daN/mm <sup>2</sup>
6,8	60	48
8,8	80	64
10,9	100	90
12,9	120	108

Les valeurs de couples sont données pour un coefficient de frottement moyen  $\mu = 0,15$  qui est celui de la visserie noire ou zinguée, lubrification sommaire (état de livraison).

Pour un  $\mu = 0,10$  (visserie phosphatée ou zinguée, lubrification adaptée de bonne qualité) les chiffres sont à multiplier par 0,76.

Pour un  $\mu = 0,20$  (visserie revêtue ou non, montage à sec) les chiffres sont à multiplier par 1,18.

### COUPLES DE SERRAGE A APPLIQUER EN FONCTION DES CLASSES ET DIAMETRES DE VIS

CLASSE	Dia VIS	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
	PAS	0,5	0,7	0,8	1	1,25	1,5	1,75	2	2	2,5	2,5	2,5	3
	PLAT	5,5	7	8	10	13	16	18	21	24	27	30	34	36
6,8	C	0,1	0,2	0,4	0,7	2	3	6	10	15	20	29	40	50
8,8	C	0,1	0,3	0,6	1	3	5	8	13	20	27	39	53	67
10,9	C	0,2	0,4	0,8	1	3	7	12	19	29	40	57	78	98
12,9	C	0,2	0,5	1	2	4	8	14	22	34	47	67	92	115



## Règles de l'art en maintenance : serrages

CLASSE	Dia VIS	27	30	33	36	39	42	45	48	52	56	60	64	68
	PAS	3	3,5	3,5	4	4	4,5	4,5	5	5	5,5	5,5	6	6
	PLAT	41	46	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
6,8	C	74	100	137	175	228	282	353	425	549	680	848	962	1123
8,8	C	99	134	182	234	304	376	471	566	732	907	1130	1283	1497
10,9	C	145	197	267	343	446	553	692	832	1074	1333	1660	1884	2199
12,9	C	170	230	313	402	522	647	809	974	1257	1559	1943	2205	2573

CLASSE	Dia VIS	72	76	80	85	90	95	100	110	115	120
	PAS	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	PLAT	105	110	115	120	130	135	145	155	165	170
6,8	C	1310	1347	1388	1558	1766	1962	2213	2636	2808	3198
8,8	C	1747	1796	1851	2078	2355	2316	2951	3515		
10,9	C	2566	2638								
12,9	C										

Dia VIS : mm    PAS DE VIS : mm    COTE SUR PLAT DE TETE DE VIS OU D'ECROU : mm

C : COUPLE A APPLIQUER : m.daN ou Kgm

CLE DYNAMOMETRIQUE : Diamètre de vis à partir de 18 mm (plat 27 mm)

CLE HYDRAULIQUE : Diamètre de vis à partir de 30 mm (plat 46 mm)

# Roulements et coussinets

	Page
Préparation au montage d'un roulement.....	117
Chauffage d'un roulement.....	119
Montage d'un roulement.....	120
Détermination d'un jeu par défaut.....	123
Montage en O ou en X.....	124
Roulement rotulant à galets à alésage conique.....	125
Roulement rotulant à billes à alédage conique.....	127
Démontage d'un roulement.....	128
Utilité des pattes d'araignée.....	130
Contrôle du jeu d'un coussinet.....	131

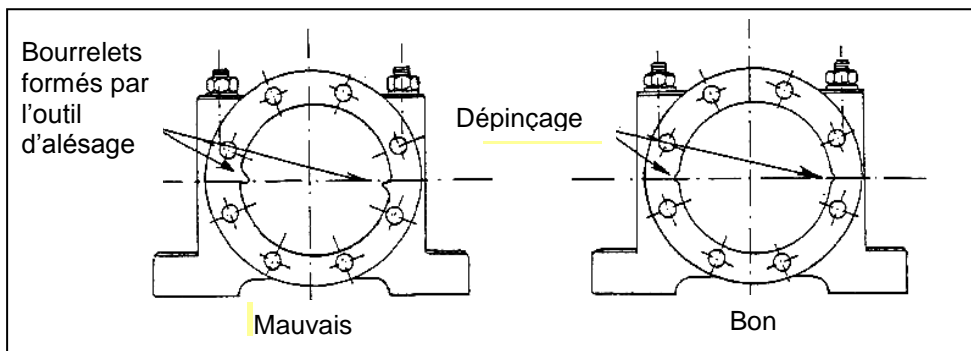
## Préparation au montage d'un roulement

### Etat de surface

Une finition par rectification est recommandée.

Les coups d'outils, les ressauts et les copeaux sont à éliminer car ils déforment les roulements diminuent leur durée de vie.

Logements de bagues extérieures en 2 parties : ils doivent être soigneusement vérifiés pour éliminer les points saillants.



### Propreté

Quand toutes les pièces ont été vérifiées et trouvées dans les tolérances recommandées et avant le montage des roulements, les logements, arbres et autres pièces adjacentes aux roulements et aux systèmes d'étanchéité doivent être soigneusement nettoyés.

On utilisera un fil d'acier et une brosse métallique pour nettoyer les conduits et orifices de lubrification.

Les roulements doivent être laissés dans leur emballage d'origine et emmagasinés dans un endroit propre et sec jusqu'au moment de leur utilisation. Il n'est pas nécessaire de retirer la graisse de protection avant d'effectuer le montage; cette graisse est parfaitement miscible avec tout type de lubrifiant utilisé. Dans les cas où, pour faciliter le réglage, il est préférable d'avoir des roulements propres, on utilisera l'une des méthodes suivantes.

### Petits roulements

- a. Pétrole : sans séchage ou essuyage, il a l'avantage de protéger un certain temps les roulements contre l'oxydation.
- b. Essence : dégraisse plus vite que le pétrole mais, outre le danger d'incendie présenté par son emploi, elle dessèche les roulements ce qui nécessite leur trempage dans de l'huile ou de la graisse de protection après séchage.
- c. White-spirit : idem
- d. Tri- ou perchloréthylène : idem, mais sans danger d'incendie.

### Gros roulements

- a. Huile minérale pure de 4 à 6°E à 50 °C, chauffée à 130 - 150°C.  
Les roulements sont trempés dans l'huile chaude et rincés dans de l'huile soluble à 5% chauffée à 90°-95°C ; quand les roulements sont secs, ils peuvent être trempés dans de l'huile ou de la graisse de protection.

b. Solutions de trisilicate de sodium, phosphate trisodique, carbonate de sodium, etc... chauffées à 90 - 100°C ( 20 - 25g par litre d'eau )

Très économiques pour les gros roulements très sales. Quand les roulements sont secs, ils doivent être trempés dans de l'huile ou de la graisse de protection.

c. Eau chaude ou vapeur Formellement déconseillée par suite du risque d'oxydation.

Dans le cas où les roulements seraient séchés par un jet d'air, bien vérifier que cet air n'est pas humide, et **ne pas faire tourner le roulement à grande vitesse avec le jet d'air.**

## Chauffage d'un roulement

Si les bagues de roulements sont serrées sur l'arbre, elles doivent être chauffées avant mise en place. Une température de 80 à 100°C est suffisante : en aucun cas supérieure à 120°C (175°C est le début du revenu de l'acier à roulements)

Les différentes méthodes de chauffage sont les suivantes.

### Bain d'huile

Cette méthode garantit un chauffage uniforme et la température de 80 à 100°C peut être sûrement respectée. Il faut placer une grille au fond du bac à huile pour que le roulement ne s'échauffe pas inégalement.

On prendra donc une huile minérale de viscosité moyenne ( 5 à 8° Engler à 50°C ), ayant un point d'inflammabilité supérieur à 225°C, avec, en addition des inhibiteurs d'oxydation et des dopes anti-corrosion. Ne pas utiliser de vieille huile ou d'huile de récupération d'origine ou de propreté douteuse : risques d'incendie, oxydation des roulements

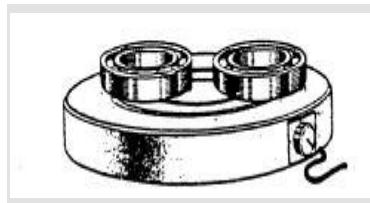
Important : le bac devra avoir un couvercle maintenu fermé en dehors des périodes d'utilisation et facilement manœuvrable à distance en cas d'inflammation accidentelle de l'huile.

### Armoire chauffante

Une méthode très sûre et très propre consiste à chauffer les roulements dans une armoire chauffante dont la température est réglée par thermostat. L'inconvénient est que le chauffage dans l'air chaud dure relativement longtemps.

### Plaque chauffante

Le roulement doit être retourné plusieurs fois afin d'assurer un bon chauffage



### Chauffage par induction

L'appareil de chauffage par induction permet de façon à la fois rapide et propre de porter les roulements à la température de montage.

Mais il y a le risque d'un échauffement superficiel de l'acier extrêmement rapide pendant que l'intérieur du métal reste froid.

On peut ne pas dilater suffisamment les bagues ou, si la dilatation est suffisante, on risque de détremper superficiellement le métal.

### Cas des roulements « graissés à vie »

Les roulements avec joints et avec déflecteurs sont déjà garnis de graisse. Les roulements à monter peuvent être **chauffés à 80°C maximum**, mais pas dans le bain d'huile.

### Cas des roulements de précision

- - lampe électrique d'éclairage 200—300W,
- - méthodes mentionnées ci-dessus.

Dans tous les cas la température ne doit jamais dépasser 100°C. Pour des ajustements faibles ou moyens, un chauffage de 65 à 70°C est suffisant.

## Montage d'un roulement

**DE TROP NOMBREUSES DEFAILLANCES PREMATUREES DE ROULEMENTS SONT DUES A DES DEFAUTS DE MONTAGE OU A DES MANQUES DE SOIN LORS DE CELUI-CI.**

**IL NE FAUT JAMAIS FRAPPER DIRECTEMENT SUR LE ROULEMENT  
L'EFFORT DE MONTAGE NE DOIT EN AUCUN CAS ETRE TRANSMIS PAR LES  
ELEMENTS ROULANTS**

Le graphite colloïdal, ou le bisulfure de molybdène facilitent les montages et démontages.

### Roulements non démontables

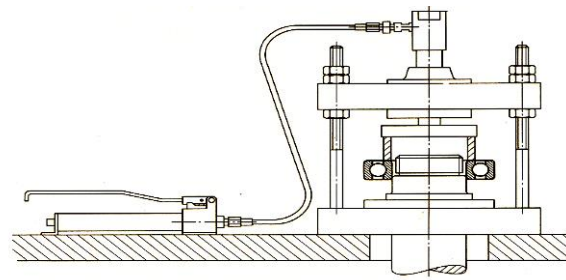
#### 1. Cas le plus courant

Il faut faire appliquer l'effort sur la bague qui doit être montée ou démontée ; si pour monter la bague intérieure on appuie sur la bague extérieure, les éléments roulants transmettent l'effort et il y a risque de détérioration des chemins de roulement et des corps roulants.

Généralement, on met d'abord en place la bague dont l'ajustement est le plus serré. Différentes méthodes possibles

#### **Presse hydraulique**

C'est le cas le plus recommandé.



#### **Ecrou hydraulique**

Le même résultat peut être obtenu avec un écrou hydraulique quand c'est possible.

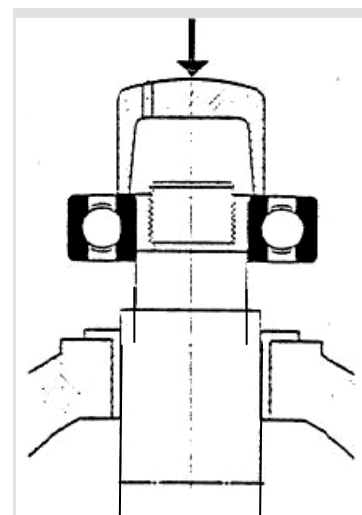
#### **Coups de marteau**

Dans le cas de roulements de petites dimensions et de faibles serrages, l'emmanchement peut être fait à petits coups de marteau appliqués, par l'intermédiaire d'un rond ou d'un tube en acier doux.

Utilisez de l'acier doux et non de l'étéiré trempé ou des jets de bronze. L'étéiré trempé abîmera le roulement et le bronze s'effritera facilement en introduisant les particules dans le roulement ou derrière la face de ce roulement.

#### **Douilles de frappe**

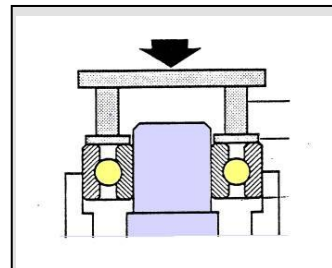
L'emploi de douilles de frappe permet un effort de montage bien centré.



## 2. Mise en place simultanée sur l'arbre et dans le logement

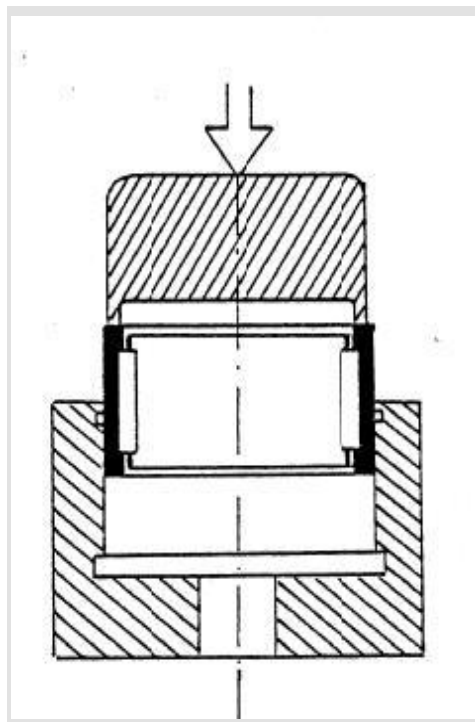
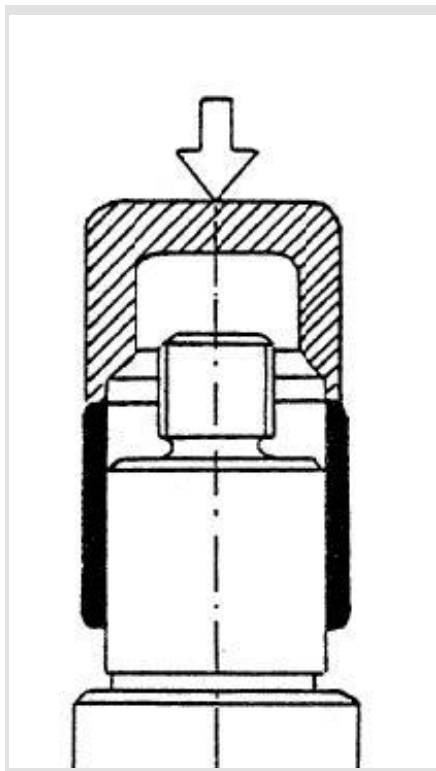
Lorsqu'un roulement non séparable doit être mis en place simultanément sur l'arbre et dans le logement, il convient de disposer entre la douille de frappe et le roulement une rondelle qui répartit l'effort de montage sur les deux bagues.

Ce système est employé également pour éviter le déversement, en cours de montage, de la bague extérieure d'un roulement à rotule et son coincement dans le roulement.



## Roulements démontables

Dans le cas de roulements démontables, le montage est plus simple : les deux bagues peuvent être montées séparément.



Si l'on ne peut se procurer les outillages mentionnés ci-dessus, des barres d'acier doux peuvent être utilisées pour pousser les bagues. Utilisez de l'acier doux et non de l'acier trempé ou des jets de bronze. L'acier trempé abîmera le roulement et le bronze s'effritera facilement en introduisant les particules dans le roulement ou derrière la face de ce roulement, l'empêchant ainsi de venir correctement en appui contre l'épaule.

## Montage par contraction

Pour les logements en métal léger, il est recommandé de refroidir la bague extérieure dans un mélange de glace carbonique et d'alcool.

Mais les roulements étant fragiles, il ne faut jamais descendre en dessous d'environ 55°C.

Il existe un moyen permettant d'éviter ce refroidissement pour les logements en aluminium : l'utilisation du "Lubrikote".

## Paliers flottants

Certains montages comportent 2 paliers composés chacun de 2 roulements. Dans un cas les roulements sont bloqués, dans l'autre ils sont « flottants » pour absorber les dilatations.

Attention à ne pas bloquer le palier flottant.

## Butées

Les bagues d'arbre de butées sont normalement montées glissantes ou dans des cas exceptionnels serrées. Par contre, les bagues de logement sont exclusivement montées glissantes. Dans le cas de butées à double effet, la bague d'arbre est bloquée axialement. Le réglage du jeu axial se fait de la même manière que pour les roulements à billes à contact oblique et les roulements à rouleaux coniques.

## Réglage

Les roulements à billes à contact oblique et les roulements à rouleaux coniques doivent être montés par paires. Le jeu axial est réglé au montage. Deux méthodes :

- **Les roulements sont entretoisés.**
- **Les roulements ne sont pas entretoisés et doivent être réglés.**

Méthode de réglage :

1. Déterminez la position du constituant réglable pour un jeu 0
2. Reculez ou avancez le dispositif selon que l'on souhaite du jeu ou de la précharge. Faites reculer d'autant le constituant réglable.

La valeur du jeu est déterminée par la rotation de l'écrou ou du couvercle suivant le pas de filetage, ou par l'adjonction ou le retrait de cales d'épaisseurs convenables.

En cas de précharge, le moyen le plus simple pour obtenir le meilleur réglage est d'utiliser une clé dynamométrique. L'écrou de réglage doit être serré avec le moment prévu (en mètre - kilogramme )

## Remarques importantes

Dans le cas d'un montage avec jeu, il est nécessaire de faire tourner les éléments pendant le réglage de façon à ce que les différents constituants se mettent bien en place.

La mesure du couple se fera obligatoirement sans joint et avec transmission déconnectée ; la présence d'une huile épaisse est également prohibée, mais cependant les roulements doivent être légèrement gras.

## Contrôle du montage

Quelle que soit la méthode utilisée, il sera nécessaire de vérifier, avec une cale en clinquant de 0,04 mm, si chaque bague porte bien sur son épaulement.

Dans le cas d'un montage par dilatation, ce contrôle se fera après un complet refroidissement.

Si l'appui de la bague de roulement sur son épaulement n'est pas correct, pressez de nouveau ou « sonnez » avec un tube ou un mandrin approprié.

## Essai après montage et réglage

Il faut procéder à un essai de marche. On écoute le fonctionnement des roulements, en appliquant l'oreille contre le manche d'un tournevis, par exemple, appuyé sur le palier. On peut aussi utiliser un appareil de mesure du bruit des roulements.

Un sifflement est l'indice d'une lubrification défectueuse, tandis qu'une marche bruyante et irrégulière est probablement due à la présence de matières étrangères dans le roulement.

Surtout aux vitesses élevées, on doit observer lors de l'essai de marche, l'élévation de température. On peut en effet juger d'après la température que prennent les roulements si le montage est correct et si le lubrifiant est approprié en quantité et en qualité.



## Détermination d'un jeu par défaut

Les roulements à contact oblique (billes ou galets), qui se montent par paire, ont un jeu qui se mesure axialement.

En dehors d'une documentation du constructeur, les valeurs ci-après sont une référence pour des duretés de service moyennes.

Circonférence de la collerette du cône en mètre		Dans les cases : jeu latéral en 0,001 mm																
		48	68	88	108	128	148	168	188	208	228	248	268	288	308	328		
		1,6	45	64	83	102	121	140	159	178	197	216	235	254	273	292	311	
		1,5	42	60	78	96	114	132	150	168	186	204	222	240	258	276	294	
		1,4	39	56	73	90	107	124	141	158	175	192	209	226	243	260	277	
		1,3	36	52	68	84	100	116	132	148	164	180	196	212	228	244	260	
		1,2	33	48	63	78	93	108	123	138	153	168	183	198	213	228	243	
		1,1	30	44	58	72	86	100	114	128	142	156	170	184	198	212	226	
		1,0	27	40	53	66	79	92	105	118	131	144	157	170	183	196	209	
		0,9	24	36	48	60	72	84	96	108	120	132	144	156	168	180	192	
		0,8	21	32	43	54	65	76	87	98	109	120	131	142	153	164	175	
		0,7	18	28	38	48	58	68	78	88	98	108	118	128	138	148	158	
		0,6	15	24	33	42	51	60	69	78	87	96	105	114	123	132	141	
		0,5	12	20	28	36	44	52	60	68	76	84	92	100	108	116	124	
		0,4	9	16	23	30	37	44	51	58	65	72	79	86	93	100	107	
		0,3	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72	78	84	90	
		0,2	3	8	13	18	23	28	33	38	43	48	53	58	63	68	73	
		0,1																
		100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000 1100 1200 1300 1400																
		Vitesse à la collerette du cône en mètres/minute																

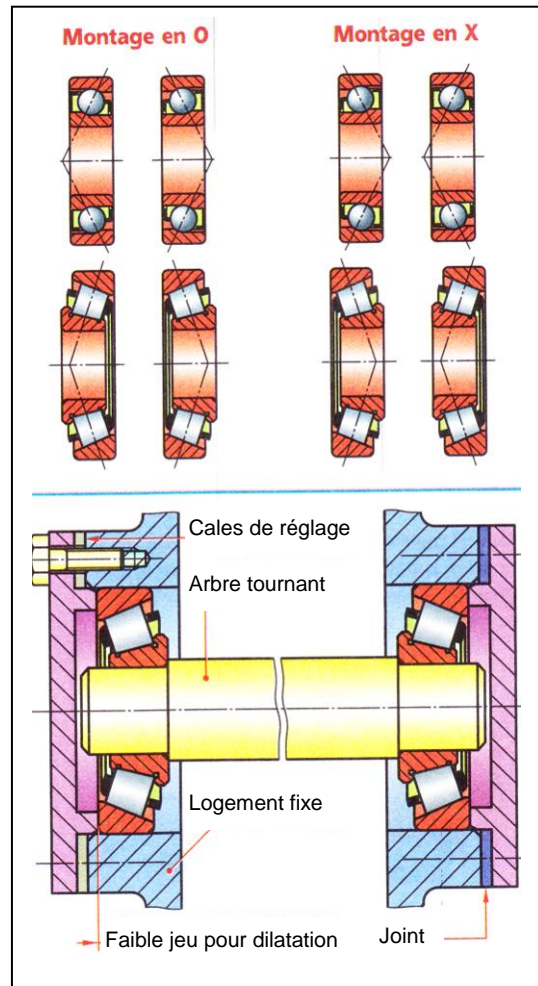
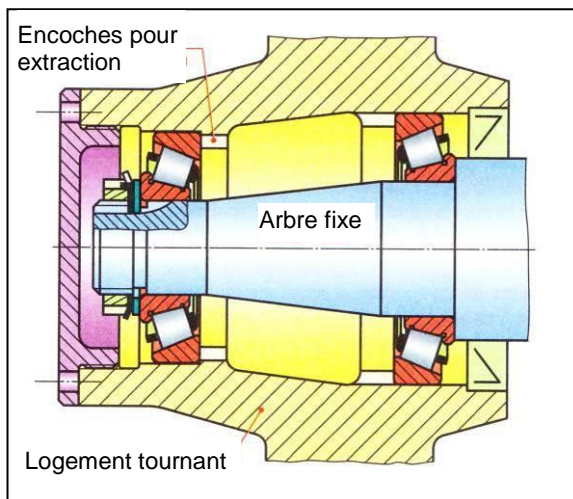
## Montage en O ou en X

Les roulements à contact oblique sont habituellement utilisés par paires, montés en opposition. La position axiale de l'arbre est déterminée par les 2 roulements. Les conditions de montage obéissent à des règles particulières.

Pour les cas usuels, on distingue deux principaux types de montage :

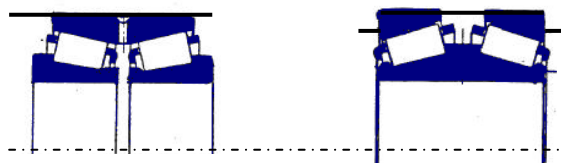
- le montage en X  
Il est habituellement utilisé dans le cas d'un arbre tournant : figure ci-contre.
- le montage en O  
Il est habituellement utilisé dans le cas d'un logement tournant : figure ci-après

Le montage de ces roulements nécessite un réglage du jeu de fonctionnement. Il doit être effectué en agissant sur les bagues coulissantes des rouls.



Sur les arbres d'une certaine longueur, on utilise parfois des montages avec 2 roulements doubles. L'un est du type X et il est bloqué. L'autre est du type O et il est libre en translation pour absorber les dilatations.

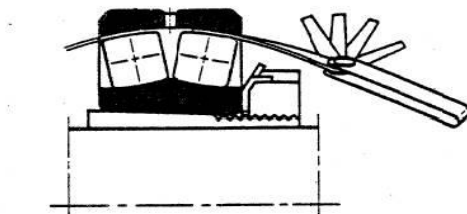
Lors des montages, veillez à garder cette liberté en translation, sous peine d'avoir une grave défaillance.



### Roulement rotulant à galets à alésage conique

Les roulements avec alésage conique sont montés, soit directement sur la portée d'arbre conique, soit sur arbre cylindrique avec interposition d'un manchon de serrage ou de démontage. Les portées des roulements, de l'arbre et des manchons ne doivent être que légèrement huilées. Lors de la marche, l'huile a tendance à sortir et l'on perd l'avantage du serrage ; la bague ou le manchon glisse et les surfaces de contact sont détériorées.

Lors du montage du roulement sur le cône, la bague intérieure se dilate et le jeu radial est donc diminué. La réduction du jeu radial est, par conséquent, une bonne indication pour le serrage de la bague intérieure.



#### Mesurer le jeu radial avant montage

Placer le roulement verticalement sur une surface de travail propre.

Faire tourner de quelques tours la bague intérieure afin que les rouleaux se mettent correctement en place.

Mesurer le jeu en glissant des cales d'épaisseurs calibrées entre le rouleau le plus haut et la bague extérieure. Effectuer la mesure au niveau de chacune des deux rangées et prendre la valeur moyenne.

#### Calculer le jeu résiduel

Les valeurs de réduction à appliquer au jeu avant montage sont données au verso.

En aucun cas, le jeu résiduel ne devra être inférieur à la valeur minimale figurant dans le tableau.

#### Lors du montage, contrôler le jeu

Enfoncer le roulement sur sa portée. Contrôler fréquemment le jeu pendant l'enfoncement. Effectuer la mesure dans la zone déchargée.

#### Mesure de l'enfoncement axial

Pour les petits roulements, ou lorsque l'espace est limité et ne permet pas la mesure du jeu au cours du montage, le serrage correct peut être obtenu en contrôlant l'enfoncement axial de la bague intérieure sur sa portée.

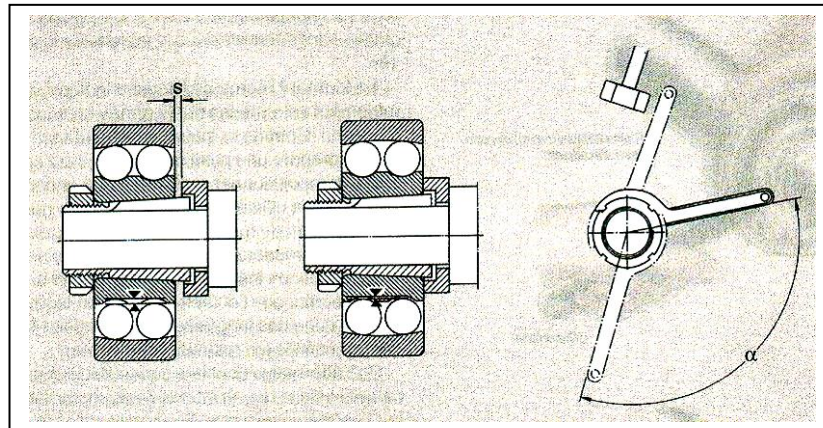
Diamètre d'alésage		Réduction du jeu radial		Enfoncement axial mm				Jeu résiduel minimal après montage		
>	<	min	max	Conicité 1 : 12		Conicité 1 : 30		Normal	C3	C4
mm		µm		min	max	min	max	µm		
24	30	15	20	0,3	0,35			15	20	35
30	40	20	25	0,35	0,4			15	25	40
40	50	25	30	0,4	0,45			20	30	50
50	65	30	40	0,45	0,6			25	35	55
65	80	40	50	0,6	0,75			25	40	70
80	100	45	60	0,7	0,9	1,7	2,2	35	50	80
100	120	50	70	0,75	1,1	1,9	2,7	50	65	100
120	140	65	90	1,1	1,4	2,7	3,5	55	80	110
140	160	75	100	1,2	1,6	3,0	4,0	55	90	130
160	180	80	110	1,3	1,7	3,2	4,2	60	100	150
180	200	90	130	1,4	2,0	3,5	5,0	70	100	160
200	225	100	140	1,6	2,2	4,0	5,5	80	120	180
225	250	110	150	1,7	2,4	4,2	6,0	90	130	200
250	280	120	170	1,9	2,7	4,7	6,7	100	140	220
280	315	130	190	2,0	3,0	5,0	7,5	110	150	240
315	355	150	210	2,4	3,3	6,0	8,2	120	170	260
355	400	170	230	2,6	3,6	6,5	9,0	130	190	290
400	450	200	260	3,1	4,0	7,7	10,0	130	200	310
450	500	210	280	3,3	4,4	8,2	11,0	160	230	350
500	560	240	320	3,7	5,0	9,2	12,5	170	250	360
560	630	260	350	4,0	5,4	10,0	13,5	200	290	410

## Roulement rotulant à billes à alésage conique

En général, la méthode est basée sur l'angle de serrage  $\alpha$  ou sur le déplacement axial  $s$ .

En tournant l'écrou de l'angle  $\alpha$  indiqué, le roulement sera pressé sur la portée conique du manchon. Comme le roulement a tendance alors à prendre une position oblique, il est conseillé de repositionner la clé dans une encoche à 180° de celle utilisée pour serrer, puis de donner un léger coup de marteau sur la clé. Le roulement se redressera sur sa portée. On enlève ensuite l'écrou, on insère la rondelle-frein et on replace l'écrou que l'on serre et que l'on bloque en repliant l'une des languettes de la rondelle-frein. Vérifier enfin le jeu résiduel du roulement.

Une alternative consiste à mesurer le déplacement  $s$  de la bague intérieure du roulement sur la portée conique au lieu d'utiliser l'angle de serrage.



Dia. alésage roult	Angle de serrage	Déplacement axial $s$ Séries :				Jeu résiduel Jeu initial :	
d	$\alpha$	12K	13K	22K	23K	Norm.	C3
mm	degrés	mm	mm	mm	mm	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$
20	70	0,22	0,23	-	-	10	20
25	70	0,22	0,23	0,22	0,23	10	20
30	70	0,22	0,23	0,22	0,23	10	20
35	70	0,30	0,30	0,30	0,30	10	20
40	70	0,30	0,30	0,30	0,30	10	20
45	70	0,31	0,34	0,31	0,33	15	25
50	70	0,31	0,34	0,31	0,33	15	25
55	90	0,40	0,41	0,39	0,40	15	30
60	90	0,40	0,41	0,39	0,40	15	30
65	90	0,40	0,41	0,39	0,40	15	30
75	120	0,45	0,47	0,43	0,46	20	40
80	120	0,45	0,47	0,43	0,46	20	40
85	120	0,58	0,60	0,54	0,59	20	40
90	120	0,58	0,60	0,54	0,59	20	40
95	120	0,58	0,60	0,54	0,59	20	40
100	120	0,58	0,60	0,54	0,59	20	40
105	120	0,67	-	0,66	-	25	55
110	120	0,67	0,70	0,66	0,69	25	55
120	120	0,67	-	-	-	25	55

## Démontage d'un roulement

### Bague intérieure grippée sur l'arbre

Chauffez la bague au chalumeau sans échauffer l'arbre. Arroser la bague au jet d'eau.

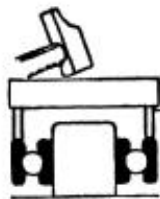
### Bague destinée à être récupérée

Il faut apporter beaucoup de soins dans le démontage d'un roulement qui sera réutilisé. Il faut surtout appliquer le dispositif d'extraction sur la bague à arracher ; car sinon les éléments roulants risquent de laisser des empreintes dans les chemins de roulements.

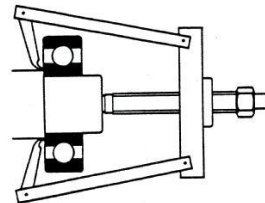
Dans le cas de roulements non dissociables, on retire d'abord la bague montée glissante. Le démontage de la bague montée avec serrage nécessite le plus souvent des efforts plus élevés que lors du montage en raison de l'adhérence qui croît avec le temps.

Extraction défectueuse d'un roulement serré sur l'arbre

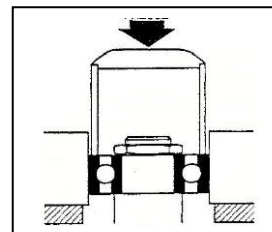
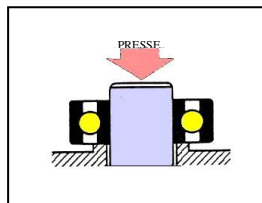
Tube en appui sur la bague extérieure



Démontage correct



Si on ne dispose pas d'un extracteur, on peut se servir d'un étau, la bague intérieure reposant sur un support au-dessus des mâchoires, et l'arbre étant suspendu librement entre elles. L'effort d'extraction est exercé soit à la masse, soit à la presse.

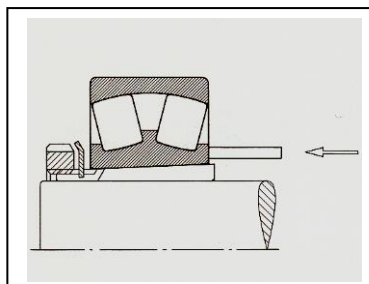


Démontage d'un roulement par légers coups de marteau.  
A gauche: mauvais. A droite : bon

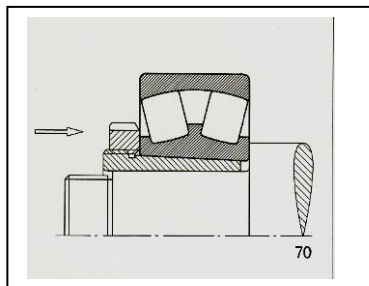


## Démontage de roulements avec manchons de démontage

Démontage d'un roulement à rotule sur rouleaux avec manchon de serrage

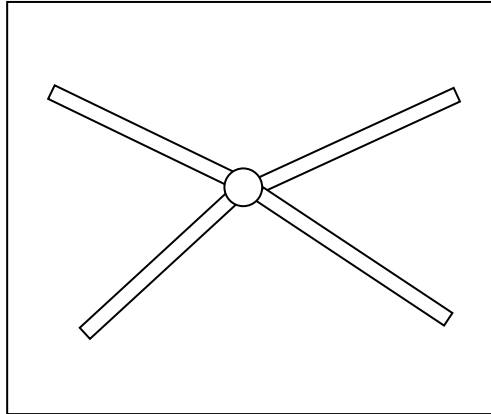


Extraction d'un manchon de démontage avec écrou de pression

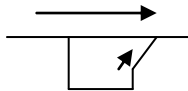


## Utilité des pattes d'araignée

Les « pattes d'araignée » sont des saignées, de faible profondeur, que l'on pratique dans un coussinet ou une glissière pour amener la graisse, à partir d'un orifice d'arrivée, entre les deux parties en mouvements.



Pour faciliter la pénétration de la graisse, il est nécessaire de chanfreiner ou d'arrondir au moins l'un des bords ( dans le sens du mouvement) de chaque saignée.





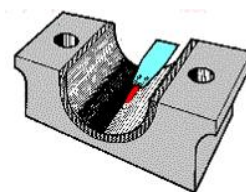
## Contrôle du jeu d'un coussinet

Le contrôle du jeu d'un coussinet se pratique par la technique du « **Plastigage** »

On détermine la valeur du jeu diamétral en mesurant la largeur d'un fil de dimensions connues après écrasement.

Il est recommandé de poser le fil plastique dans l'eau chaude pour le ramollir ; ensuite le fil est placé à sec sur le palier du vilebrequin puis écrasé lors de la mise en place et serrage au couple recommandé du chapeau de palier

Une fois le chapeau déposé, on mesure la largeur du fil écrasé grâce à l'échelle imprimée sur l'étui, qui convertit directement cette valeur en jeu.



# Joint

	Page
Montage des joints toriques.....	133
Remplacement d'une garniture à tresse.....	134
Montage d'un joint à lèvre.....	136
Montage des garnitures mécaniques.....	137
Blocage des garnitures mécaniques.....	139
Fluides des garnitures mécaniques.....	140

## Montage des joints toriques

### Anneau d'étanchéité

Pour obtenir le meilleur résultat dans l'emploi des joints toriques :

1. Les surfaces d'usinage du piston, de la gorge et du cylindre doivent être aussi lisses que possible.
2. Les angles doivent être arrondis. Le joint ne doit jamais venir en contact d'angles aigus, de bavures, de filetages.
3. Le jeu entre le piston et le cylindre doit être le plus faible possible.
4. Evitez toute impureté entre les parties coulissantes.

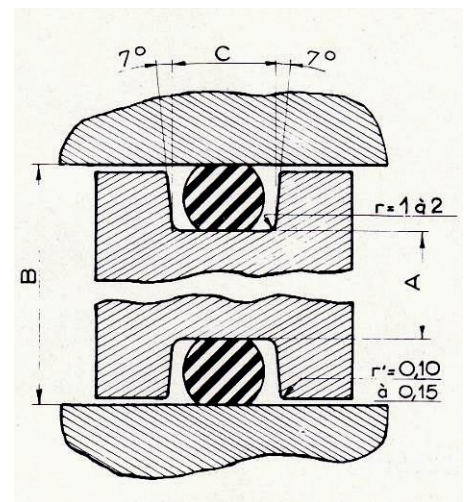
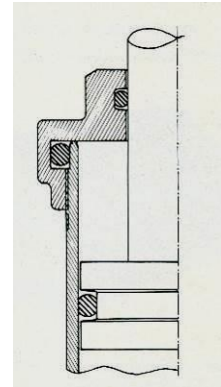
Cotes recommandées :

Diamètre intérieur du joint =  $0,95 A$

Diamètre du tore =  $0,55 (B-A)$  et  $0,9 C$

Pente de la gorge =  $7^\circ$

Compression totale : environ 10 %



### Joint torique statique monté entre brides

Le logement est constitué par une gorge usinée dans la contre-bride. La bride correspondante demeure plate et simplement dressée.

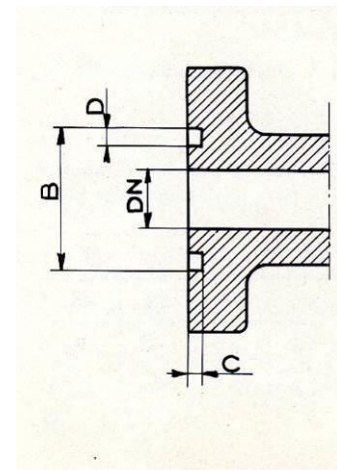
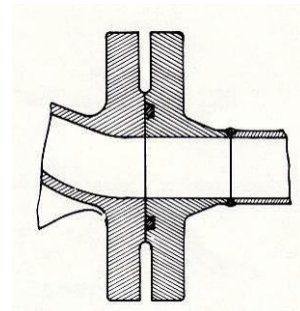
Ce montage permet d'obtenir une étanchéité absolue aux plus hautes pressions de gaz ou de liquides jusqu'à  $120^\circ\text{C}$  même avec un serrage modéré des boulons.

Cotes recommandées :

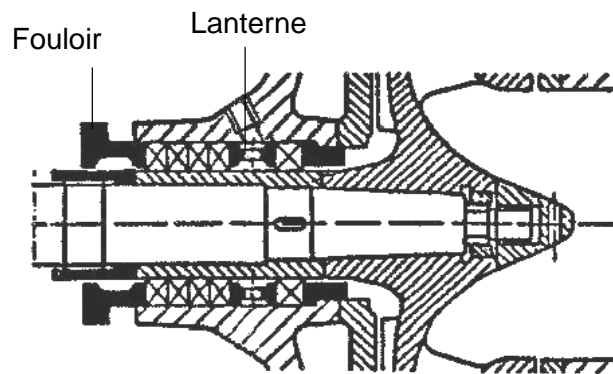
Diamètre extérieur du joint torique =  $B$

Diamètre du tore =  $1,2 C$  et  $= 0,7 D$

Compression : environ 20 %



## Remplacement d'une garniture à tresse



### Mise en service

Une étanchéité par tresses sur un système dynamique a pour but de contrôler les fuites, non de les empêcher

A la mise en service il faut :

S'assurer que le bourrage est arrosé (injection sur lanterne ou par l'intérieur de la machine)

Admettre au démarrage une fuite abondante et resserrer le fouloir lentement jusqu'à environ 15 à 20 gouttes/min

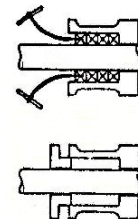
Surveiller l'élévation de température au niveau de la boîte à bourrage. Ne pas admettre une élévation supérieure à 40°C. Dans le cas inverse, desserrer légèrement le fouloir.

En général l'injection sur une lanterne d'arrosage se fait par un piquage au refoulement. En cas de liquides chargés et abrasifs, il est nécessaire d'injecter un liquide clair à une pression supérieure de 1 à 2 bars à la pression de refoulement.

### Remplacement

Retirez soigneusement l'ancienne tresse, en utilisant deux outils d'extraction de la taille correcte, placés de part et d'autre de l'arbre. Enlevez tout vestige de l'ancienne tresse et nettoyez la boîte à garniture.

Vérifiez l'arbre pour s'assurer que le jeu n'excède pas 0,25 mm. La surface de l'arbre autour des anneaux doit être lisse et dépourvue d'aspérité. Les tolérances radiales doivent être de 0,4 mm et 0,25 mm maxi.



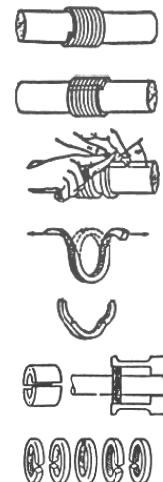
Mesurez la profondeur de la boîte à garniture pour être certain du nombre d'anneaux requis, tout en conservant une entrée pour le fouloir. Vérifiez la position de la lanterne par rapport à l'injection.

Placez la tresse autour de l'arbre. Pour aider à sectionner les anneaux, deux lignes-repères peuvent être tirées sur la spirale parallèlement à l'axe de l'arbre et séparées par une distance égale à celle de la section de la tresse. Coupez les anneaux de la spirale à un angle de 45°, en diagonale par rapport aux lignes-repères. Aucun espace n'est laissé entre les extrémités.

Les anneaux de tresses métalliques ou extrudées sont ouverts en spirales et préparés pour le montage en tirant les bouts de part et d'autre de l'axe.

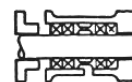
Lorsque les anneaux ne peuvent être ouverts sans risquer d'endommager la section de tresse, on les entaille en sectionnant en diagonale, environ les 2/3 de l'épaisseur de la tresse.

Contrôler le premier anneau pour être sûr qu'il se monte bien, avant de préparer les autres.



Montez chaque anneau de tresse individuellement. On utilise des manchons fendus ou un baton-tasseur pour être sûr que chaque anneau est bien mis à la bonne place. Lorsqu'on utilise des tresses en graphite, ou du fil téflon multi-filaments, les anneaux doivent être glissés dans la boîte et non en poussée.

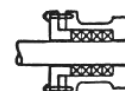
Les joints sont décalés à 120° (en chicane)



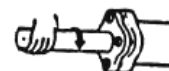
Contrôlez la rotation de l'arbre après montage de chaque anneau de tresse. Si une lanterne est montée, elle doit être correctement positionnée sous la connexion intérieure, permettant une légère compression des anneaux placés au fond.



Positionnez le fouloir en portée contre le dernier anneau de tresse et serrez les boulons également et progressivement à la main.



Tournez l'arbre pour vous assurer qu'il n'est pas en contact avec le fouloir. Serrez les vis du couvercle jusqu'à résistance modérée du mouvement.



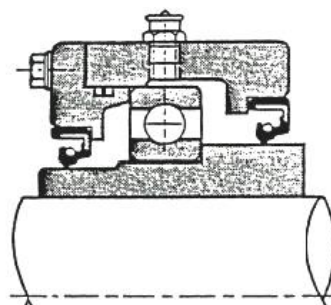
### Montage d'un joint à lèvre

On assiste parfois à des montages dans le mauvais sens des joints à lèvres, ce qui entraîne forcément une défaillance à terme.

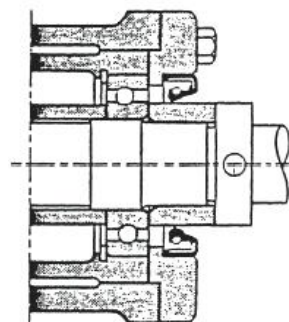
Il faut savoir que :

- un joint à lèvre a une fonction précise : retenir le lubrifiant ou empêcher des entrées extérieures ;
- pour la lubrification à la graisse, il faut veiller à ce que les excès de graisse puissent toujours sortir lors des graissages.

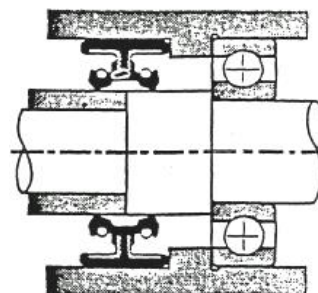
Protection d'un roulement par deux bagues d'étanchéité. Dans le cas où il est prévu un graissage périodique, une des bagues doit avoir sa lèvre tournée vers l'extérieur pour éviter qu'une pression trop élevée puisse s'établir à l'intérieur du palier ; cela permet également d'évacuer le surplus de graisse.



Lubrification à l'huile avec les joints à lèvre tournés vers l'intérieur.



Montage qui permet de séparer deux liquides différents. Il faut introduire de la graisse entre les deux lèvres au montage.



## Montage des garnitures mécaniques

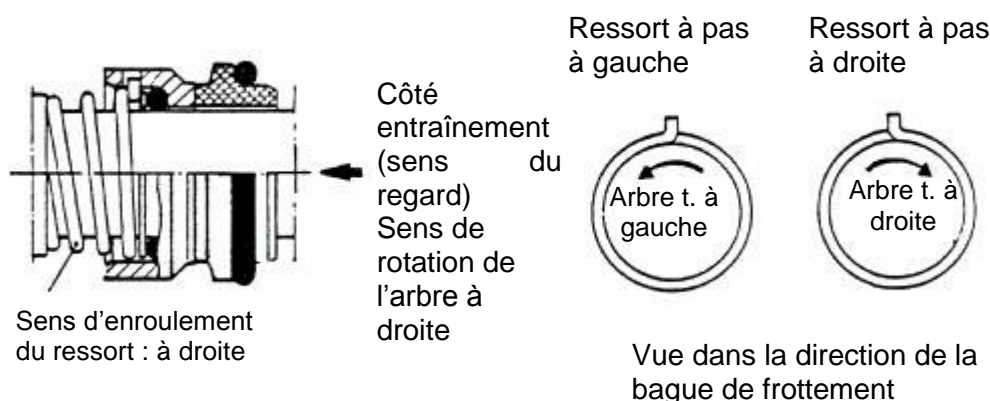
### Sens de rotation

Rappelons que la conception d'une garniture mécanique est indépendante du sens de rotation sauf dans les deux cas suivants :

- conception avec ressort conique,
- conception avec vis de pompage.

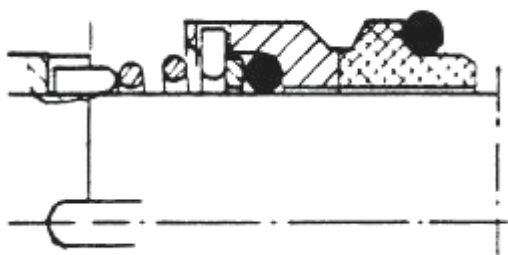
### Ressort conique

En regardant la surface de frottement des parties tournantes de la garniture mécanique, les arbres tournant vers la droite exigent des ressorts à pas à droite, et les arbres tournant vers la gauche des ressorts à pas à gauche.



Pour faciliter le montage, glisser le ressort conique sur l'arbre en le vissant dans le sens d'enroulement du ressort. En « vissant » le ressort de cette façon, on l'ouvre.

Note : pour des changements de brève durée de sens de rotation, la version suivante est parfois proposée.



Entraînement positif du ressort dans l'épaulement d'arbre pour permettre un dévissage accidentel.

### Vis de pompage

Dans tous les cas, il faut impérativement respecter les recommandations du constructeur.

### Propreté

Lors du montage il faut veiller à une propreté scrupuleuse, veiller aussi à ne pas abîmer les faces d'étanchéité ni les joints toriques.

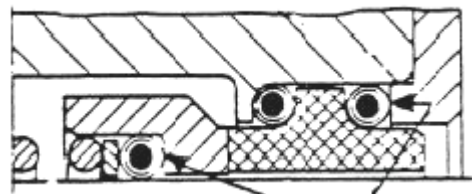
Enlever soigneusement le produit de protection des faces de frottement qu'il y aurait éventuellement, aucune partie restante ne devant se trouver sur les faces.

## Règles générales de montage

- Des instructions de montage sont jointes à toutes les garnitures mécaniques. Il faut observer ces instructions ainsi que les indications du plan de montage complémentaire.
- Pour réduire les forces de frottement lors du montage de la garniture : appliquer une mince couche d'huile ou de graisse au silicone sur l'arbre à l'endroit des joints toriques, sauf s'il s'agit d'une garniture à soufflet en caoutchouc.
- Lors de l'emmanchement des bagues d'étanchéité fixes ( « grains fixes ») il faut veiller à la distribution uniforme de la pression. L'élément d'étanchéité statique ( joint torique ) ne doit être inséré qu'avec de l'eau ou de l'alcool.
- Ne jamais mouiller les faces de frottement avec des lubrifiants : il faut toujours les monter complètement sèches, exemptes de poussières et propres.
- Les garnitures à soufflet en élastomère sont montées sur l'arbre avec de l'eau normale ou étendue avec un produit de lavage.  
Mouillez bien le siège de la garniture et l'arbre.  
Ne pas utiliser de l'huile ou de la graisse !  
Ceci vaut également pour les bagues d'étanchéité insérées avec des embouts en élastomère.
- Garniture à soufflet métallique : ne pas comprimer en bloc. Serrer les vis plusieurs fois à tour de rôle ( pas en croix ) en tenant l'interface le plus uniforme possible.
- La position de montage d'élastomères à double enveloppe PTFE a une grande importance

Il faut veiller à ce que la jointure de l'enveloppe extérieure soit placée contre le sens de montage, faute de quoi l'enveloppe pourrait s'ouvrir ou s'enlever.

Pour éviter des défauts d'étanchéité, il faut éviter à tout prix que la feuille se plie. Ces joints toriques se conservent de préférence montés sur des tubes en carton.



Le joint de l'enveloppe est dirigé contre le sens du montage et inverse à la

← SENS DU MONTAGE



## Blocage des garnitures mécaniques

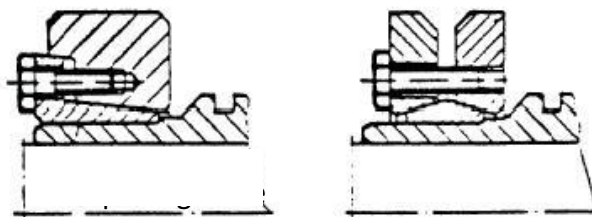
### Systèmes de blocage

Une étanchéité parfaite implique la transmission des couples de l'arbre aux chemises d'arbre et/ou aux pièces tournantes de la garniture dans tous les états de marche. Un montage inadéquat peut entraîner des blocages et des déformations de la garniture.

Dans le cas où un blocage particulier par vis n'a pas été prévu, utilisez des vis sans tête avec un adhésif adéquat (loctite par ex.) après les avoir dégraissées.

### Cas particulier des disques emmanchés

L'emmanchement nécessaire à la transmission du moment de torsion est produit en transformant la force de serrage des vis aux surfaces coniques graissées.



Si les surfaces coniques sont intactes, on peut employer les disques emmanchés à force plusieurs fois ( veiller à la lubrification correcte ).

### Lubrifiant :

Les surfaces coniques et les vis doivent être traitées avec des lubrifiants à haute teneur de bisulfure de molybdène.

### Démontage :

- Desserrez les vis de serrage uniformément et tour à tour. Ne desserrer chaque vis de serrage qu'un quart de tour environ par tour de desserrage.
- Enlevez la rouille qui pourrait s'être formée sur l'arbre devant le manchon.
- Démontez l'arbre ou tirez le manchon d'arbre de celui-ci.
- Tirez le disque emmanché à force du manchon d'arbre.

### Nettoyage et graissage :

Il ne faut pas défaire et regraisser les disques emmanchés à force démontés avant de les resserrés. Seuls les disques encrassés sont nettoyés et graissés.

### Montage :

- Ne jamais serrer les vis de serrage avant d'avoir monté l'arbre.
- Enlevez les pièces d'écartement qui se trouvent entre les bagues extérieures pour le transport.
- Dégraissez l'alésage du manchon d'arbre et de l'arbre.
- Glissez le disque emmanché à force sur le manchon d'arbre ( la surface extérieure de ce manchon peut être graissée ).
- Montez l'arbre ou glissez le manchon d'arbre sur l'arbre.
- Serrez toutes les vis de serrage uniformément et tour à tour

## Fluides des garnitures mécaniques

### Fluide de barrage ( garnitures double effet )

Le fluide de barrage doit être exempt de matières solides, ne doit pas former de dépôts, doit avoir un point d'ébullition aussi haut que possible, une bonne conductivité thermique, et une viscosité réduite.

La sortie du fluide de barrage est prévue au point le plus haut du compartiment d'étanchéité pour éviter une formation éventuelle de bulles de gaz.

Avant la mise en service des garnitures mécaniques à double effet, la circulation du fluide de barrage doit être assurée.

La pression de barrage doit être de l'ordre de 2 bars ( 1,5 est un minimum ) au-dessus de la pression interne à étancher.

Le débit doit être réglé de façon que la température de sortie ne dépasse pas 60°C.

### Arrosage par « quench

Avec un blocage correspondant de la bague fixe, la pression du quench ne doit pas dépasser 1 bar.

### Purge de l'air

Purgez soigneusement l'air hors de la chambre de barrage après le montage de la garniture double, surtout s'il s'agit d'une garniture qui ne peut se purger automatiquement, ou qui ne le peut que dans certaines conditions, par exemple : garniture à double effet avec système de pression de barrage.

# Accouplements

	Page
Accouplements : mesure avec règle et calibre.....	142
Accouplements : mesure avec comparateurs.....	144
Accouplements : mesure avec laser.....	150
Accouplements : réglages.....	153

### Accouplements : mesure avec règle et calibre

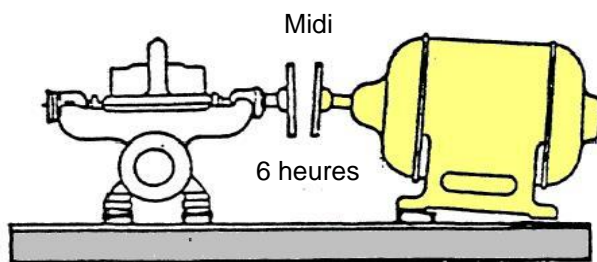
Les désalignements sont causes de l'arrêt prématuré de plus de 50% des machines accouplées.

#### Mesure d'un défaut d'alignement angulaire

Il faut toujours commencer par faire la mesure des défauts d'alignement angulaire.

Supposons que la face du moyeu du moteur soit le cadran d'une montre. Pour quelqu'un qui regarde le moyeu moteur, le haut est à midi, le bas à six heures, etc... Il faut faire les mesures à midi, trois heures, six heures et neuf heures en se servant soit d'un calibre en coin, soit d'une règle. Pour éviter d'avoir à refaire les mesures, tous les résultats doivent être consignés au fur et à mesure.

La figure ci-dessous correspond à un cas où les mesures à trois heures et à neuf heures donnent les mêmes résultats. Cela veut dire que l'alignement horizontal angulaire de l'ensemble est correct. Cependant, la valeur mesurée à midi est plus grande qu'à six heures. L'alignement vertical angulaire est donc mauvais.



#### Mesure d'un défaut d'alignement parallèle

On peut faire la mesure d'un défaut d'alignement parallèle au moyen d'une règle et d'un calibre en coin ou à lames.

On fait les mesures à midi, trois heures, six heures et neuf heures comme pour un défaut d'alignement angulaire. Lors de la mesure, la pompe et le moteur doivent être bien fixés sur le bâti.

Commencez à midi en posant la règle au travers des moyeux. Si elle repose à plat sur les deux moyeux, c'est que l'alignement est bon à cet endroit.

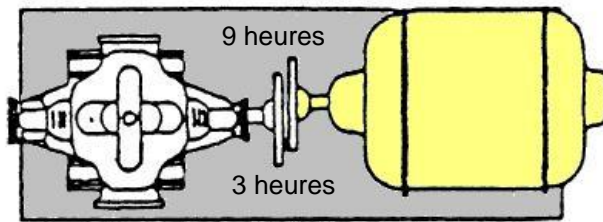
S'il y a un espace entre la règle et un des moyeux, mesurez-le avec le calibre en coin.

S'il n'y a pas assez d'espace libre pour faire la mesure avec le calibre en coin, servez-vous d'un calibre à lames.

N'oubliez pas de noter les résultats de chaque mesure immédiatement.

Sur l'ensemble représenté ci-après, il n'y a pas de problème d'alignement à midi et à six heures. L'alignement vertical parallèle est correct.

Mais à trois heures et à neuf heures par contre, les deux moyeux sont décalés et il y a donc un défaut d'alignement horizontal parallèle.



## Accouplements : mesure avec comparateurs

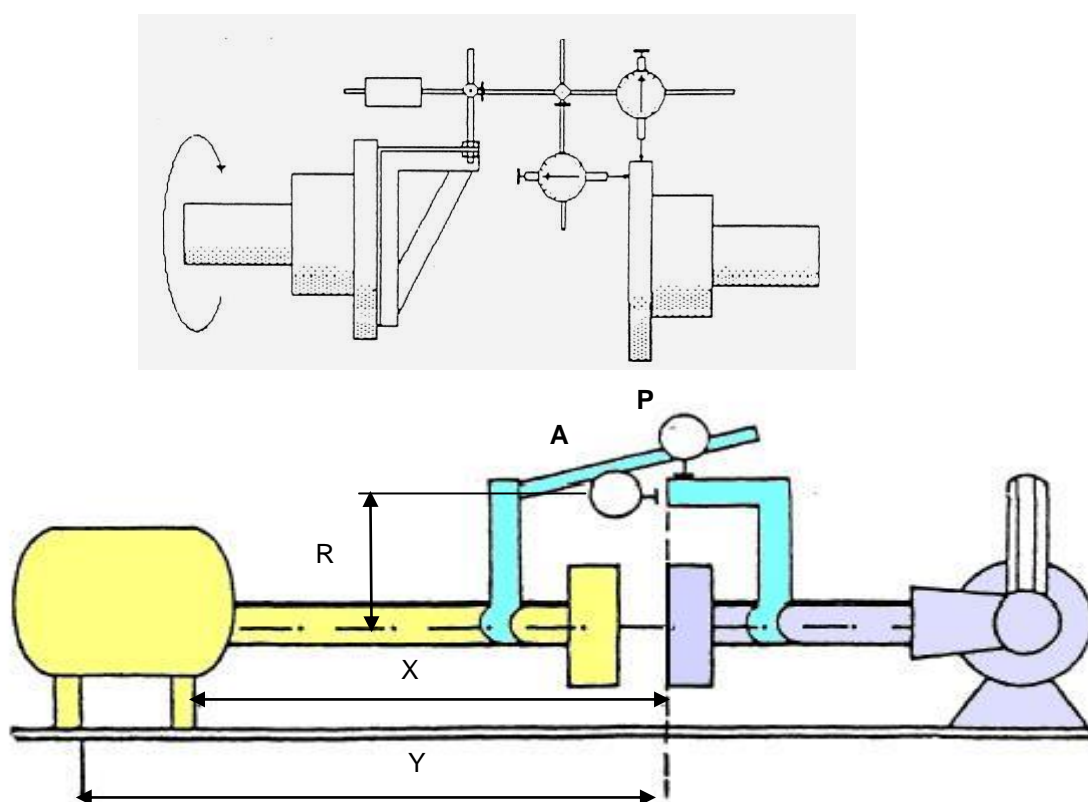
### Montage des comparateurs

Quand les moyeux sont usés sur les bords, il est souvent très difficile de faire une mesure précise du défaut d'alignement en se servant d'une règle et d'un calibre en coin. Lorsque cela se produit, on fait les mesures avec deux comparateurs.

Cette méthode permet de mesurer les défauts d'alignement avec une bonne précision.

Un comparateur mesure les défauts angulaires et l'autre les défauts parallèles. Pour la mesure, il faut deux potences avec mâchoires de serrage incorporées.

Schéma de montage



**X** : Distance entre l'extrémité de la potence en L et les pieds côté intérieur.

**Y** : Distance entre l'extrémité de la potence en L et les pieds côté extérieur.

**R** : Distance entre le comparateur et l'axe de l'arbre.

**A** ou **P** : Valeur lue sur le comparateur.

Le comparateur **A** sert à faire la mesure du défaut d'alignement angulaire et le comparateur **P** à faire la mesure du défaut parallèle.

Le comparateur **P** doit être positionné exactement comme le montre la figure.

S'il était placé sous la potence en L, cela entraînerait une erreur lorsqu'on calculera le défaut d'alignement au moyen des formules données ci-après.

## Mesure d'un défaut d'alignement vertical

Il faut commencer par faire la mesure des deux types de défauts d'alignements verticaux ( angulaire et parallèle ). Pour cela, il faut d'abord compenser les défauts d'alignements horizontaux. Sinon, ces défauts horizontaux nuiraient à la précision des mesures des défauts verticaux.

Pour compenser les défauts d'alignements horizontaux, faites tourner les deux arbres jusqu'à ce que les comparateurs soient à 3 heures ( lorsqu'on regarde le moyeu du moteur ). Lorsque c'est fait, remettez les deux comparateurs à zéro. Puis faites tourner les deux arbres jusqu'à ce que les comparateurs soient à 9 heures. Consignez par écrit les valeurs lues sur les deux comparateurs. Puis réglez les comparateurs à la moitié des valeurs lues, respectivement.

### Exemple :

A 9 heures, vous avez lu 1,3 mm sur un comparateur et 1 mm sur l'autre.

Pour compenser les défauts d'alignement horizontaux, vous devez régler chaque comparateur à la moitié de ces valeurs, c'est-à-dire respectivement 0,65 mm et 0,5 mm.

De la sorte, vous allez pouvoir mesurer précisément les défauts d'alignements verticaux.

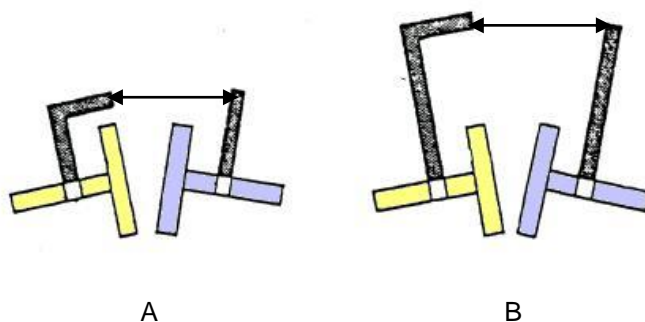
Il faut toujours faire d'abord la mesure du défaut d'alignement angulaire et le corriger.

C'est le comparateur **A** qui permet de faire cette mesure.

Faire tourner les arbres de 9 heures jusqu'à midi.

La valeur lue sur le comparateur n'exprime pas exactement de combien il faut régler pour retrouver un bon alignement vertical angulaire car elle dépend de la distance entre le comparateur et l'axe de l'arbre.

Ceci est illustré par la figure ci-après.



La distance entre les potences, telle qu'elle est mesurée par le comparateur, est plus grande que la distance qui sépare les faces des moyeux. Or c'est bien la distance entre les moyeux qu'il faut corriger. Si des potences plus hautes étaient utilisées ( B ), la distance entre les potences serait encore plus grande, à jeu entre moyeux identique.

Pour déterminer les réglages d'alignement angulaire à effectuer à partir des valeurs lues au comparateur, il faut se servir des deux formules suivantes :

Réglage à effectuer sur les pieds du moteur côté intérieur :

$$\frac{X}{R} \times A$$

Réglage à effectuer sur les pieds du moteur côté extérieur :

$$\frac{Y}{R} \times A$$

Le signe ( positif ou négatif ) de la valeur lue sur le comparateur est très important car il indique s'il faut élever ou abaisser les pieds du moteur.

Si la valeur est négative, les pieds du moteur côté intérieur et côté extérieur doivent être élevés pour corriger le défaut d'alignement vertical angulaire.

Si la valeur est positive, les pieds du moteur côté intérieur et côté extérieur doivent être abaissés pour corriger le défaut d'alignement vertical angulaire.

Il est donc essentiel de faire attention au signe lorsque vous lisez un comparateur.

La confusion des signes est une des erreurs les plus fréquentes.

Exemple :

Supposez qu'on ait les valeurs suivantes :

$$X = 38,10 \text{ cm}$$

$$Y = 76,20 \text{ cm}$$

$$R = 25,40 \text{ cm}$$

$$A = -0,015 \text{ cm}$$

Alors,

$$\frac{X}{R} \times A = \frac{38,10}{25,40} \times (-0,015) \text{ cm} = -0,023 \text{ cm} \text{ ( il faut relever d'autant les pieds du côté intérieur ).}$$

$$\frac{Y}{R} \times A = \frac{76,20}{25,40} \times (-0,015) \text{ cm} = -0,045 \text{ cm} \text{ ( il faut relever d'autant les pieds du côté extérieur ).}$$

Sur cet exemple, les deux résultats sont négatifs. Cela signifie que pour corriger le défaut d'alignement vertical angulaire, il faut ajouter des cales sous les pieds du moteur. Les pieds doivent être relevés de 0,023 cm côté intérieur et de 0,045 cm côté extérieur.

Si les résultats avaient été positifs, il aurait fallu abaisser les pieds du moteur côté intérieur et côté extérieur pour corriger le défaut d'alignement.

C'est le comparateur **P** qui permet de faire la mesure du défaut d'alignement vertical parallèle.

Etant donné qu'il est déjà à midi, il n'est pas nécessaire de faire tourner l'arbre pour faire la lecture. La valeur lue sur le comparateur exprime directement de combien il faut régler la hauteur des quatre pieds du moteur.

Par exemple, si sur le comparateur on lit 0,025 cm ( valeur positive ), on doit relever les quatre pieds du moteur de 0,025 cm. Si la valeur lue avait été négative, il aurait fallu abaisser les quatre pieds d'autant.

Les équations concernant l'alignement vertical angulaire ont permis de calculer de combien il faut relever ou abaisser les pieds du moteur pour corriger le défaut en question.



Si l'on veut corriger les deux types de défauts d'alignement vertical en même temps, il faut soustraire de ce résultat la correction du défaut d'alignement vertical parallèle. Attention aux signes.

Avec les chiffres de l'exemple précédent, il faut régler

Les pieds côté intérieur de :  $- 0,023 \text{ cm} - 0,025 \text{ cm} = - 0,048 \text{ cm}$

Les pieds côté extérieur de :  $- 0,045 \text{ cm} - 0,025 \text{ cm} = - 0,070 \text{ cm}$

Ce calcul permet d'éviter d'avoir à remettre ou enlever des cales plusieurs fois. Les deux types de défauts d'alignement vertical peuvent être ainsi corrigés d'un coup.

La correction à apporter aux hauteurs des pieds peut être exprimée directement en fonction des valeurs lues sur les comparateurs.

On a alors :

---

Correction de hauteur des pieds côté intérieur :  $\left( \frac{X}{R} \times A \right) - P$

Correction de hauteur des pieds côté extérieur :  $\left( \frac{Y}{R} \times A \right) - P$

---

Avant de monter les cales, il est bon de faire un croquis du moteur et de la pompe et d'y faire figurer la taille, le nombre et la position des cales requises pour régler l'alignement. Faites un croquis de ce genre que vous ayez à ajouter, enlever ou remplacer des cales.

Lorsque toutes les cales sont en place, refaites des mesures d'alignement vertical à titre de vérification. Si l'alignement vertical est bon, les deux comparateurs doivent être à zéro.

### Mesure d'un défaut d'alignement horizontal

La façon de procéder pour corriger les défauts d'alignement horizontal est la même que pour les défauts d'alignement vertical.

Il y a cependant une différence importante : les mesures de défauts d'alignement horizontal sont faites à 3 heures ou à 9 heures et non pas à midi.

Commencez cependant par placer les comparateurs à midi et remettez-les à zéro. Puis faites tourner les arbres jusqu'à 3 heures ou 9 heures. Lorsque les comparateurs sont en place à 3 heures ou à 9 heures, lisez le comparateur A ( défaut d'alignement angulaire ) et le comparateur P ( défaut d'alignement parallèle ). Les valeurs lues doivent être alors introduites dans les formules données précédemment pour le calcul des corrections de hauteur.

Exemple :

Après avoir remis les comparateurs à zéro à midi puis les avoir placés à 3 heures, on lit  $- 0,1 \text{ cm}$  sur le comparateur angulaire et  $+ 0,005 \text{ cm}$  sur le comparateur parallèle.

## Règles de l'art en maintenance : accouplements

La correction de position des pieds du moteur côté intérieur est donnée par la formule :

$$\left( \frac{X}{R} \times A \right) - P = \left( \frac{38,10}{25,40} \times -0,1 \right) - 0,005 = -0,155 \text{ cm}$$

( - 0,155 cm : valeur dont il faut déplacer les pieds côté intérieur vers 3 heures )

La correction de position des pieds du moteur côté extérieur est donnée par la formule :

$$\left( \frac{Y}{R} \times A \right) - P = \left( \frac{76,20}{25,40} \times -0,1 \right) - 0,005 = -0,305 \text{ cm}$$

( - 0,305 cm : valeur dont il faut déplacer les pieds côté extérieur vers 3 heures )

A ce stade, il faut faire attention et se souvenir que les formules donnent les corrections horizontales à effectuer.

Lorsqu'il s'agissait de corriger les défauts d'alignement vertical, les valeurs négatives signifiaient que les pieds côté intérieur devaient être relevés, et les valeurs positives que les pieds devaient être abaissés.

Dans le cas de défauts d'alignement horizontal, la correction se fait par déplacement latéral du moteur et non par abaissement ou relèvement.

Avec les formules précédentes, il est donc parfois difficile de déterminer de quel côté les réglages doivent être faits. A titre d'exemple, si la formule donne un résultat négatif, faut-il déplacer les pieds vers la gauche ou vers la droite ?

Le tableau ci-après permet de répondre à cette question.

C'est toujours sur le moyeu du moteur qu'on se repère comme sur une montre et les deux comparateurs doivent être montés sur l'arbre du moteur

---

Si les mesures sont prises à 3 heures :

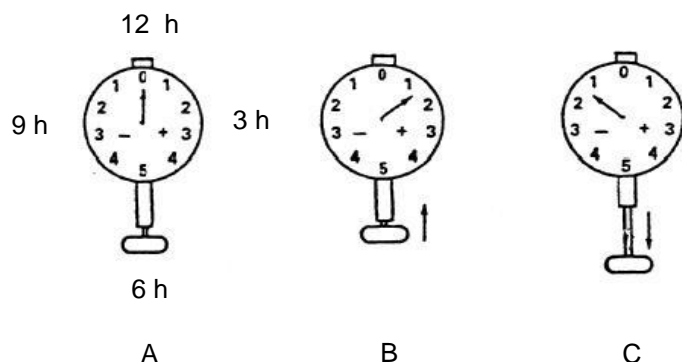
une valeur positive au comparateur signifie qu'il faut déplacer les pieds vers 9 heures,  
une valeur négative au comparateur signifie qu'il faut déplacer les pieds vers 3 heures.

Si les mesures sont prises à 9 heures :

une valeur positive au comparateur signifie qu'il faut déplacer les pieds vers 3 heures,  
une valeur négative au comparateur signifie qu'il faut déplacer les pieds vers 9 heures.

---

En fait, il est assez simple de définir le sens du réglage horizontal à effectuer. Il suffit de se référer à la façon dont fonctionnent les comparateurs.



Si l'on pousse la tige, la valeur lue est positive. Au contraire, si on la tire la valeur lue est négative. Parfois, d'ailleurs, il n'y a pas de signes sur le cadran. Tout déplacement dans le sens des aiguilles d'une montre est positif, et négatif dans l'autre sens.

Lorsqu'on fait des mesures horizontales, on commence par mettre les comparateurs à zéro à midi, puis on les place à 3 heures ou à 9 heures en faisant tourner les arbres.

Si, sur le comparateur angulaire **A** on lit une valeur positive, c'est que la tige a été poussée, les extrémités de la potence se rapprochant l'une de l'autre. Cela signifie donc aussi que les faces des moyeux sont devenues plus proches l'une de l'autre à 9 heures qu'elles n'étaient à midi.

Pour corriger le défaut d'alignement angulaire, il faut donc augmenter le jeu entre les faces des moyeux à 9 heures et le réduire de ce fait à 3 heures. Cela ne peut se faire qu'en déplaçant le moteur vers 3 heures.

Si, sur le comparateur **A**, on avait lu une valeur négative à 9 heures, cela aurait signifié que le jeu à 9 heures était plus large qu'à 3 heures. Dans ce cas, il faudrait déplacer le moteur vers 9 heures.

Du fait de sa position, le comparateur **P** parallèle est à l'opposé : lorsque la valeur lue à 9 heures est négative, le jeu est plus faible à 9 heures qu'à 3 heures. Etant donné que lire une valeur négative sur le comparateur **P** est équivalent à lire une valeur positive sur le comparateur **A**, il faut faire un changement de signe lorsqu'on se sert des formules permettant de calculer d'un coup la correction à effectuer. Etant donné que le signe de **A** est bon, c'est celui de **P** qu'il faut changer.

## Accouplements : mesure avec laser

La précision de l'alignement s'accroît fortement si l'on utilise des comparateurs au lieu d'une règle ou de jauges d'épaisseur.

L'utilisation de l'électronique et de microprocesseurs peut accélérer fortement le traitement des valeurs de mesure des comparateurs ou des palpeurs électroniques. Une précision de mesure ( résolution de 0,001 mm ) accrue et une exécution ultra-rapide ( jusqu'à 1/3 du temps d'alignement nécessaire avec des comparateurs ) peut être obtenue avec les systèmes d'alignement au laser modernes.

Faire des mesures avec de la lumière donne les avantages suivants :

- la distance entre les organes de mesure peut être très grande ;
- le faisceau fonctionne comme support et ne fléchit pas ;
- le système de mesure peut être monté très rapidement en utilisant des fixations universelles ou des pieds magnétiques.

Un autre avantage offert par ces systèmes est que des erreurs de lecture des comparateurs et des mauvais calculs sont exclus.

Pratiquement, on reconnaît deux systèmes laser :

le système « laser-prisme » ;

le système à double laser.

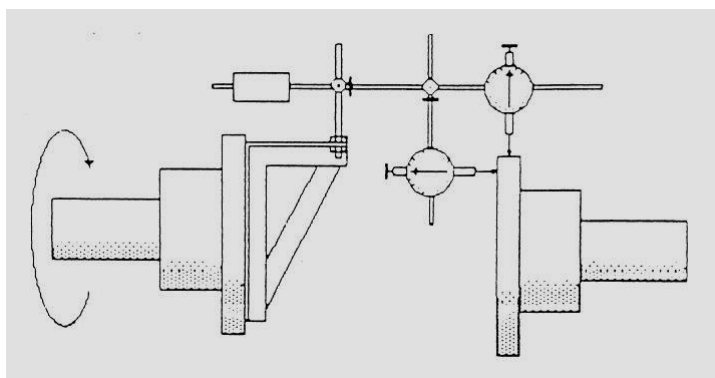
### Méthodes de bases

Pour mieux expliquer les deux systèmes, nous reprenons deux principes avec utilisation de comparateurs.

#### Méthode « Face-Rim »

C'est la méthode la plus ancienne et la plus répandue.

On monte deux comparateurs sur une moitié d'accouplement, un radial ( Rim ) et un axial ( Face ).



Le comparateur radial va mesurer le défaut parallèle, l'axial le désalignement angulaire, quand on tourne l'arbre sur lequel est monté le support. La mesure avec les comparateurs peut se réaliser avec une précision de 0,01 mm.

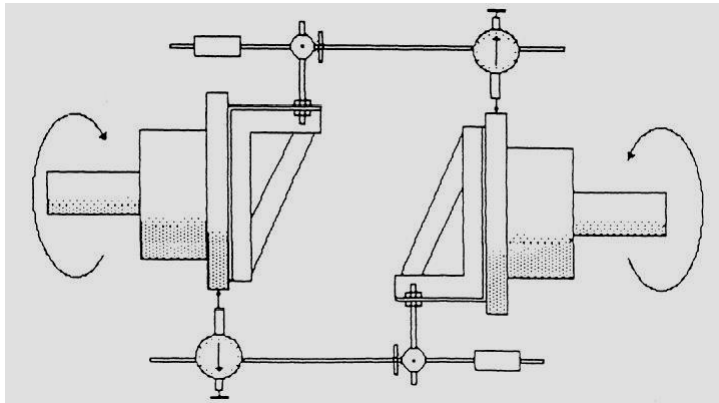
La mesure se déroule comme suit :

- Placer les comparateurs en position 12 h et régler les sur zéro.
- Tourner lentement l'arbre et lire le comparateur (valeur négative ou positive) en position 3, 6 et 9 h.
- Vérifier le zéro en position 12 h.

Cette méthode autorise une interprétation aisée des positions d'arbre. Si on a mesuré le voile de l'accouplement sur lequel les comparateurs mesurent, tourner un arbre peut suffire. La méthode est d'autant plus facile si le comparateur axial peut être monté sur le diamètre le plus large possible. Elle s'indique surtout si les moitiés d'accouplement sont proches et si elles ont un grand diamètre. Le comparateur axial peut alors être monté comme illustré ci-après. La méthode « Face-Rim » n'est évidemment pas applicable si l'arbre peut se déplacer axialement (manchons coulissants).

### Méthode « Reverse »

La disposition générale est illustrée ci-dessous.



On place sur chaque moitié d'accouplement un support et un comparateur monté radialement. Le glissement axial de l'un des arbres n'influence donc pas la procédure de mesure qui se déroule comme suit :

Régler les deux comparateurs sur zéro en position 12 h..

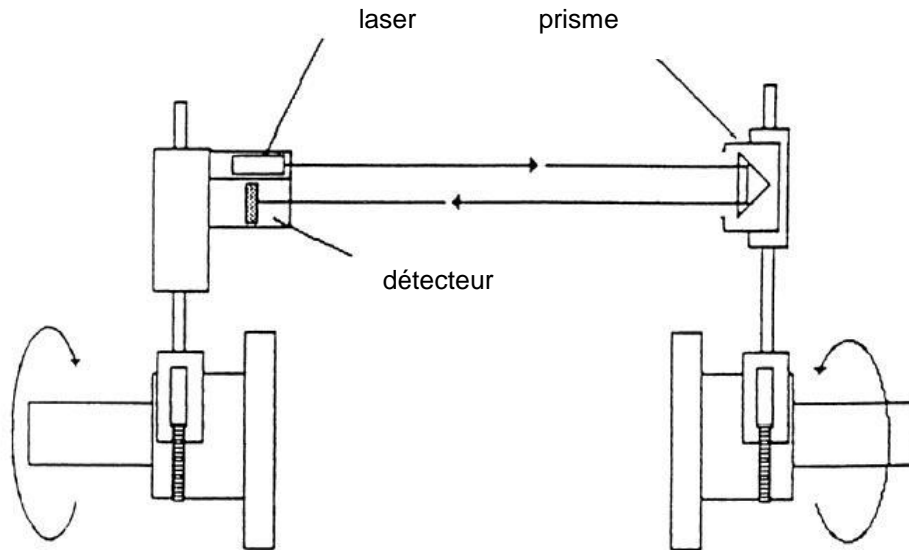
Tourner lentement les deux arbres simultanément et noter les valeurs ( + ou - ) en position 3, 6 et 9 h.

Vérifier le zéro en position 12 h.

La méthode de mesure peut aussi s'effectuer avec un comparateur et un support, mais elle doit se faire en deux temps. Cette méthode permet une interprétation plus facile des valeurs de mesure et elle est géométriquement plus précise que la méthode « Face-Rim ».

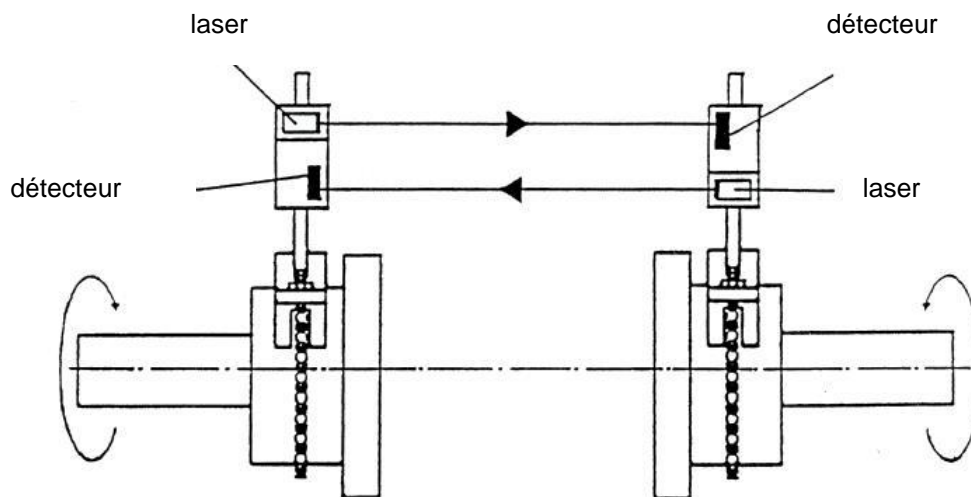
### Système « laser-prisme » ou prisme à rayon laser

Ce système se compose d'une unité laser et détecteur monté sur une moitié d'accouplement et d'un prisme monté sur l'autre moitié.



Ce prisme est réglable horizontalement et verticalement, de façon à renvoyer le rayon laser sur le détecteur. Le principe de mesure est basé sur la méthode Face-Rim. La procédure de mesure se déroule de la même manière. Au besoin, ou si l'on manque de place, on peut omettre une des 4 positions. Ainsi, une rotation des deux axes accouplés de max. 180° est suffisante pour contrôler leurs positions mutuelles. L'ordinateur indique toutes les déviations, parallèles et angulaires, ainsi que les corrections à effectuer à la hauteur des pieds de machine. Ceci après avoir introduit les mesures géométriques nécessaires dans le logiciel de calcul.

### Système à double laser



Ce système suppose deux unités laser-détecteur respectivement montés sur chaque moitié d'accouplement ou d'axe.

Le principe de mesure est basé sur la méthode « Reverse ».

Chaque laser envoie son rayon vers le détecteur de l'autre unité. Ce détecteur donne les déviations dans le sens perpendiculaire à la surface de mesure, comme cela se fait avec un comparateur. Ces systèmes permettent également de se limiter à trois positions de mesure pour obtenir toutes les informations dans le plan horizontal et vertical. L'ordinateur indique toutes les déviations parallèles et angulaires, ainsi que les positions actuelles des pieds de la machine à régler. Ceci après avoir introduit les données géométriques nécessaires dans le programme de calcul.

## Accouplements : réglages

### Défaut d'alignement vertical

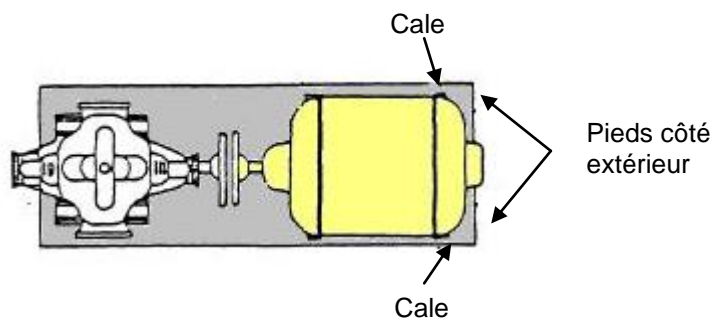
Tous les défauts d'alignement vertical, qu'ils soient angulaires ou parallèles sont corrigés au moyen de cales.

Les cales sont des plaquettes d'acier ou de laiton qui sont placées par paires sous les pieds des matériels.

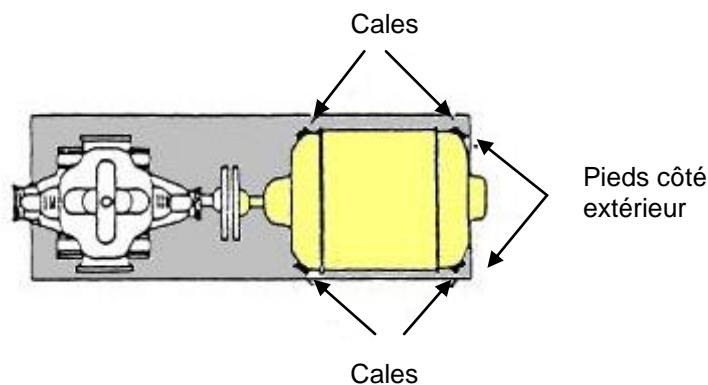
Si la mesure montre que le jeu entre les moyeux est plus grand à midi qu'à six heures, on corrige le défaut d'alignement en inclinant un des arbres légèrement vers le bas.

Comme une pompe est reliée à des tuyauteries, il est généralement plus facile de corriger un défaut d'alignement en déboulonnant le moteur de son bâti et en corrigeant sa position par rapport à la pompe.

Dans le cas de figure ci-dessous, on a besoin de placer des cales sous les pieds du moteur côté extérieur pour que l'ensemble ait un alignement vertical angulaire correct.



S'il fallait corriger un défaut d'alignement vertical parallèle, on ajouterait ou on enlèverait des cales de même épaisseur sous les quatre pieds du moteur de façon à élever ou abaisser l'arbre sans l'incliner ( figure ci-dessous ).



Il faut prendre un certain nombre de précautions importantes lorsqu'on se sert de cales :

Les cales doivent toujours être au moins aussi grandes que la surface des pieds du matériel sous lequel on les place, ceci pour empêcher les pieds de glisser au bord des cales.

Il vaut toujours mieux utiliser une cale épaisse plutôt que plusieurs cales minces. Un empilement de cales provoque souvent un effet de ressort qui rend difficile un alignement précis.

N'utilisez que des cales propres, c'est-à-dire sans trace de graisse, de peinture et de salissures, pour être sûr qu'elles sont bien en place. Assurez-vous également que les pieds des matériels sont propres et grattez-les si nécessaire.

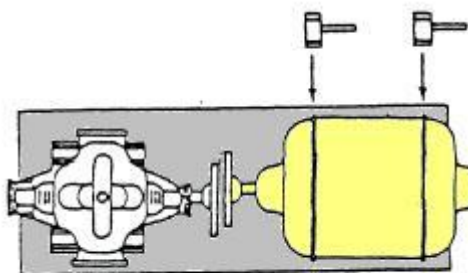
Sauf si le bâti du matériel n'est pas plat au départ, posez toujours les cales par paires. Si vous posez une cale sous un pied seulement vous risquez d'accentuer le défaut d'alignement en donnant de l'inclinaison au matériel.

### Défaut d'alignement horizontal

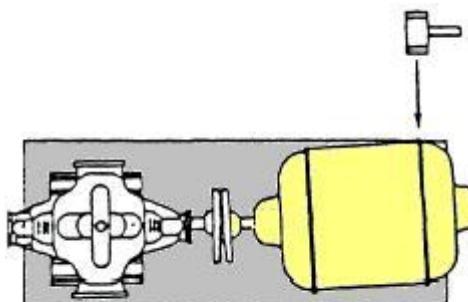
Pour corriger les deux types de défauts d'alignement vertical, on se sert de cales.

Pour corriger les deux types de défauts d'alignement horizontal ( parallèle et angulaire ), on déplace le moteur horizontalement sur son bâti.

S'il s'agit d'un défaut horizontal parallèle, on déboulonne le moteur de son bâti et on le déplace parallèlement à lui-même d'un côté ou de l'autre jusqu'à retrouver l'alignement.



Quand il s'agit d'un défaut d'alignement horizontal angulaire, on déboulonne le moteur de son bâti et on le fait pivoter horizontalement jusqu'à retrouver l'alignement.





### **Finition de l'alignement et du travail**

Une fois que tous les défauts d'alignement vertical et horizontal ont été corrigés, il faut faire de nouvelles mesures pour s'assurer que l'alignement est bon.

Faites les mêmes mesures qu'au début en vous servant des comparateurs par exemple. Serrez tous les boulons de fixation du moteur avant de commencer.

Avant chaque mesure, remettez à zéro les comparateurs. Si l'alignement vertical est bon, les deux comparateurs doivent rester à zéro à midi et à 6 heures.

Si l'alignement horizontal est bon, les deux comparateurs doivent rester à zéro à 3 heures et à 9 heures.

Lorsque vous vous êtes assuré que l'alignement est bon, démontez la mâchoire de liaison des moyeux. Démontez ensuite les comparateurs et leurs potences. Il est bon de nettoyer les appareils de mesure après usage. Frottez donc les potences avec un chiffon gras. Lorsque tous les appareils de mesure et leurs supports ont été enlevés, remontez l'accouplement et remettez l'ensemble en service.

Après toute intervention pour alignement, il faut faire un essai de bon fonctionnement du matériel. Vérifiez d'abord que le matériel est bien monté, puis suivez les procédures de déconsignation en vigueur dans votre Etablissement. Ce n'est qu'alors que le matériel peut être démarré.

Lors de l'essai, soyez attentif à trois indices de défaut d'alignement :

- ✓ les vibrations excessives,
- ✓ les oscillations de l'arbre,
- ✓ le bruit excessif.

Si vous observez l'un ou l'autre de ces indices, vérifiez à nouveau l'alignement de l'ensemble.

En service, plus tard, n'oubliez pas les accouplements. La plupart des constructeurs recommandent de les entretenir régulièrement.

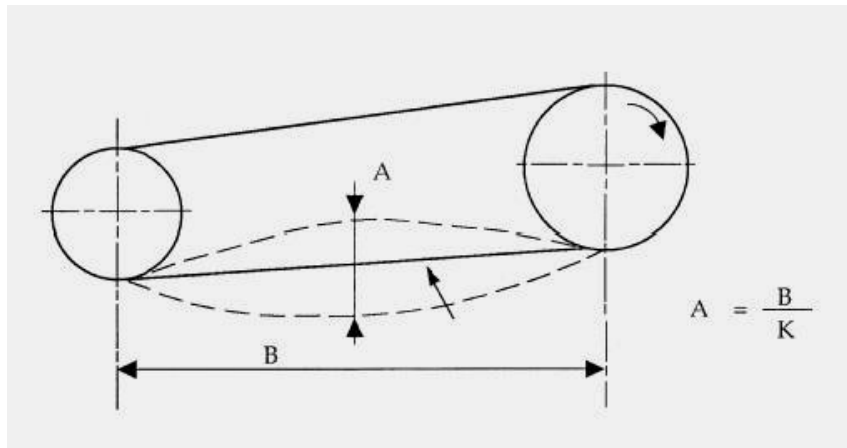
# Chaines et courroies

	Page
Contrôle des chaînes.....	157
Contrôle des courroies de transmission.....	159

## Contrôle des chaînes

### → Contrôle de la tension de la chaîne

- Consigner l'installation.
- Contrôler l'alignement des roues dentées.
- Contrôler la tension de chaîne, régler si nécessaire par déplacement de l'un des arbres. La chaîne doit être tendue de façon à permettre un battement A entre les positions haute et basse d'un point pris au milieu du brin mou.



A = battement total ( en mm )

B = projection de l'entraxe sur l'horizontale ( en mm )

K = coefficient

25 pour transmission à charge régulière

50 pour transmission avec coups

Pour les transmissions verticales, le battement total A doit être égal à la moitié du pas de la chaîne.

### → Mesure de l'usure de la chaîne

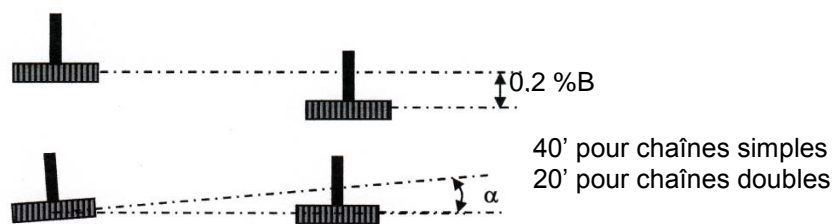
L'usure d'une chaîne doit être déterminée à l'aide de la **règle de mesure** fournie par le fabricant de chaînes.

#### Limite d'usure

En règle générale, une chaîne est considérée comme usée quand le pourcentage d'allongement atteint :

- 2 % en général,
- 1 % pour les chaînes à pas long,
- 0,7 à 1 % pour les chaînes de transmissions sans réglage possible d'entraxe.

## → Contrôle d'alignement

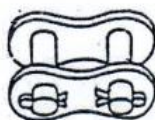


Attache rapide



←  
Sens de la chaîne

goupilles



Coudé



Affaiblissement = 20 %

## Contrôle des courroies de transmission

**La durée de vie des courroies, et des roulements de poulies, dépend de leur montage et du contrôle de leur tension.**

### Démontage

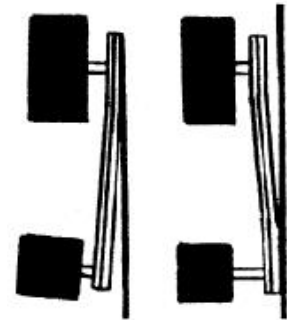
- Consignez l'installation.
- Démontez toutes les courroies : ne pas mélanger neuves et anciennes – ne pas utiliser tournevis ni burin.
- Avec calibres fournis par constructeurs, contrôlez l'état des gorges des poulies.

### Montage

- Montez toujours un jeu complet de courroies appariées :
  - dimensions des courroies de tolérances UNISSET : ne se préoccuper de rien ;
  - autres : montez des courroies à repères identiques.
- Pour nettoyage : mélange glycérine – alcool (proportion 1/10).  
A proscrire : solvants et objets à arêtes vives.
- Montez les courroies à la main, sans forcer, en utilisant les possibilités de tensionnement.  
A proscrire : levier, « roulement » des courroies dans les gorges.
- Ne pas utiliser d'enduit adhésif.

### Réglage de l'alignement, avec :

- une latte rectiligne
- ou un ruban d'acier pour les transmissions à entraxes importants,
- l'appareil de lignage laser pour courroies



Le déport sur l'alignement des poulies ne peut pas dépasser :  
0,5° ou 5mm par 500 mm d'entraxe pour les courroies trapézoïdales  
0,25° ou 2,5mm par 500 mm d'entraxe pour les courroies dentées

### Réglage de la tension

- ✓ Une solution simple consiste à pouvoir tourner la courroie de 90°, mais pas plus.
- ✓ La solution moderne consiste à utiliser un contrôleur de tension appelé tensiomètre (vendu par les fabricants de courroies)

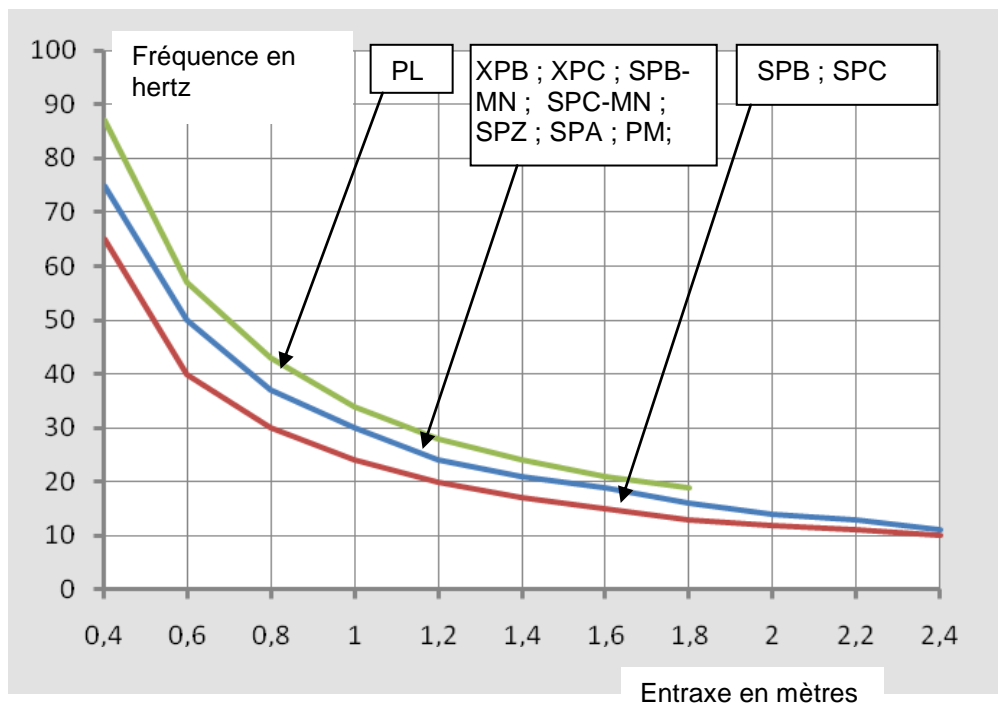
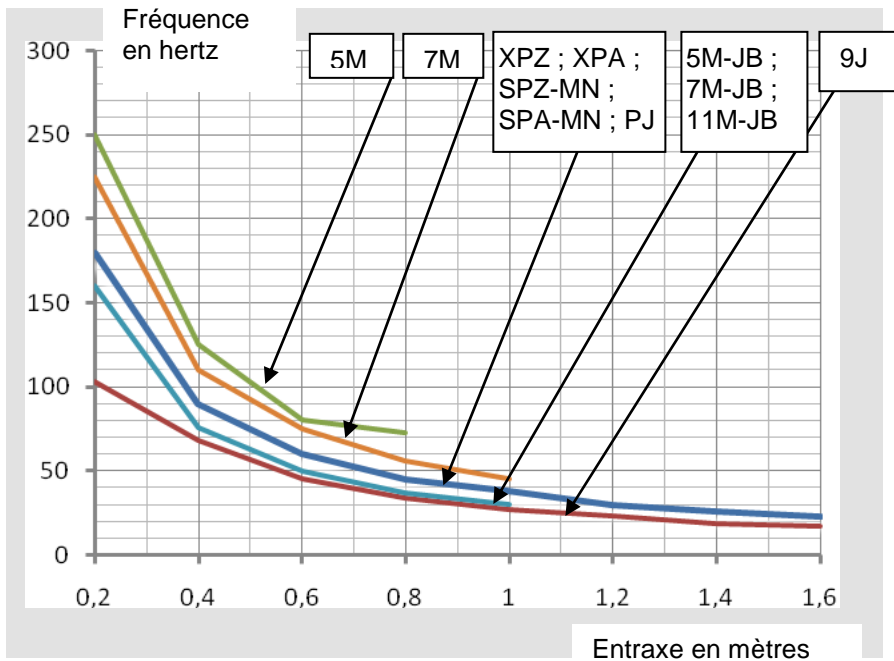
- Tapez légèrement sur la courroie, et relevez la valeur vibratoire à l'aide de l'appareil spécifique.
- Comparez avec la valeur de référence .
- Tendez la courroie et refaites la mesure.
- Répétez éventuellement l'opération jusqu'à l'obtention de la bonne valeur.



## Règles de l'art en maintenance : chaînes et courroies

Une bonne formule est que le fabricant de courroies vous calcule les différentes références. En l'absence de celles-ci l'abaque ci-après vous permet de trouver la valeur de fréquence correspondant à une bonne tension, pour les courroies trapézoïdales.

Pour les courroies dentées (ou synchrones) il faut demander le calcul de la valeur par le fabricant des courroies concernées.



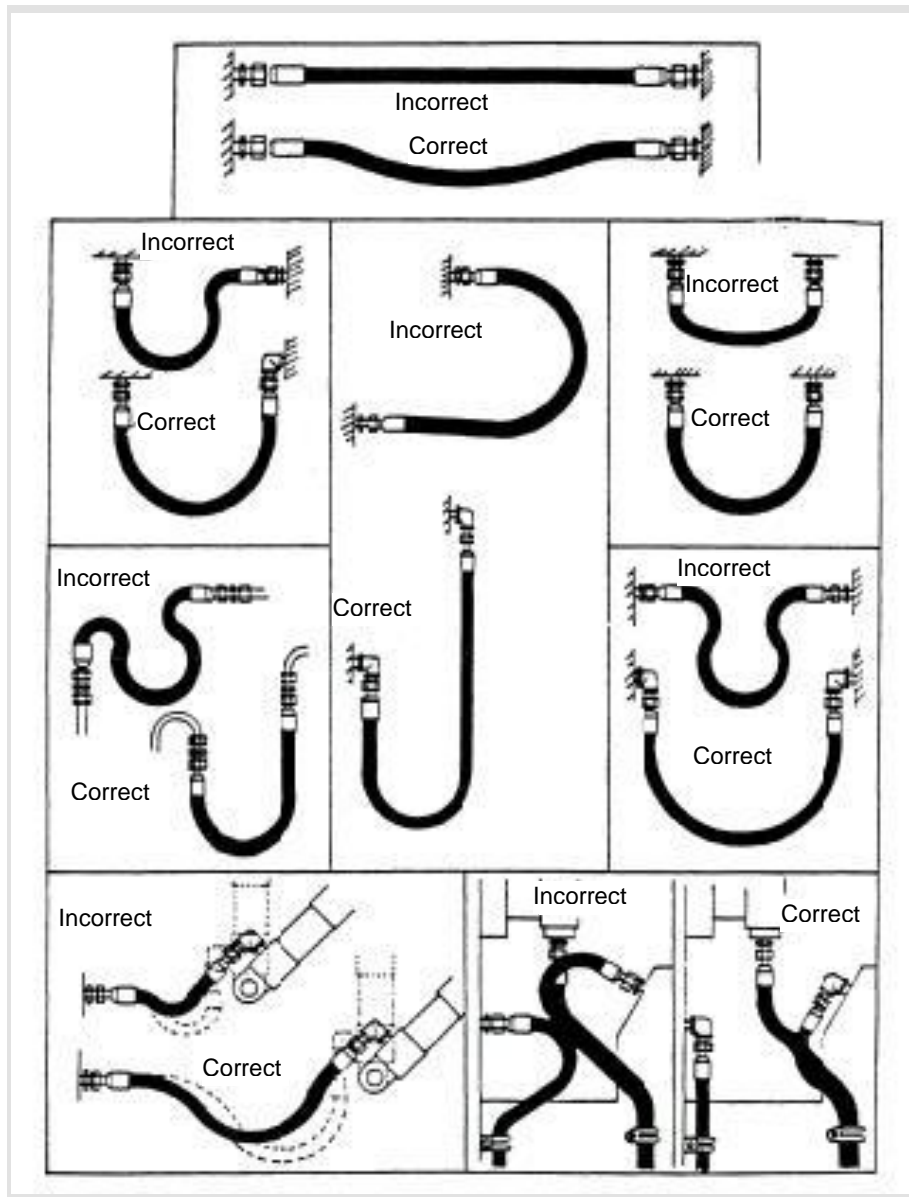
# Tuyauterie et robinetterie

	Page
Montage des flexibles.....	162
Montage des tuyauteries.....	164
Manœuvre et montage de la tuyauterie.....	165
Cintrage des tubes.....	167
Recherche des fuites sur vannes.....	169
Montage des brides.....	170

## Montage des flexibles

- ➔ Sous l'action de la pression, le diamètre du flexible augmente et sa longueur diminue. Cette réduction de longueur peut aller jusqu'à 4 % de la longueur totale. Pour cette raison, la longueur doit être calculée assez large.
- ➔ Le rayon de courbure doit être supérieur à 10- 12 fois le diamètre intérieur. A chaque extrémité, on laissera une longueur droite égale à au moins 4 fois le diamètre extérieur du flexible.
- ➔ Il faut veiller à ce que le flexible soit totalement libre dans ses débattements et à ce qu'il ne frotte sur aucune partie fixe ou mobile.
- ➔ Le flexible ne doit pas être bridé dans ses fixations. Il doit épouser sans contrainte une courbe aussi large et aussi souple que possible. Certains montages seront préférés à d'autres, même si cela nécessite l'adjonction d'un coude ou d'un raccord oblique.
- ➔ Il faut veiller également à ce que le flexible ne subisse aucune torsion. L'enrobage extérieur porte généralement un filet de couleur sur une génératrice, ce qui permet de contrôler très vite s'il y a torsion.
- ➔ Périodiquement il faut resserrer les raccords, car les desserrages sont possibles sous l'effet des mouvements.
- ➔ Si les raccords se corrodent ne les remplacez pas par des raccords en inox car cela créerait de la corrosion galvanique. La solution consiste à mettre une feuille plastique fermée par 2 serflex pour protéger contre les projections.





## Montage des tuyauteries

### ➔ Choix des tuyauteries

#### Pression inférieure à 7 bars

Pour les conduites d'eau, de gaz, d'air comprimé on emploie des tubes soudés assemblés par raccords filetés ou des tubes à brides vissées. Cet assemblage est généralement limité au DN 50. Les tubes soudés par rapprochement peuvent résister à des épreuves de 20 à 30 bars. Mais il est cependant déconseillé de les employer pour des pressions de service supérieures à 7 bars (6 bars pour la vapeur)

#### Pression supérieure à 7 bars

Au-dessus de 7 bars, il est préférable d'adopter un assemblage par brides ou par soudure autogène.

Pour les pressions jusqu'à 10 bars, les joints peuvent être plats, mais au-dessus il est conseillé des brides à emboîtement simple. Les emboîtements seront simples jusqu'à 20 bars et doubles au-dessus de cette pression.

Les raccords soudés ou les brides fixées par soudure autogène conviennent pour les plus hautes pressions.

Pour les très hautes pressions hydrauliques, on utilise généralement des raccords filetés renforcés ou des brides renforcées à emboîtement.

Quand on utilise des tubes acier pour les canalisations d'eau potable, il faut toujours employer des tubes en cuivre ou galvanisés

Lorsque la tuyauterie doit être enterrée, on a intérêt à la goudronner et à enrouler autour des raccords de jonction de la bande asphaltée qui évite la corrosion des parties de métal mises à nu.

### ➔ Soins à apporter dans le montage

- D'une façon générale les tuyauteries doivent être montées à l'abri des chocs possibles qui peuvent engendrer des fuites immédiates ou à terme.
- Pour les tuyauteries de vapeur, prévoir une pente moyenne de 1 à 5 mm par mètre vers les collecteurs de purge.
- Pour les tuyaux assemblés par brides, il est recommandé de laisser entre les tubes et les murs un espace suffisant pour le serrage des boulons et la réfection des joints.
- Les caniveaux doivent être recouverts de tôles striées, facilement amovibles, notamment à l'aplomb des brides.
- On établira les tuyauteries multiples en lignes parallèles en évitant les croisements. Il faut en effet toujours prévoir que si on est obligé de démonter un tube, ce travail ne doit pas être gêné par les tubes voisins.
- Les tubes doivent être supportés régulièrement par des colliers suffisamment ajustés pour éviter les vibrations au moment des coups de bélier éventuels.
- En ce qui concerne les tuyauteries de vapeur il faut prévoir et calculer les efforts causés par la dilatation.

A cet effet, on répartira les coudes à grand rayon, les lyres de dilatation pour que les effets des poussées soient absorbés au maximum. Il faudra localiser les effets de dilatation sur les organes compensateurs en rendant fixe un côté de la canalisation alors que l'autre côté restera toujours à dilatation libre.

Lorsque la disposition des tubes empêchera l'utilisation des lyres, on utilisera les joints dits « de dilatation » à soufflet ou à presse-étoupe.

## Manoeuvre et montage de la robinetterie

### Manœuvre des vannes et robinets à soupape ou à pointeau

Il s'agit d'une question importante pour la longévité de l'obturateur :

- **A l'ouverture** : ouvrir d'abord le robinet en grand, puis fermer d'un quart de tour afin que l'appareil ne puisse pas rester coincé dans la position ouverte.
- **A la fermeture** : fermer d'abord modérément, puis ouvrir d'un ou deux tours. On élimine ainsi les impuretés qui ont pu se déposer entre les surfaces de contact et qui sont chassées énergiquement par le laminage du fluide. Refermer ensuite l'obturateur.

### Montage des détendeurs

- Avant montage, nettoyez les canalisations au moyen d'un jet de vapeur pour diminuer les principales impuretés, débris de joint, etc.
- Placez le détendeur verticalement, la tête en haut, sur tuyauterie horizontale, en respectant le sens de la flèche placée sur le corps.
- Pour la vapeur et l'air comprimé, il est rationnel de prévoir à la sortie du détendeur une tuyauterie d'un diamètre supérieur à celui de la tuyauterie d'entrée et de la raccorder par une manchette divergente, la vapeur détendue ou l'air ayant besoin d'une section de passage plus grande en aval qu'en amont.
- Pour augmenter encore la régularité de la pression détendue en diminuant les turbulences à la sortie du détendeur, il convient de ne pas placer celui-ci immédiatement devant l'appareil d'utilisation. On estime généralement que la distance doit être de 2 à 4 m.
- Tout détendeur possède une perte de charge propre ce qui entraîne un écart minimal entre la pression amont et la pression détendue : de l'ordre de 15 à 20%.
- Il arrive fréquemment qu'un détendeur marche par à-coups (phénomène de « pompage »). Deux causes sont possibles :
  - Le détendeur un un diamètre trop grand pour le débit à assurer.
  - Ouverture brusque et totale d'un robinet placé sur la tuyauterie de pression détendue.

### Recommandations pour les purgeurs

- Pour vérifier le fonctionnement d'un purgeur, le laisser **débiter à l'air libre**. Ne pas confondre alors la vaporisation normale et inévitable d'une partie de l'eau évacuée qui se trouve détendue à la pression atmosphérique (vapeur non brûlante ou buées) avec un jet dangereux de vapeur vive qui montrerait que le purgeur ne remplirait pas son orifice.
- Les purgeurs évacuent des eaux boueuses et chargées, collectées aux points bas de l'installation. Toujours les faire précéder d'un filtre efficace accessible et régulièrement vérifié ; y adjoindre un robinet d'arrêt.
- La tuyauterie de sortie d'un purgeur ne doit jamais plonger dans l'eau : elle aspirerait celle-ci à l'arrêt par suite du vide produit à froid par la condensation.

### Recommandations pour les régulateurs de température

Le plongeur renferme un tube plissé contenant un liquide à grand coefficient de dilatation, qui agit par l'intermédiaire d'un tube capillaire sur le piston solidaire du clapet du régulateur.

Le régulateur se monte sur l'arrivée de vapeur le piston vers le bas.

Le tube capillaire, qui doit faire le moins de coudes possibles, ne doit pas être aplati, ni être en contact avec un élément chaud.



Avant montage, ne pas exposer le plongeur thermostatique à une température supérieure à 30°C. En cas de démontage, attendre le refroidissement complet.

La partie supérieure du plongeur est munie d'un cadran gradué réglable à l'aide d'une clef. Agir très progressivement et attendre le refroidissement du fluide chauffé tout effort anormal sur la clef détériorant l'appareil. Il est recommandé d'amener l'aiguille du cadran sur la température minimale avant de commencer le chauffage et de régler ensuite par augmentation de température.

## Cintrage des tubes

### Tubes en acier

Lorsqu'on ne dispose pas d'une machine à cintrer on opère comme suit :

On emplit le tube avec du sable de grès bien sec que l'on tasse bien dans le tuyau dont une des extrémités a été bouchée. On bouche l'autre extrémité puis on chauffe la partie du tube à cintrer. On cintré alors au gabarit voulu en plaçant le tube entre les broches d'un marbre de chaudronnier. Pour éviter d'affaiblir la partie extérieure de la courbe, on la mouille progressivement, ce qui a pour effet de provoquer un refoulement du métal à l'intérieur de la courbe.

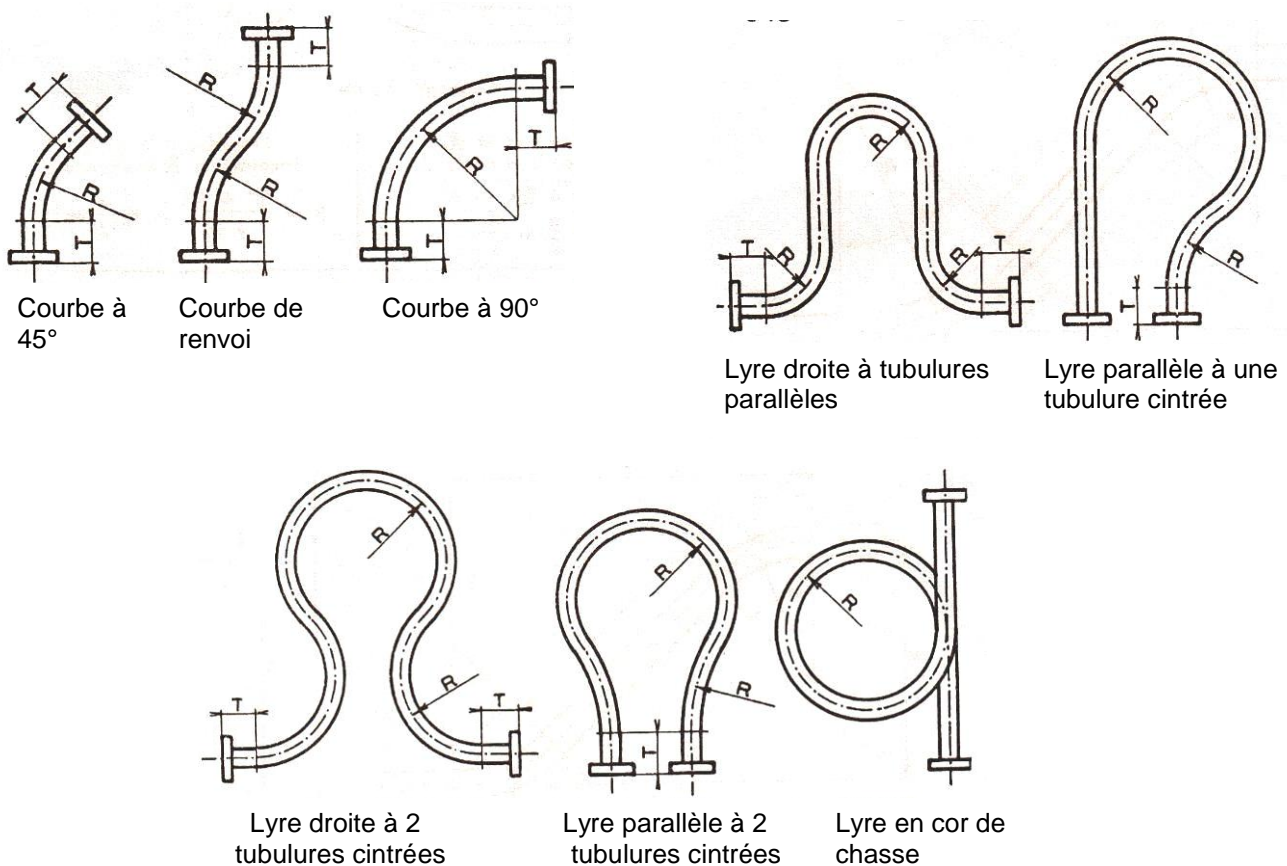
Lorsque l'on cintré des tubes soudés par rapprochement, on veille à placer la ligne de soudure sur le côté de la courbe, sinon le tube risquerait de s'ouvrir.

### Tubes en cuivre

Lorsqu'on ne dispose pas d'une machine à cintrer on opère comme suit :

On peut cintrer à froid en se servant d'un ressort à boudin en fil carré que l'on glisse à l'extérieur ou à l'intérieur du tube. A défaut de cet accessoire, on cintré à froid en emplissant le tube au préalable de colophane ou de résine fondue.

### Valeur minimale des rayons de cintrage et des parties droites



Orifice		Partie droite T mini pour brides		Rayon R en mm		
		Vissées mm	Soudées mm	Recom-mandé	Mini pour tube	
pouces	mm				Normal	Renforcé
1/2	15	25	50	65	40	25
3/4	20	38	75	100	75	40
1	25	50	75	125	90	50
1 1/4	32	50	100	160	100	60
1 1/2	40	65	100	190	115	75
2	50	75	100	250	150	100
2 1/2	65	100	125	315	175	150
3	80	100	150	375	225	175
3 1/2	90	125	150	440	270	225
4	100	125	150	500	300	250
5	125	150	175	625	375	300
6	150	175	200	750	450	375
8	200		200	1000	900	600
10	250		250	1250	1200	750
12	300		250	1500	1500	1050
14	350		350	1750	1750	1200
16	400		400	2400	2250	1650
18	450		450	2700	2550	1950
20	500		450	3000	3000	2400
24	600		450	3600	3600	3000

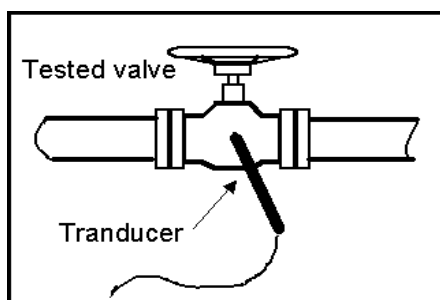
Valeurs Serseg

## Recherche de fuites sur vannes

Le principe de base de la méthode acoustique, est d'identifier les signaux de fuites par l'intermédiaire des ultrasons au niveau de l'obturateur d'un organe de robinetterie **sans perte de production**.

### Méthode de comparaison des signatures :

Cette méthode est utilisée lorsqu'il est possible d'éliminer la pression au niveau de l'obturateur. La différence entre les deux signatures traduit le niveau de fuite. La première mesure est effectuée avec la vanne fermée (signature de pression) ; ensuite la vanne est ouverte et une seconde mesure est prise (signature bruit de fond). La vanne ne fuit pas quand les signatures de pression et de bruit de fond sont sensiblement égales.



### Méthode différentielle :

Cette méthode est utilisée lorsqu'il n'est pas possible d'ouvrir la vanne testée. Dans ce cas, trois mesures sont nécessaires. Les signatures sont mesurées sur la vanne au plus proche du siège, en amont (sur la vanne ou sur la tuyauterie) et en aval à égale distance.

### Méthode de comparaison directe :

Quand l'objectif est de déterminer rapidement quelles sont les vannes non-étanches dans un groupe de vannes identiques (tailles identiques et mêmes technologies) à la même pression, il est possible de n'enregistrer que les signatures sous pression et de les comparer les unes aux autres en les classant selon la sévérité de la fuite.

La sévérité des fuites est estimée en fonction de la différence entre les signatures de pression et de bruit de fond comme suit :

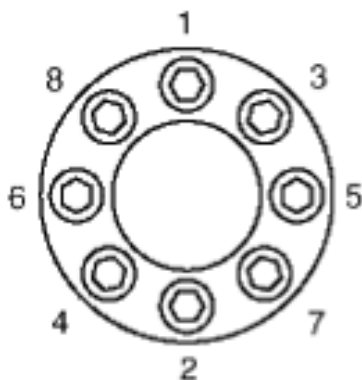
- Fuite importante    Différence au-dessus de 24 dB
- Fuite moyenne      Différence entre 10 dB et 24 dB
- Fuite minime        Différence en dessous de 10 dB

### Conditions requises

- Vanne en position fermée,
- Pression différentielle minimale de 0.5 bar.

## Montage des brides

- Les tuyauteries doivent toujours être montées en ligne, les brides et contre-brides étant absolument parallèles, surtout pour les canalisations vapeur.  
Les monteurs cherchent parfois à rattraper le manque de parallélisme des brides en agissant sur les boulons. Les conséquences sont toujours des fuites à court ou moyen terme.
- Pour le serrage des brides : mettre les boulons en place et les serrer d'abord à la main. Ensuite serrer deux boulons à 180°, avancer dans le sens des aiguilles d'une montre et continuer comme indiqué ci-dessous.



Si les boulons sont nombreux, on peut ensuite les resserrer tous de manière à effectuer plus facilement un effort égal sur tous.

- Concernant les boulons, toutes les règles de blocage en rotation s'appliquent : voir la fiche sur les serrages.
- Si l'étanchéité est obtenue avec un joint torique, voir la fiche correspondante « joints toriques »



# Pompes et turbines

	Page
Démarrage d'une pompe centrifuge.....	172
Réamorçage d'une pompe centrifuge.....	174
Tolérances pour pompes centrifuges.....	175
Définition de la cavitation et de ses conséquences.....	177
Démarrage des pompes à piston.....	178
Pompes à vis horizontales.....	179
Pompes rotatives à pistons.....	183
Mise en service d'une turbine à vapeur.....	186
..	

## Démarrage d'une pompe centrifuge

### Avant démarrage

Vérifiez :

- que la pompe tourne librement à la main ;
- que les fluides auxiliaires (notamment pour garnitures mécaniques) sont bien connectés, puis régler leur débit.

### Démarrage

- Ouvrez la vanne d'aspiration.
- Démarrez la pompe.
- Décollez progressivement la vanne de refoulement. Pendant cette manœuvre, surveillez en permanence la pression de refoulement, ainsi que l'intensité absorbée par le moteur. Si la pompe est bien amorcée, la pression de refoulement baisse légèrement et l'intensité augmente.
- Contrôlez l'absence de fuite.

### Arrêt

Pour arrêter une pompe il est préférable, sauf cas d'urgence, de prévenir la salle de contrôle.

Il faut :

- Démarrer la pompe de secours. S'assurer que son fonctionnement est correct
- Fermer progressivement la vanne de refoulement tout en vérifiant parallèlement la marche de la pompe de secours.
- S'assurer en final qu'elle est bien fermée pour éviter tout dévirage de la pompe.
- Arrêter la pompe. Pour les pompes à graissage auxiliaire, assurer le graissage avec la pompe manuelle jusqu'à l'arrêt complet de la pompe

### Remarques

#### Remplir la pompe

##### ➤ Cas des pompes en charge sur une capacité sous pression

- décollez la vanne d'aspiration ;
- dégazez la pompe par l'évent ou la purge du manomètre ;
- vérifiez à nouveau l'absence d'eau aux points bas (produit de température < 100°C) ;
- bouchonnez les purges et événements ;
- ouvrez la vanne d'aspiration en grand.

##### ➤ Cas des pompes en charge sur une capacité sous vide

- bouchonnez les purges et événements ;
- ouvrez la vanne de dégazage de la pompe vers la capacité de charge et attendez que la pompe se mette sous vide ;
- décollez la vanne d'aspiration ;
- lorsque la pompe est pleine (augmentation de la température du point haut du corps de pompe) : ouvrez la vanne d'aspiration en grand ;
- le dégazage sera fermé lorsqu'on aura mis la pompe en réchauffage.

NOTE : pour les pompes équipées d'une vanne hydraulique sur l'aspiration, la première manœuvre sera faite avec le groupe mobile. On fera ensuite un essai à partir du pupitre.

### **Produit polymérisant**

Si le produit a tendance à polymériser, c .à.d. durcir à l'arrêt :

- arrêtez le moins possible la pompe ;
- tournez la pompe à la main après un arrêt prolongé pour décoller les bagues de garniture.

## Réamorçage d'une pompe centrifuge

### Causes

Les principales causes de désamorçage des pompes sont :

- Perte de niveau dans la capacité de charge.
- Perte de charge trop importante dans la ligne d'aspiration due à :
  - filtre d'aspiration bouché,
  - vanne d'aspiration partiellement fermée,
  - ligne d'aspiration obturée.
- Echauffement de la pompe à la suite d'un dysfonctionnement à débit insuffisant. C'est surtout vrai pour les pompes multi-étagées.
- Pour les pompes sous vide : entrée d'air par les purges ou la garniture mécanique. Vérifiez les bouchons des purges ainsi que le liquide de barrage ou la vapeur de garniture.
- Conditions anormales de fonctionnement entraînant une vaporisation partielle du produit dans la pompe, notamment :
  - baisse de pression brutale dans la capacité de charge,
  - augmentation brutale de la température dans cette même capacité.A signaler que l'arrivée d'eau par l'injection de liquide de barrage provoque le désamorçage à coup sûr.
- Phénomène de cavitation due à l'érosion ou à la corrosion interne de la pompe.

### Réamorçage

- Si une pompe désamorce, commencez par démarrer la pompe de secours.
- Fermez ensuite le refoulement de la pompe désamorcée et arrêtez la.
- Vérifiez ensuite qu'il n'y a pas de poche de gaz dans la pompe en décollant l'évent ou la purge du manomètre.  
Lors de cette manœuvre, attention pour les produits volatils : disposez une lance vapeur si nécessaire.  
  
Prudence également pour les produits très chargés en H<sub>2</sub>S : utilisez un flexible pour dégazer dans un endroit sûr.  
Pour les produits très chauds mieux vaut attendre que la pompe refroidisse.
- On peut également essayer de réamorcer la pompe sans la dégazer.  
Pour cela, redémarrez la pompe, attendez que la pression de refoulement soit normale et décollez progressivement la vanne de refoulement en surveillant la pression de refoulement ainsi que l'intensité. Pour qu'une pompe débite, il ne suffit pas que sa pression soit normale ; il faut en plus que l'intensité absorbée soit normale.  
  
La liaison avec la salle de contrôle est impérative pour ce type de manœuvre.

## Tolérances pour pompes centrifuges

### Roulements

- Chauffés à une température maxi de 110° et démagnétisés.
- Pour les roulements de série 3xxx à encoche de remplissage, celle-ci doit être dans le sens opposé à la poussée axiale.
- Ajustements : roulement standard
  - Logement pour roulement butée J7
  - Logement pour roulement avec déplacement axial possible H7
  - Rectification d'arbre k5
  - Etat de surface Ra0,4

### Arbre

- Saut d'arbre max. 0,03 mm par mètre
- Concentricité portée de –roulement –chemise –impulseur – accouplement : + ou – 30 microns

### Accouplement

- Ajustement : - tolérance de l'arbre m5
  - tolérance de l'alésage H6
  - état de surface Ra 0,8
- Equilibrage : - avec le mobile suivant l'ISO 1940
- Lignage : - flexible valeurs maximales 0,1 mm de défaut de concentricité et 0,05 mm de défaut de parallélisme.

### Impulseur

Ajustement sur : - arbre H7h5 état de surface Ra0,4  
- bague d'usure H6p6 état de surface Ra1,6

**Bague d'usure** : jeu de 0,002 à 0,005 x Dia bague d'usure. Trop de jeu entraîne une perte de rendement.

### Divers

- Frette sans transmission d'effort :
  - alésage H6 - arbre p6 et état de surface Ra0,8
- Emboîtement H7 g7
- Joints toriques H7g6 état de surface Ra0,8
- Joint Paulstra : sur arbre h10 h11, dans boîtier H9 H10
- Calcul du serrage des tores pour joints toriques (au rayon)
  - Sauf PTFE : - profondeur : 0,8 x diamètre de tore
    - largeur : 1,2 x diamètre de tore
  - Pour PTFE : - profondeur : 0,9 x diamètre de tore
    - largeur : 1,2 x diamètre de tore
- Ecrasement standard minimum pour un joint de corps de pompe dit « métallo plastique » : 20% de son épaisseur.

- Perpendicularité

Faces d'appuis impulseur, roulements, chemise, accouplement pour :

des diamètres compris entre 0 et 80 mm + ou – 15 µ

des diamètres compris entre 80 et 200 mm + ou – 30 µ

Faces d'appuis d'emboîtement pour :

des diamètres compris entre 0 et 100 mm + ou – 15 µ

des diamètres supérieurs à 100 mm + ou – 30 µ

- Parallélisme

Pour les pièces prisonnières : chemises, impulseurs, entretoises : 5 µ par longueur de 100 mm

- Dureté

La différence entre deux parties tournantes  
est d'au moins 50 brinell

## Jeu des bagues d'usure

Diamètre de la bague en mm		Jeu diamétral minimum
De	à	mm
<50		0,25
50	65	0,28
65	75	0,30
75	90	0,36
90	100	0,41
100	115	0,41
115	125	0,41
125	150	0,43
150	175	0,46
175	200	0,48
200	225	0,51
225	250	0,53
250	275	0,56
275	300	0,58
300	325	0,61
325	350	0,64
350	375	0,66
375	400	0,69
400	425	0,71
425	450	0,74
450	475	0,76
475	500	0,79
500	525	0,81
525	550	0,84
550	575	0,86
575	600	0,89
600	625	0,91
625	700	0,94

## Définition de la cavitation et de ses conséquences

La cavitation est due à la formation de bulles de vapeur du liquide transporté qui, entraînées à grande vitesse contre les parois, y implosent ajoutant ainsi un effet de pression à l'effet de vitesse.

**La cavitation est un effet très destructeur ; il amplifie très fortement l'effet de corrosion chimique.**

Comment peut-on se retrouver en présence de bulles de vapeur ?

Il suffit d'avoir une augmentation de la vitesse du liquide dans la tuyauterie avec pour conséquence une diminution de la pression pour que le liquide se mette à bouillir.

Les causes principales sont :

- L'encrassement du filtre à l'aspiration des pompes. L'encrassement mène à une réduction de la surface de passage avec pour conséquence une augmentation de la vitesse et une diminution de pression (Bernoulli).
- Un niveau de réservoir trop bas à l'aspiration. S'il est trop bas pour compenser la pression de vapeur du liquide, il y a ébullition, donc cavitation.
- Un démarrage de pompe avec la vanne d'aspiration fermée et la vanne de refoulement ouverte. Le phénomène est semblable à celui du filtre encrassé.

## Démarrage des pompes à pistons

Les pompes à piston sont généralement des pompes de petite capacité utilisées principalement pour le dosage de produits et liquides divers.

On trouvera ci-après uniquement les points qui les différencient des pompes centrifuges

### Démarrage

- Ouvrez les vannes d'aspiration et de refoulement.
- Démarrez ensuite le moteur.

Les pompes à piston sont des pompes volumétriques. De ce fait, la fermeture du circuit de refoulement entraîne l'ouverture de la soupape de décharge vers l'aspiration et même la destruction de la pompe dans certains cas.

### Arrêt

- Arrêtez le moteur.
- Fermez ensuite la vanne de refoulement.

### Vérifications à effectuer si la pompe ne débite pas

- ✓ Le circuit de refoulement est bien ouvert.
- ✓ Le circuit d'aspiration est bien ouvert.
- ✓ Le filtre d'aspiration est propre.
- ✓ La soupape de décharge est étanche.
- ✓ La boîte à clapets fonctionne.
- ✓ Il n'y a pas d'entrée d'air aux presse-étoupes des pistons.



## Pompes à vis horizontales

Les pompes à vis horizontales sont des pompes volumétriques destinées à véhiculer des liquides non corrosifs plus ou moins lubrifiants.

Le corps de pompe comprend en son centre deux tubulures :

- l'une horizontale : ASPIRATION,
- l'autre verticale : REFOULEMENT.

L'aspiration s'effectue aux extrémités des vis et le refoulement à la partie centrale. Cette disposition supprime tout déséquilibre axial.

Une soupape de sûreté, généralement rapportée sur le corps de pompe, protège le moteur contre toute surcharge accidentelle, en mettant en communication le refoulement avec l'aspiration de la pompe lorsque la pression de refoulement dépasse la limite fixée.

### Mise en route

➤ A la première mise en route, **Vérifier** :

- le sens de rotation,
- le niveau d'huile du carter d'engrenage (sur les pompes à paliers extérieurs),
- les graisseurs et les circuits de liquide éventuels,
- que le montage des tuyauteries n'a pas faussé l'alignement, en exerçant des réactions anormales sur le corps de pompe

Le groupe doit tourner à la main, sans point dur anormal.

➤ Si la pompe est en charge, s'assurer qu'elle est pleine de liquide et purgée d'air.

➤ Si au contraire elle fonctionne en dépression à l'aspiration, elle doit être remplie d'une certaine quantité de liquide à pomper, pour assurer l'étanchéité dans les jeux internes. Vérifier l'étanchéité des joints sur la conduite d'aspiration pour pallier toute entrée d'air.

➤ **Réglage de la pompe**

➤ **Pompes à paliers intérieurs** : le liquide à véhiculer doit être préalablement filtré afin d'éliminer toute particule solide en suspension.

➤ **Avant démarrage**:

- ouvrir toutes les vannes du circuit,
- si la pompe est équipée d'une soupape à relevage, ouvrir celle-ci complètement,
- dans les pompes à réchauffage, ouvrir le circuit de vapeur et laisser la pompe atteindre la température à laquelle le liquide doit être pompé ; cette opération doit être progressive pour éviter un choc thermique.

➤ **Après démarrage**:

- dès la vitesse atteinte, fermer progressivement la soupape,
- vérifier la température des paliers et des presse-étoupes ou garnitures mécaniques.
- pendant l'amorçage, purger l'air des tuyauteries de refoulement,
- couper le circuit de réchauffage éventuel de la pompe.

### Entretien

En dehors du graissage, il est recommandé de nettoyer fréquemment les deux crépines placées dans la chambre d'aspiration de part et d'autre de l'orifice, surtout lorsque le liquide véhiculé est fortement chargé en impuretés.

## Démontage

### Points clés :

- Au démontage, contrôler le jeu radial aux engrenages ; il ne doit pas excéder 0,3 mm.
- Lors de l'extraction de l'ensemble vis-palier côté pignons : **NE JAMAIS S'AIDER EN FRAPPANT SUR LES EXTREMITES D'ARBRES.**
- Contrôler le jeu axial des roulements de butée ; il ne doit pas excéder 0,2 mm.
- **AVANT D'EXTRAIRE LES PIGNONS, NE PAS OMETTRE** de les repérer l'un par rapport à l'autre afin de pouvoir les remonter tels qu'engrenés à l'origine.
- **PRENDRE GARDE DE NE PAS PERDRE NI MELANGER** les cales d'épaisseur placées contre les roulements. Celles-ci ont été réglées en épaisseur sur chaque pompe, pour assurer l'équilibrage du jeu latéral des vis, lorsque les pignons sont engrenés.

## Remontage

**NE PAS OMETTRE DE REPLACER LES CALES DE REGLAGE SUIVANT LEUR REPARTITION D'ORIGINE.**

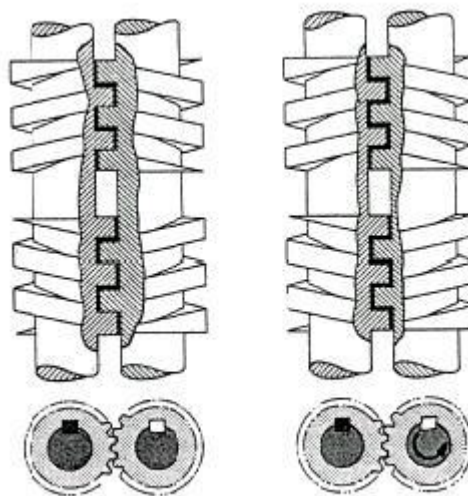
**CONTROLLER LE JEU LATERAL ENTRE FLANCS DE VIS.**

Il doit être le même sur les deux flancs de chaque vis.

- Si les pièces d'origine n'ont pas été changées et si les cales de réglage ont été correctement remplacées, ce réglage se fera automatiquement.
- Si au contraire une pièce intervenant dans l'empilage ou les engrenages a été remplacée, ce réglage doit être effectué comme décrit ci-après.

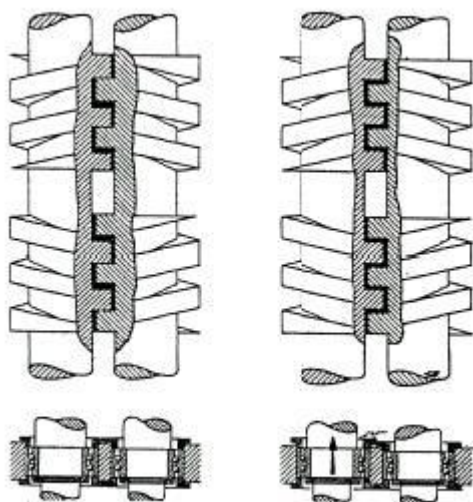
### **Réglage radial**

- Chasser de l'une des deux vis la clavette de pignon et remonter le pignon correspondant, en le faisant engrener avec l'autre, les rainures de clavetage entre vis et pignon restant alignées.
- Tourner progressivement la vis jusqu'à obtenir un jeu latéral équilibré entre flancs de filets.
- Relever avec précision le décalage entre les deux rainures de clavetage pour exécuter une clavette spéciale à face déportées, qui permettra de maintenir définitivement la vis dans la position réglée.

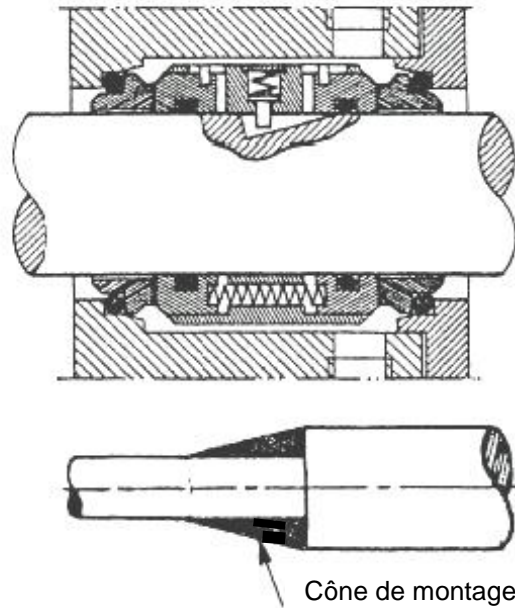


## Réglage axial

- Retirer l'un des deux couvercles extérieurs du palier de butée.
- Ajouter ou retirer des cales d'épaisseur contre la bague extérieure du roulement correspondant pour déplacer latéralement une des vis par rapport à l'autre.
- Remonter le couvercle extérieur en serrant uniquement les vis courtes.
- Terminer en fixant le couvercle intérieur correspondant par les vis longues.



- VERIFIER LE JEU LATERAL DES ROULEMENTS OPPOSES A LA BUTEE.  
Ils ne doivent pas être bridés par leurs couvercles et le jeu minimum doit être de :
  - 0,5 mm pour les roulements à billes,
  - 0,1 mm pour les roulements à rouleaux
- GARNITURE MECANIQUE.  
La garniture mécanique est souvent du type qui figure ci-après.  
Afin de faciliter la mise en place des bagues tournantes, pour faire escamoter l'ergot à ressort et en même temps éviter de détériorer les joints toriques, il est vivement conseillé de placer un petit cône de montage contre l'épaule de l'arbre.



Cône de montage

## Incidents de fonctionnement

### La pompe ne s'amorce pas

- Premier remplissage oublié.
- Entrée d'air exagérée à l'aspiration.
- Obstruction partielle de la tuyauterie ou vanne fermée sur le circuit.
- Mauvaise purge d'air au refoulement.
- Soupape ouverte.
- Hauteur d'aspiration trop grande, ou tension de vapeur exagérée.
- Tuyauterie d'aspiration trop petite ou mal tracée, donnant des pertes de charge exagérées.
- La pompe ne tourne pas dans le sens indiqué.

### Résonances

- La pompe tourne à l'envers.
- La pompe est fixée à un support résonnant.
- Les plateaux d'accouplement ne sont pas alignés.
- Mauvaise alimentation ou entrée d'air.
- Tuyauterie de refoulement mal purgée.
- Tuyauteries mal serrées.

### Insuffisance de débit

- La pompe ne tourne pas à sa vitesse
- Soupape ouverte ou mal réglée.
- Vanne ou organe mal ouvert sur le circuit.
- Entrée d'air.
- Hauteur manométrique d'aspiration trop forte.

### Le moteur chauffe

- Moteur surchargé.
- Vanne partiellement fermée sur le circuit.
- Soupape mal tarée.

### Le manomètre oscille

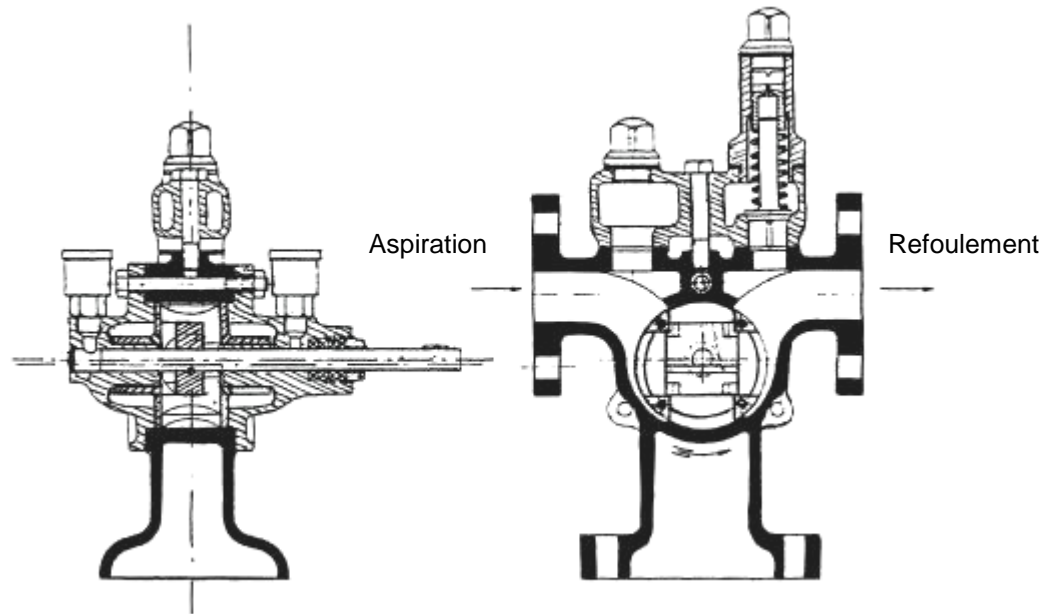
- Présence d'air ou de gaz dans la pompe.
- Soupape mal réglée.
- Vitesse du moteur irrégulière.

## Pompes rotatives à pistons

### Fonctionnement

La (les) croix entraînée par l'arbre de commande provoque, par l'intermédiaire des pistons, la rotation du cylindre excentré. Il en résulte par rapport à celui-ci un mouvement relatif radial de la (les) croix qui entraîne les pistons selon leur course.

a course totale est donc égale au double de l'excentration



### Incidents de marche

#### Manque d'alimentation

- Hauteur d'aspiration trop grande.
- Tuyau trop petit ou écrasé.
- Clapet de crépine trop lourd étranglant le liquide.
- Joints défectueux obstruant le tuyau.
- Contre-pentes formant poches d'air.
- Si la pompe est branchée directement sur l'eau de ville, le compteur ne débite pas assez.

Le manque d'alimentation sera aisément décelé par un manomètre indicateur de vide vissé à la place du bouchon d'aspiration.

### Résonances

- La pompe tourne à l'envers.
- La pompe est fixée sur un support résonnant (plancher ou cloison).
- Les plateaux d'accouplement ne sont pas alignés. Vérifier avec un réglet.
- Les tuyaux de refoulement sont mal serrés dans leur collier ou touchent des parties métalliques.
- Le cuir des plateaux est usé. Les bouteilles à air sur l'aspiration et le refoulement ont été omises.

Si malgré tout l'installation fait du bruit, raccorder la pompe aux tuyaux d'aspiration et de refoulement par un tuyau caoutchouc à spirale ployée, longueur 0,5 m à 0,8 m.

### **La pompe tourne trop vite**

- Si la pompe est accouplée à un moteur électrique monophasé, débloquer le collier porte-balais. Faire tourner l'ensemble à droite ou à gauche pour régler la vitesse. Ne pas dépasser une certaine position, car le moteur ne démarrerait plus.
- Avec un moteur à courant continu : tension aux bornes supérieure à celle prévue par le moteur.
- Pompe à courroie : réduire la vitesse en changeant le rapport des poulies.

### **La pompe ne s'amorce pas**

- Vérifier l'étanchéité de la conduite d'aspiration en l'emplissant d'eau par le bouchon prévu sur la pompe. Si l'eau s'écoule, vérifier les joints et la crépine à clapet.
- Vérifier si la pompe tourne bien dans le sens indiqué.
- Vérifier si le tuyau d'aspiration n'est pas branché au refoulement. En plaçant la main sur l'orifice d'aspiration et en mettant la pompe en route, on doit sentir une succion.
- Vérifier si la crépine est bien noyée.
- Vérifier la hauteur d'aspiration (pas plus de 8 mètres).
- Vérifier le graissage de la pompe.
- Le clapet de pied peut être collé.
- Si la pompe est munie d'un by-pass, le ressort peut être desserré, ou un corps étranger peut se trouver sous le clapet du by-pass.
- Si un clapet de retenue est monté sur l'aspiration, vérifier s'il n'est pas monté à l'envers.

### **La pompe s'amorce et cale**

Les causes peuvent être :

- Conduite de refoulement obstruée : robinet fermé ou coude écrasé.
- Crépine percée laissant passer les corps étrangers.
- Moteur trop faible ou mal branché.
- Perte de charge dans tuyaux trop étroits.

### **Le débit de la pompe est trop faible**

- La pompe ne tourne pas à sa vitesse.
- La conduite d'aspiration n'est pas étanche.
- Le ressort du by-pass est détendu ou son clapet doit être vérifié.
- La hauteur de refoulement est trop forte pour la pompe.
- La pompe peut être usée par un liquide boueux ou sableux.

## **Démontage**

Retirer :

- la pompe de son socle, en débridant les tuyauteries, et la poser sur un établi,
- le plateau d'accouplement avec un arrache pignon,
- les vis des deux flasques sur le corps.

Extraire d'abord bien droit le flasque opposé à l'accouplement, puis celui correspondant au bout d'arbre avec lequel vient tout le rotor.

On peut alors libérer les pistons en dévissant les vis qui assemblent les demi cylindres.

### **Remontage**

Toutes les pièces devront être soigneusement nettoyées et leur remontage effectué avec beaucoup de soins, pour retrouver exactement les ajustages précis effectués à l'origine.

Toutes les pièces sont repérées en position au démontage, afin de les remonter exactement dans le même ordre et la même position.

Reprendre les opérations de montage dans l'ordre inverse du démontage.

Pour les pompes avec roulements, les précautions suivantes doivent être prises :

- Chaque roulement doit être nettoyé et soigneusement vérifié.
- S'il comporte des traces d'écaillage sur les billes ou les portées, il doit être impitoyablement rebuté et changé.
- Une légère usure est admissible, si les portées sont parfaites.

Le remontage des vis assemblant les éléments du cylindre doit être fait soigneusement en bloquant énergiquement.

Les deux flasques doivent être remontés et serrés progressivement en vérifiant que la pompe tourne sans point dur, ce qui indique une parfaite concentricité par rapport au corps de pompe.

## **Mise en service d'une turbine à vapeur**

### **Démarrage**

- Vérifiez le niveau et la qualité de l'huile des paliers. Attention à la présence d'eau.
- Vérifiez que la circulation d'eau de réfrigération est correcte.
- Ouvrez toutes les purges, corps de turbine, régulateur de vitesse, ligne d'alimentation et ligne d'échappement.
- Vérifiez que la turbine tourne librement.
- Enclenchez le levier de survitesse. Vérifiez que son graissage est assuré. Manœuvrez la bielle du régulateur pour s'assurer qu'il n'est pas bloqué.
- Ouvrez la vanne d'échappement vers la vapeur BP.
- Ouvrez le by-pass du clapet à l'échappement (permettant de maintenir cette ligne sous vapeur), si la turbine en est équipée ( ce qui n'est pas général ).
- Décollez le by-pass de réchauffage sur l'admission.
- Réduisez les purges manuelles. Vérifiez que les purgeurs fonctionnent.
- Attendez que le corps de turbine soit en température.
- Ouvrez la vanne d'admission vapeur HP.
- Fermez les purges manuelles après s'être assuré que la vapeur est bien sèche à toutes les purges.
- Faites un essai de déclenchement de la survitesse en poussant le levier manuel pour s'assurer que le système fonctionne.

### **Remise en service après déclenchement**

- Décollez les purges manuelles pour s'assurer qu'il n'y a pas d'eau dans le corps de turbine.
- Fermez la vanne d'admission et son by-pass.
- Fermez la vanne d'échappement et son by-pass.
- Ouvrez la purge de régulateur en grand pour le dégonfler.
- Réarmez la survitesse. Certains régulateurs de fabrication récente peuvent être réarmés sans qu'il soit nécessaire de dégonfler.
- Fermez les purges.
- Ouvrez la vanne d'échappement.
- Ouvrez l'admission.
- Vérifiez qu'il n'y a pas de vibrations anormales. Au besoin faites vérifier la vitesse de rotation.



### **Mise en sécurité**

- Fermez l'admission vapeur.
- Fermez l'échappement vapeur.
- Dégonflez la turbine.
- Déclenchez la survitesse.

# Hydraulique

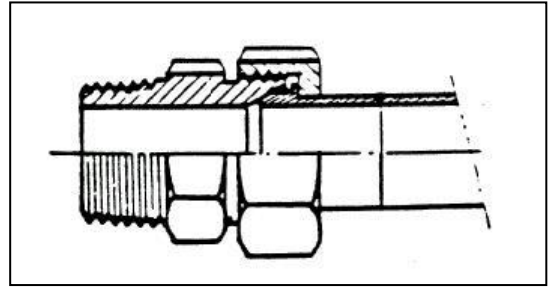
	Page
Raccordements.....	189
Remplissage des réservoirs hydrauliques.....	190
Filtration hydraulique.....	191
Précautions avec les pompes hydrauliques.....	193
Particularités des distributeurs hydrauliques.....	196
Précautions avec les tuyauteries hydrauliques.....	197
Précautions avec les vérins hydrauliques.....	198
Accumulateurs : contrôle de la pression sur l'azote.....	200
Accumulateurs : contrôle de la pression sur l'huile.....	202

## Raccordements

### Raccords avec embout à souder

Il s'agit de raccords trois pièces possédant un embout à souder sur le tube.

L'étanchéité est assurée par les portées coniques de l'embout et du tube. Elle est généralement excellente, la soudure permettant de plus une étanchéité totale.



On peut tenir des pressions de 500, voire 600 bars.

L'écrou doit être monté avant soudage, opération que l'on peut être amené à faire en position sur le montage.

Le montage avec embout à souder peut être utilisé comme dépannage à la suite d'un incident à un raccordement. Il permet une remise en route rapide, en limitant la réparation.

### Filetages

Deux types :

- les filetages cylindriques : ISO, Whitworth cylindrique (gaz cylindrique)
- les filetages coniques : Whitworth conique (gaz conique) et briggs.

Pour le Gaz conique et le Briggs, l'étanchéité n'est pas toujours totale. On peut l'améliorer :

- ✓ en enroulant un ruban téflon sur les filets de la pièce mâle en prenant soin de laisser entièrement libres les premiers millimètres du filetage ( pour éviter de cisailer le ruban lors du montage et d'envoyer des morceaux dans la tuyauterie ) ;
- ✓ en plaçant, entre les pièces à étancher, une résine de type loctite que l'on laissera sécher avant de monter en pression.

### Raccordements par brides

#### 1. Préparation :

Un décapage soigné du tube et son traitement sont absolument indispensables avant montage.

Les tubes ainsi préparés doivent être stockés bouchés, les bouchons plastiques étant maintenus par des plaques d'obturation.

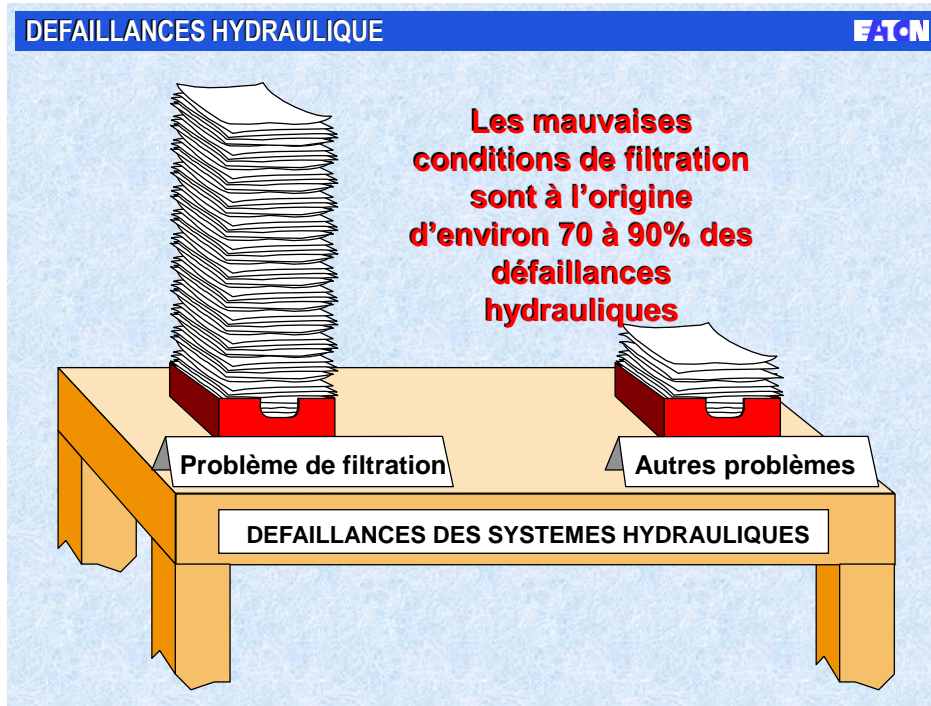
#### 2 Montage :

Il doit être fait proprement avec des tubes en ligne et des brides bien parallèles.

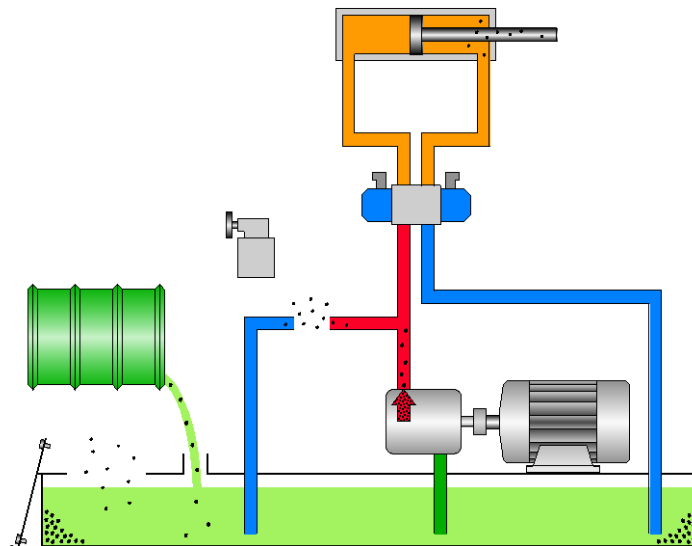
### Remplissage des reservoirs hydrauliques

- ➔ Le volume de l'huile emmagasinée dans le réservoir est généralement compris entre 2 et 3 fois le débit minute de la ou des pompes installées.  
De plus il faut prévoir un espace libre au-dessus du bain d'huile, ce qui fait que le volume total du réservoir représente 3 à 4 fois le débit minute.  
  
Toutefois si l'installation comporte des vérins simple effet, il faut tenir compte de la variation de volume apportée par le fonctionnement de ces vérins et vérifier que :  
toute l'huile contenue dans les vérins peut bien retourner au réservoir et laisser un volume libre suffisant pour le dégazage ( 10 à 20% ).  
toutes les crépines sont encore immergées d'au moins 20 cm quand tous les vérins sont alimentés.
- ➔ Un soin particulier doit être apporté à l'aspiration et aux raccordements de la tuyauterie d'aspiration, pour éviter toute entrée d'air.  
L'air dans l'huile provoque :
  - un échauffement anormal,
  - des chocs dans la pompe,
  - des mouvements irréguliers dans les vérins et moteurs,
  - une détérioration de l'huile.
- ➔ Pour protéger l'intérieur du réservoir des effets de la condensation et de l'action chimique du fluide, les parois doivent être recouvertes d'un produit isolant.  
Pour les fluides ininflammables on utilise une peinture isolante spéciale compatible avec le fluide ou, mieux, un bac en acier inoxydable.
- ➔ Dans le réservoir, on va retrouver toutes les impuretés, liquides, solides ou boues entraînées par l'huile.  
Il faut donc périodiquement le nettoyer
  - vidange,
  - grattage si nécessaire,
  - rinçage ( avec un solvant compatible avec le fluide ),
  - séchage et dépoussiérage.
- ➔ Avec l'hydraulique proportionnelle, il faut toujours remplir avec de l'huile filtrée à 3 ou 10  $\mu$
- ➔ Ne pas oublier de purger les vérins et au niveau du bloc hydraulique après vidange complète et remplacement de l'huile.

## Filtration hydraulique



La pollution de l'huile hydraulique peut avoir plusieurs origines

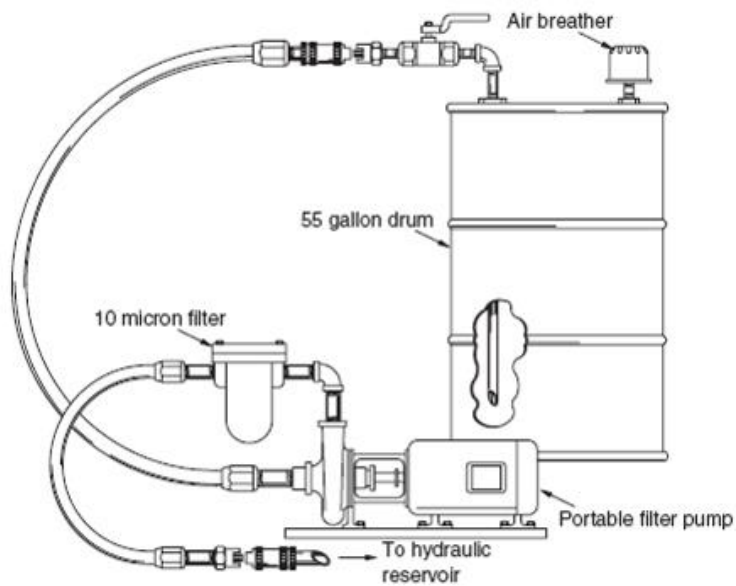


Un bon fonctionnement de l'hydraulique proportionnelle nécessite une filtration à  $10\mu$ , ce qui est très très peu. Sinon les servo valves ou autres distributeurs proportionnels fonctionnent très mal.

Différentes règles contraignantes doivent être respectées :

- Toujours **remplacer les pièces avec des gants propres** et appropriés pour ce genre d'intervention. Garder les filtres dans leur emballage plastique jusqu'au remplacement.
- **Remplacer systématiquement tous les filtres** dont les filtres d'air aux reniflards des réservoirs.

- Bien sûr toujours remplir avec de l'huile filtrée à 10  $\mu$ .
- Stocker les pièces neuves ou réparées dans des endroits propres.
- Tous les 3 mois faire des **recyclages** avec des appareils similaires à celui figurant ci-après. Ces recyclages doivent se faire par circuit quand les vérins sont petits et éloignés du réservoir.



## Précautions avec les pompes hydrauliques

### Remarques générales concernant le montage et la mise en service

La pompe possède deux ou trois orifices :

- l'aspiration, qui est le plus gros orifice lorsque la pompe n'a qu'un sens de débit.
- le refoulement,
- le drain lorsque la pompe est à fuite externe : c'est le plus petit des orifices.  
Il est toujours placé à la partie haute de la pompe, et on s'en sert pour le remplissage de la pompe avant la première mise en service.

L'alignement de la pompe et de l'arbre d'entraînement doit être particulièrement soigné : au maximum 1° de faux alignement et 1 à 2/10 mm de faux parallélisme.

Lors de la première mise en service, démarrer le moteur par petites impulsions pour bien vérifier le sens de rotation et contrôler l'apparition de fuites éventuelles.

A noter que certaines pompes ayant une faible dépression doivent être obligatoirement alimentées en charge.

Si la pompe doit être gavée : respecter la pression de gavage recommandée par le constructeur.

Si la pompe est montée en lunette, il est souhaitable que celle-ci ait une ouverture pour désaccoupler, vérifier le sens de rotation et contrôler périodiquement s'il n'y a pas de fuites sur le bout d'arbre.

### Remarques particulières concernant le montage et la mise en service

#### ➔ Pompes à engrenages

- Se rappeler que lorsque l'on augmente la vitesse de rotation on constate que :
  - l'on augmente le débit,
  - l'on augmente le rendement volumétrique,
  - mais en revanche on diminue la durée de vie de la pompe.

La durée de vie d'une pompe est déterminée pour une vitesse de rotation et une pression.

Si les valeurs d'exploitation sont différentes des valeurs de référence, la durée de vie est :

- ✓ inversement proportionnelle aux vitesses de rotation : si l'on double la vitesse de référence, la durée de vie est divisée par deux ;
- ✓ proportionnelle à l'inverse du cube des pressions : si l'on double la pression de référence, la durée de vie est 1/8 de la durée estimée.

- Veiller au bon montage de l'étanchéité : presse-étoupe ou garniture mécanique.

#### ➔ Pompes à vis

Veiller à mettre un peu de graisse entre les 2 joints à lèvres.

### ➔ Pompes à pistons en ligne

- Avant la mise en service, les cylindres doivent être remplis d'huile et purgés au moyen des vis de purge placées en culasse.  
L'alimentation de la pompe sera particulièrement soignée : tube largement dimensionné, court et droit sortant d'un réservoir en charge sur 300 à 500 mm.
- Veiller au bon raccordement des conduits ( les raccordements des orifices de refoulement sont différents suivant les types et les montages ).
- Il faut un fluide hydraulique en excellent état filtré généralement à 10 $\mu$ .

### ➔ Pompes à pistons radiaux à bloc cylindre tournant

En modifiant l'excentration de l'anneau on peut obtenir une pompe à débit réglable, soit par vis, soit par volant.

Dans le cas d'un réglage par vis, vérifier que les deux vis qui maintiennent l'anneau en position sont bien bloquées.

### ➔ Pompes à palettes

Veiller au bon raccordement des orifices d'aspiration et de refoulement ( souvent 2 orifices d'aspiration et 2 orifices de refoulement diamétralement opposés ).

### ➔ Pompes à pistons axiaux à plateau incliné à barillet fixe

- L'aspiration sera orientée à la partie la plus haute, de manière à conserver un carter plein même à l'arrêt.
- Sens de rotation : du fait de leur distribution, ces pompes ont obligatoirement un sens de rotation déterminé, qui ne peut être inversé.
- Hauteur de charge : le réservoir sera monté en charge, ou le cas échéant la pompe peut être immergée dans le réservoir.  
Si le réservoir doit être pressurisé, s'informer auprès du constructeur de la limite de pression à ne pas dépasser pour le joint d'étanchéité de l'arbre.

### ➔ Pompes à pistons axiaux à plateau incliné à barillet tournant

Le drain doit toujours être placé en partie haute afin de conserver un carter toujours plein d'huile

L'aspiration doit être particulièrement soignée : tuyauterie largement dimensionnée, courte, droite avec un filtre sur aspiration de 80-90  $\mu$  et ayant une capacité de 3 débits pompe.

### ➔ Pompes à palettes à cylindrée variable

- Le réglage du débit est obtenu par une butée réglable (vis) qui définit l'excentration maximale au repos.
- Cas d'une pompe à palettes auto-régulatrice à 2 étages de pression :
  - .- en basse pression le tarage du compensateur limite la pression de refoulement, alors qu'en haute pression c'est le limiteur de pression qui effectue cette fonction,
  - .- la séparation des fonctions est faite par l'électrovanne.



- Veiller à respecter le sens de rotation prescrit ( ces pompes ne tournant que dans un seul sens qui doit être défini à la commande ).

### ➔ Pompes à pistons radiaux à cylindrée variable

Tarage du régulateur de pression par une vis

Tant que la pression de refoulement est inférieure au tarage du régulateur, le piston de commande est alimenté, et l'excentration de l'anneau est maximale. La pompe est à son débit maximal

Lorsque la pression approche la valeur du tarage, le piston de commande est progressivement purgé, et le contre-piston recentre l'anneau. Le débit pompe est réduit.

### ➔ Pompes à pistons à cylindrée variable et barillet inclinable

- Le drain doit être au-dessus de la pompe afin de la conserver pleine d'huile.
- Réglage du débit : suivre strictement les recommandations du constructeur.

Rappelons que les systèmes de réglage sont nombreux :

- .- commande manuelle : un système vis-écrou provoque le déplacement angulaire de l'étrier (ne pas oublier de bloquer la vis par le contre écrou).
- .- commande hydraulique par compensateur de pression : tarage d'un ressort qui définit la pression que l'on veut obtenir.
- .- commande électro-hydraulique (avec servo-valve).

### ➔ Pompes à pistons à cylindrée variable à plateau inclinable

La variation de cylindrée est obtenue en modifiant l'inclinaison du plateau.

Différents modes de commandes :

- manuelle par levier (le levier doit être maintenu en position par un dispositif qui assure la stabilité du débit)
- par volant (système roue et vis commandé par un volant) : serrer la vis de blocage pour assurer la stabilité du débit,
- hydraulique par compensateur de pression,
- par moteur électrique,
- électro-hydraulique par servo-valve.

### Particularités des distributeurs hydrauliques

#### Blocage du tiroir

Il peut y avoir blocage du tiroir par accumulation des fuites dans une chambre fermée.  
A noter que des recouvrements importants conduisent à des courses de tiroir exagérées et favorisent le collage hydraulique.

#### Coups de bélier

Ils peuvent être atténués par des chanfreins ou encoches sur le tiroir, ou par un petit accumulateur monté en amont du distributeur.

#### Electroaimant à courant continu

Quand on dépasse 60 V en tension d'alimentation, il est nécessaire de réaliser une protection par une capacité afin d'éviter la formation d'un arc destructeur lors de l'ouverture du circuit.

#### Electroaimant à courant alternatif

Une pointe de courant élevée à l'appel, avec risque grave que celle-ci se maintienne partiellement, si l'on n'a pas de déplacement rapide et total du moyen : dans ce cas il y a échauffement de la bobine qui peut aller jusqu'à sa destruction.

Le déplacement très rapide du tiroir de distribution est générateur de coups de bélier.

Il faut limiter la cadence à deux inversions par seconde, pour une question d'évacuation des calories.

Par ailleurs, si on garde en maintien la commande manuelle il y a risque, à court terme, de destruction de la bobine par échauffement.

### Précautions avec les tuyauteries hydrauliques

- ➔ Les tuyauteries doivent avoir le minimum de coudes, bien que ceux-ci soient utiles pour absorber les dilatations.

#### Préparation au montage :

- Le rayon de cintrage du tube doit être égal à au moins trois fois le diamètre extérieur du tube.
- Aux extrémités, on doit laisser une partie droite qui permettra le montage correct des raccords.
- Les tuyauteries doivent être ébavurées et nettoyées après cintrage.
- Les tuyauteries doivent ensuite être décapées et phosphatées intérieurement et extérieurement ( chimidérrouille ou phosphéral )
- Elles sont alors stockées huilées, bouchées aux deux extrémités par des embouts plastiques.

#### Montage

- Les tuyauteries seront bridées aux parois ou sur le bâti au moyen de colliers ou de taquets.
- Ceux-ci seront espacés de 0,8 à 1,5 m selon la configuration du tracé, la pression de service et les points de pression possibles.
- Les tuyauteries seront maintenues fermement à chaque changement de direction de la veine fluide.

## Précautions avec les vérins hydrauliques

### ➤ Travailler toujours dans l'axe

Le vérin ne supporte pas les contraintes radiales.  
Il doit travailler en poussant ou de préférence en tirant mais toujours dans l'axe.  
Si la course est importante vérifier la tige au flambage.

### ➤ Protéger la tige du piston

Il faut respecter scrupuleusement l'état de surface de la tige : pas de pinces, toile émeri ou autre.  
Quand cela est possible : protéger les tiges contre les projections diverses.

### ➤ Liberté des flexibles

Il faut veiller à la liberté des flexibles, et contrôler la totalité de leur débattement.

### ➤ Accessibilité

On doit réserver une bonne accessibilité aux purges, réglages de vitesse et d'amortissement.

### ➤ Purger l'air

A la mise en route, les deux chambres d'un vérin doivent être remplies d'huile et purgées d'air (à répéter jusqu'à ce que l'huile ne soit plus émulsionnée).

Ce qui nécessite les précautions de montage suivantes :

- toujours placer les orifices de purge à la partie supérieure du vérin ;
- pour un vérin horizontal, dans la mesure du possible placer les conduites d'alimentation à la partie supérieure ce qui facilite une purge naturelle du vérin ;
- s'il y a un drain de cartouche, celui-ci doit être raccordé à la conduite de drain.

### ➤ Régler l'amortissement

Lorsque les masses déplacées sont importantes ou lorsque les vitesses sont supérieures à 0,2 m/s, un amortissement est prévu.

L'amortissement peut être réalisé par un système :

- Interne au vérin : dans ce cas le réglage s'obtient au moyen d'une vis pointeau ;
- externe au vérin, par exemple à l'aide d'une soupape de décélération.

### ➤ Régler les vitesses

Rappelons que le réglage des vitesses peut être fait :

- sur l'entrée,
- en sortie de vérin,
- par soustraction,

( respecter les recommandations du constructeur )

### ➤ Vérifier la synchronisation

Lorsqu'il y a plusieurs vérins, il faut vérifier que la synchronisation est bien effective.

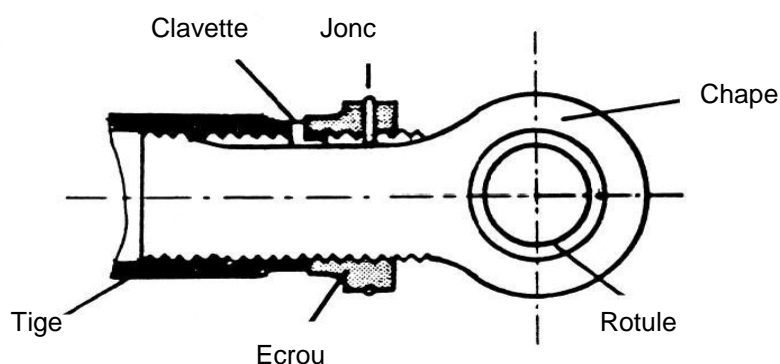
### ➤ Remplacement de l'étanchéité

L'étanchéité de la tige de piston est généralement assurée par des joints placés dans une cartouche facilement démontable.

### ➤ Réglage

A la mise en place du vérin, il est parfois nécessaire de raccourcir ou d'allonger la tige du piston afin d'obtenir le débattement souhaité de l'ensemble manœuvré.

Cette opération s'obtient en jouant sur le filetage qui solidarise la tige à la chape.



Il faut noter que dans les opérations de montage, il est déconseillé de tourner l'ensemble tige-piston par rapport au corps du vérin pour éviter la détérioration des garnitures.

Ne pas oublier de graisser régulièrement la rotule

## Accumulateurs : contrôle et remplissage en azote

### Périodicités de contrôle

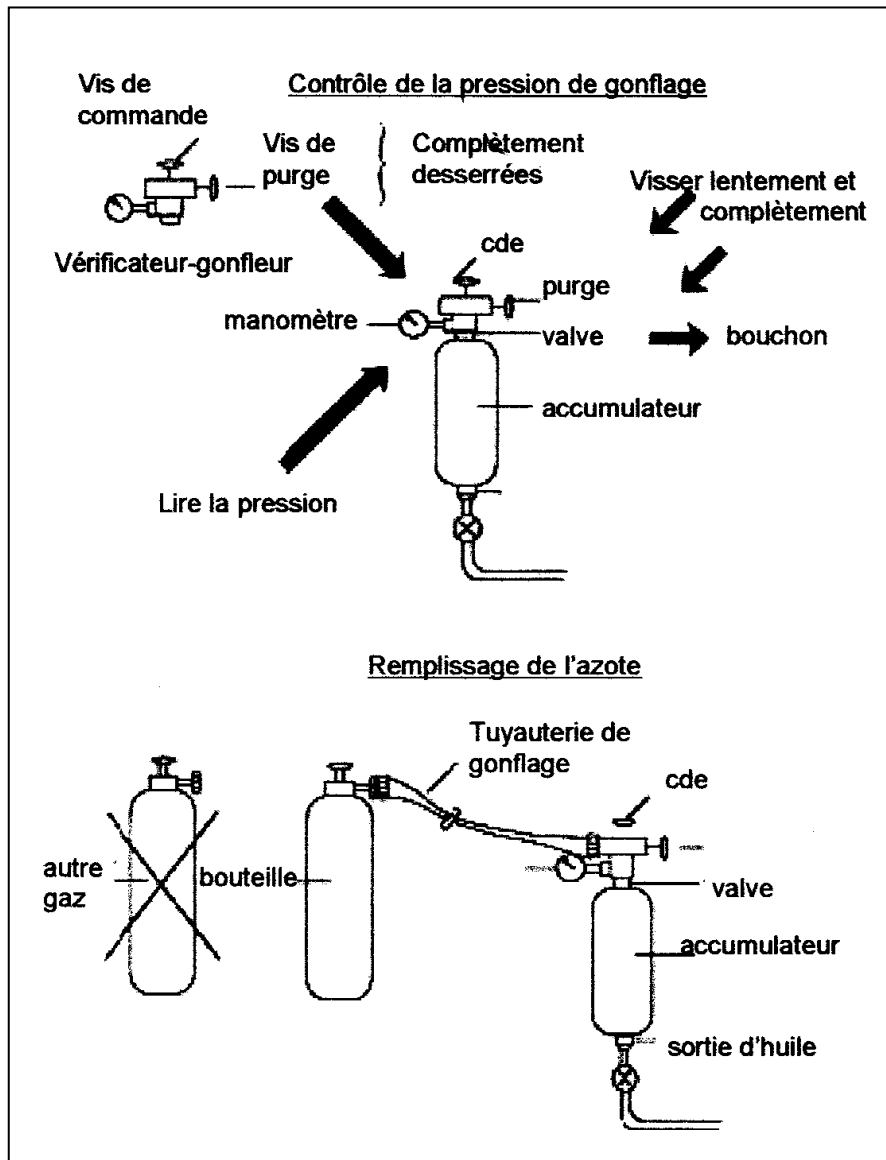
- A la première mise en service : au bout de 50 heures.
- Ensuite augmenter progressivement les fréquences pour aboutir à la périodicité finale : 1000 à 1500 heures selon les conditions d'exploitation.

### Contrôle de la pression de gonflage

- S'assurer que l'accumulateur est complètement déchargé côté huile et que l'huile de la conduite raccordée à l'accumulateur est à la bêche :  $P = 0$ .
- S'assurer que la vis de purge et la vis de commande du clapet sur le vérificateur sont complètement desserrées.
- Oter le bouchon ou le chapeau qui recouvre la valve de gonflage de l'accumulateur et monter à la main le vérificateur gonfleur.
- Serrer complètement la vis de purge.
- Visser lentement la vis de commande du clapet ( à la main on doit sentir l'instant où la vis entre en butée avec le clapet ).
- Contrôler la pression.

### Remplissage en azote

- Raccorder le flexible spécial au vérificateur gonfleur et à la bouteille d'azote.
- Ouvrir le robinet de la bouteille d'azote très progressivement, et contrôler la pression au manomètre.
- Le remplissage étant terminé :
  1. fermer la bouteille d'azote,
  2. desserrer complètement la vis de commande du clapet,
  3. démonter le vérificateur après contrôle de la pression au manomètre (  $P = 0$  )
  4. démonter le flexible en commençant côté vérificateur,
  5. remonter le bouchon ou chapeau sur la valve de l'accumulateur.



### **Accumulateurs : contrôle sur l'huile**

- Monter un manomètre en sortie sur l'accumulateur.
- Charger l'accumulateur au moyen de la pompe, puis, la pression maximale étant atteinte, isoler la pompe.
- Purger alors lentement l'accumulateur au travers du limiteur de débit réglé au minimum.
- Observer attentivement le manomètre.

L'aiguille descend lentement pendant la décharge. Arrivée à la pression de gonflage, la soupape de l'accumulateur se ferme, poussée par la vessie.

N'ayant plus de débit dans la conduite qui se purge, la pression tombe brusquement à zéro.

La pression lue, juste avant cette chute, correspond à la pression de gonflage.

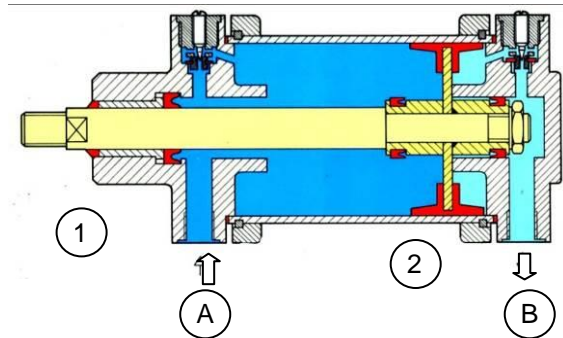
- Répéter l'opération plusieurs fois pour être certain de la lecture.



# Pneumatique

	Page
Contrôle d'usure d'un vérin pneumatique.....	204
Réglage de la vitesse d'un vérin pneumatique.....	205
Réglage de l'amortissement d'un vérin pneumatique.....	206

## Contrôle d'usure d'un vérin pneumatique



Les 2 points d'usure essentiels sont en (1) et en (2) (piston avec ou sans joints à lèvres ou profilés )

Pour (1) il suffit de contrôler l'absence de fuite externe.

Pour (2) il faut amener le piston à fond (côté droit) et vérifier l'absence d'arrivée d'air en (B) , en plongeant l'embout d'une tuyauterie dans un seau d'eau , puis d'observer s'il y a ou non des bulles d'air.

C'est une opération simple qu'on ne peut pas malheureusement pratiquer avec les vérins hydrauliques.

On pourrait aussi contrôler la vitesse de déplacement, mais ce n'est pas toujours facile à réaliser.

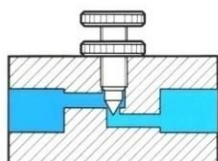
## Réglage de vitesse d'un vérin pneumatique

La vitesse de travail d'un vérin pneumatique peut être réglée par étranglement, soit par l'orifice d'admission, soit sur l'orifice d'échappement ou soit sur les 2 orifices à la fois ( cas des vérins double effet )

Ce réglage se fait à l'aide de limiteurs de débit.

Comme son nom l'indique , le limiteur de débit sert à modifier le débit d 'air , ponctuellement dans un circuit pneumatique selon un réglage défini.

Le réglage se fait par une vis blocable qui étrangle le passage de l 'air comprimé

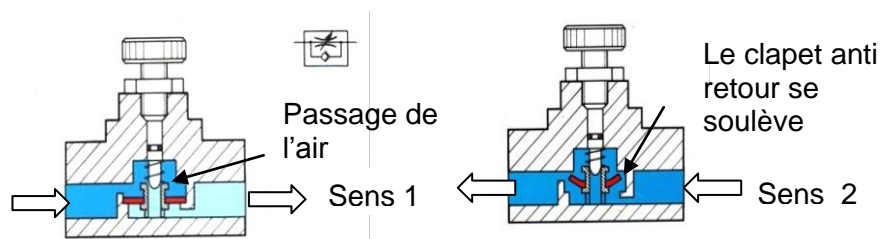


Pour le contrôle de la vitesse des vérins l'étranglement n 'agit que dans un seul sens

Le clapet anti retour assure le plein débit dans le sens opposé

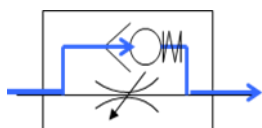
Généralement ces limiteurs sont directement intégrés dans des raccord qui sont montés sur les orifices des vérins

Un limiteur de débit ne doit jamais être complètement fermé

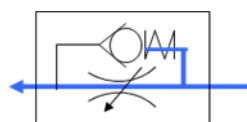


Plein passage dans un sens

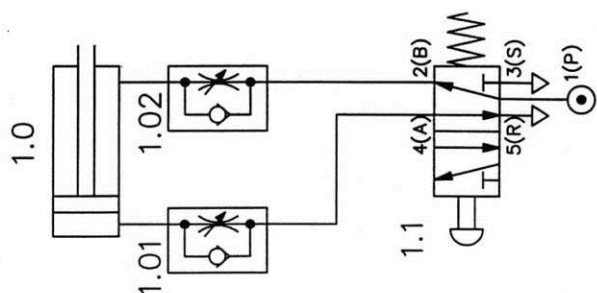
Passage réduit dans l'autre sens



L 'air pousse la bille du clapet assurant un plein passage



La bille est poussée sur le siège et l 'air est obligé de passer par la restriction réglable



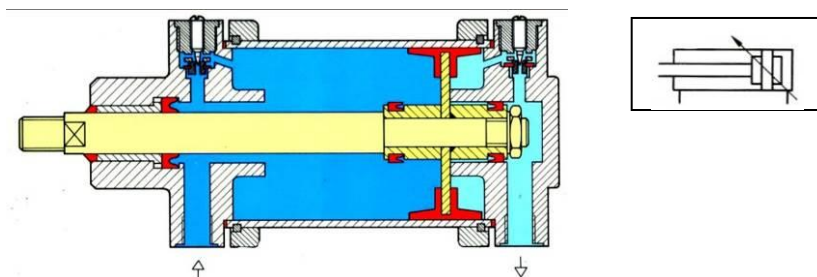
L'air entre librement dans le vérin et l'étranglement se fait à l'échappement. C'est toujours ce montage que l'on adoptera en standard lors de réglage de vitesse sur un vérin

Montez chaque limiteur avec le symbole orienté comme sur le schéma.

Pour ralentir la tige en **sortie** : Régler sur l'orifice de **devant**

Pour ralentir la tige en **rentrée** : Régler le sur l'orifice de **derrière**

## Réglage de l'amortissement d'un vérin pneumatique



### Rôle de l'amortissement:

Pour des masses importantes en mouvement et éviter chocs et vibrations.

### Fonctionnement :

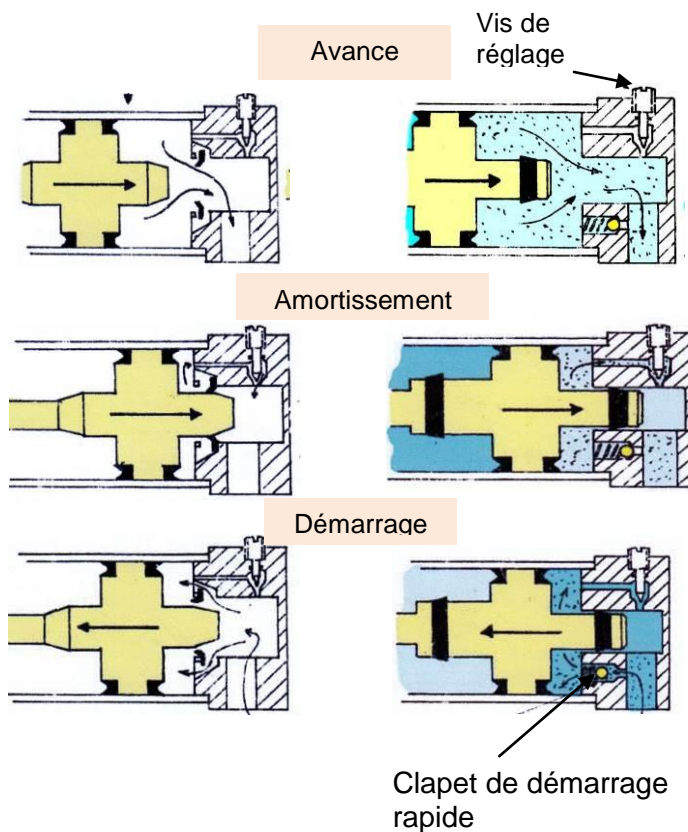
- Piston d'amortissement
- Interruption de l'échappement direct
- Etablissement d'un coussin d'air dans l'espace obturé
- Faible passage d'évacuation réduisant progressivement la vitesse à travers un limiteur réglable.
- A l'inversion, l'air pénètre librement en soulevant la bille du clapet anti retour et le piston peut avancer à pleine puissance.

### Réglage

Serrer la vis de réglage

Desserrer progressivement jusqu'à obtention de la vitesse désirée.

Le serrage complet empêche le vérin d'aller en fin de course.



# Divers

	Page
Prise d'échantillon pour analyse d'huile.....	208
Précautions avec l'acier inoxydable.....	210
Règles pour échangeur de chaleur.....	211
Protections et détrompeurs.....	212
Réglage d'un frein classique.....	213
Montage des thermosiphons.....	214
Mise en service d'un compresseur à pistons.....	215
Contrôle des doseurs de graissage.....	216
Entretien des filtres magnétiques.....	217
Réglage d'un limiteur de couple mécanique.....	219
Réglage d'un limiteur de couple à huile.....	221
Montage d'un réducteur à vis cylindrique.....	223
Montage d'un réducteur à couple globique.....	225
Maintenance d'un servomoteur à piston.....	229
Maintenance d'un servomoteur à membrane.....	231
Soupapes de sûreté.....	235

## Prise d'échantillon pour analyse d'huile

### → Conditions à respecter avant de commencer le travail

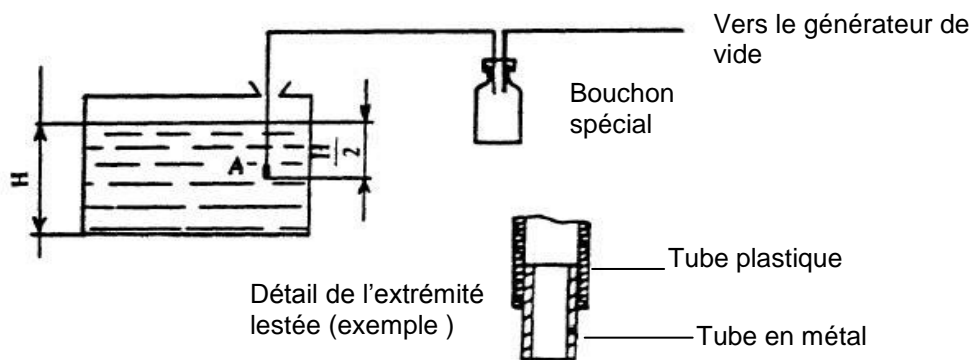
- Assurer la sécurité en fonction de la pression et/ou de la température de l'huile.
- Tout prélèvement doit être effectué lorsque le système est en fonctionnement ou juste après l'arrêt de façon à obtenir un échantillon représentatif non décanté.
- Le fluide sera recueilli dans un flacon propre, en verre, d'une contenance de 0,2 à 0,3 litre. Ce flacon aura une fermeture hermétique et fiable (il existe des flacons normalisés AFNOR E-48654, disponibles auprès des pétroliers ou des laboratoires d'analyse).

### → Méthode de prélèvement dynamique ( prise d'échantillon en ligne )

1. S'assurer que le système a fonctionné pendant ½ heure au minimum avant le prélèvement.
2. Ouvrir la prise d'échantillon et laisser couler 0,5 à 1 litre d'huile pour la rincer. Ne pas la refermer.
3. Approcher le flacon du jet et recueillir environ 0,2 l d'huile. **Ne jamais modifier l'ouverture de la prise d'échantillon pendant le remplissage du flacon.**
4. Retirer le flacon du jet et ensuite seulement refermer la prise d'échantillon.
5. Remplir l'étiquette du flacon et la fiche de prélèvement :
  - identification de la machine et du point ou circuit,
  - type de l'huile utilisée,
  - date et heure du prélèvement,
  - nom de l'opérateur.

### → Méthode de prélèvement à l'arrêt ( non conseillé )

1. S'assurer que le système a fonctionné pendant ½ heure au minimum avant le prélèvement.  
Lorsque aucun dispositif de prélèvement en ligne n'est prévu, on peut prélever un échantillon à partir du réservoir en appliquant la procédure suivante ( voir schéma ).  
Matériel nécessaire : un bouchon de flacon spécial, une pompe à vide manuelle ou une seringue normalisée.
2. Choisir un orifice permettant l'introduction directe de la tuyauterie lestée A.
3. Nettoyer le bouchon spécial et la tuyauterie A.
4. Visser le bouchon spécial sur le flacon.
5. Créer le vide pour remplir le flacon jusqu'à épaule ( 200 ml ). Supprimer le vide.
6. Dévisser le bouchon spécial, revisser le bouchon d'origine du flacon.
7. Remplir l'étiquette et la fiche de prélèvement.



### ➔ Erreurs habituelles à éviter

- Echantillon pris à la surface ou en fond de cuve.
- Echantillon pris après un temps d'arrêt trop long.
- Flacon pollué ou en matière soluble à l'huile ( bouchon inclus ).
- Prise d'échantillon non rincée (en laissant couler environ 0,5 l).
- Echantillon pris à une température trop basse ou trop haute (prélever à la température normale de fonctionnement).
- Prélèvement direct par une seringue polluée.

### Précautions avec l'acier inoxydable

#### Corrosion galvanique

Une corrosion appelée galvanique apparaît lorsque deux métaux de natures différentes sont réunis par une solution aqueuse conductrice et forment une pile : transfert des ions de l'anode métallique. C'est le cas de l'acier inoxydable dont le potentiel électrique est très différent de celui de l'acier au carbone :

- ✓ ne jamais laisser une pièce en acier inoxydable au contact avec une pièce en acier au carbone, celle-ci risquant de se détruire.

#### Rayures

La couche de protection de l'acier inoxydable n'est que de 15μ environ.

Si l'on raye l'acier inoxydable, du chlore risque d'y pénétrer et former du chlorure de chrome ce qui « pourrit » la pièce en acier inoxydable.

#### Passivation

En principe les aciers inoxydables sont auto-passivant : la couche de protection se forme spontanément avec l'exposition à l'air. Mais ce n'est pas le cas lorsqu'il y a contamination par la saleté, la graisse, des traces d'acier au carbone dues au travail par outils. **Après tout travail par outil il est nécessaire de passer les pièces** dans des bains de passivation pour enlever cette contamination.

Est recommandé :

- la passivation par acide nitrique. La solution contient 45 à 55% d'acide nitrique. Les pièces doivent être immergées durant 30 min à une température de 50 à 55°C.
- ou la passivation par acide citrique. La solution contient 4 à 10% d'acide citrique. Les pièces doivent être immergées durant 10 min à une température de 50 à 60°C.

On peut aussi travailler avec une éponge fortement imbibée.

Immédiatement après la passivation un rinçage à l'eau est nécessaire.

Le traitement de passivation peut être complété par une immersion dans une solution à 4 – 6% de dichromate de sodium pour accélérer la formation de la couche protectrice.



### Règles pour échangeur de chaleur

#### Bactéries

Les huiles et les eaux industrielles contiennent souvent des « ferro-bactéries » aérobies ou anaérobies. Une bactérie se divise toutes les vingt minutes donnant naissance à un milliard de bactéries en 12 heures.

Les bactéries aérobies donnent des acides, les anaérobies peuvent donner du H<sub>2</sub>S.

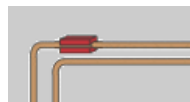
Dans les 2 cas cela donne le résultat :

- bouchage des filtres et tuyauteries
- détérioration des tuyauteries.

Les 2 solutions possibles :

- utiliser des produits anti-bactéries ;
- mettre des anneaux magnétiques.

A proscrire : l'eau de javel si l'acier inoxydable est utilisé.



#### Acier inoxydable

Après tout travail d'usinage ou soudure, l'acier inoxydable nécessite une passivation. Sinon il y a un grand risque d'avoir des fuites assez rapidement.

#### Nettoyage

Nettoyez les serpentins et les surfaces intérieures du boîtier avec des moyens convenables suivant la nature et le degré d'encrassement, par exemple brosse métallique et nettoyage à l'eau.

#### Remise en service :

- Purgez soigneusement l'air hors du boîtier et éventuellement hors du circuit.  
La vis correspondante pour la purge d'air se trouve en principe (pour le montage vertical et pour le montage horizontal) à l'endroit le plus haut quand l'appareil est monté.
- Vérifiez tous les raccords pour voir s'ils sont bien serrés et bien étanches.

## Protections et détrompeurs

### Protections

- ➔ Quand il y a des limiteurs de couple mécaniques, ceux-ci doivent être régulièrement contrôlés et réglés suivant la procédure du constructeur ( 1 an au plus )
- ➔ Il faut veiller à ce que la procédure de remplissage des limiteurs de couple à huile soit strictement respectée suivant la valeur de couple retenue.
- ➔ A vérifier que l'on ne remplace pas des joncs de rupture creux par des joncs de rupture pleins.

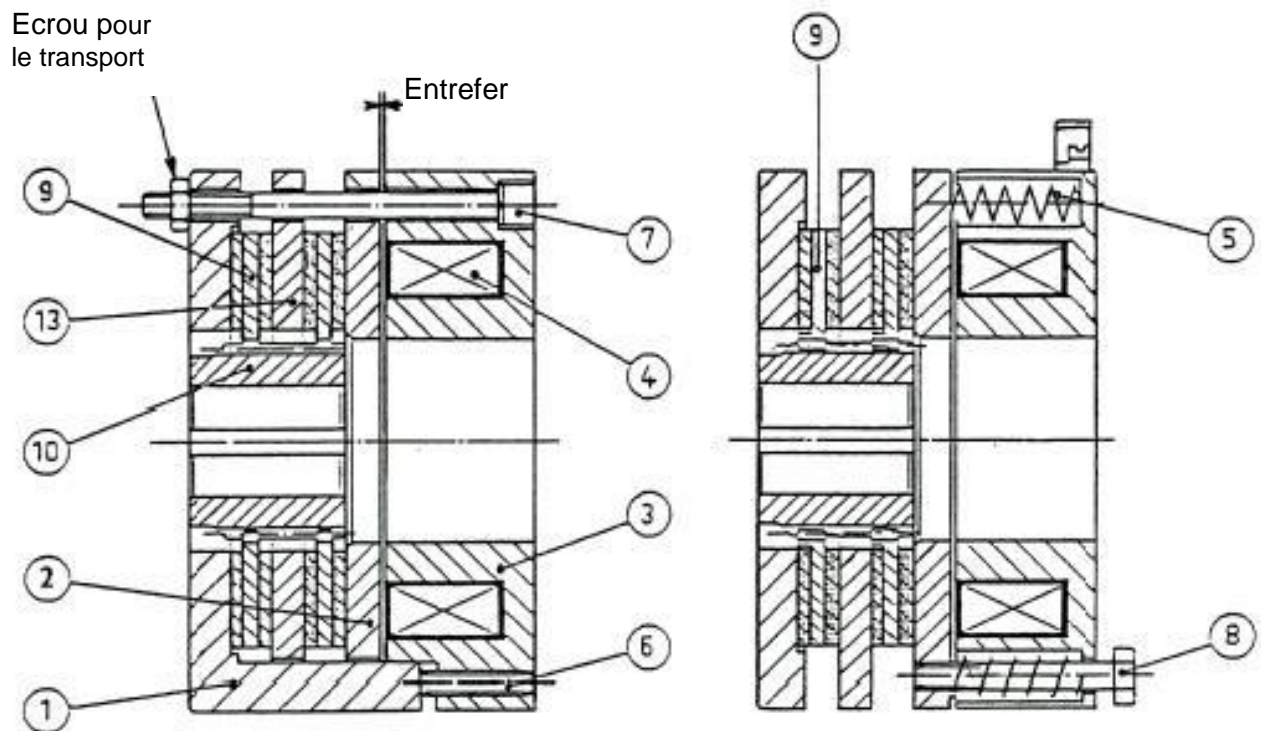
### Détrompeurs

Il faut veiller à ce que tout réglage, tout changement se fasse sans risque d'erreur :

- volant ou manette de réglage avec un vernier.
- volant ou manette de réglage avec un « codeur » mécanique
- repères non destructibles.

Par exemple, sur certaines voitures la position du moteur d'essuie-glace est repérée par 2 marquages, ce qui n'est pas le cas sur d'autres. Sur ces dernières en cas de réparation, le technicien va tâtonner et vous paierez plus cher l'intervention.

## Réglage d'un frein classique



- 1 - Plateau de friction
- 2 - Armature mobile
- 3 - Inducteur d'électro-aimant
- 4 - Bobine d'électro-aimant
- 5 - Ressort
- 6 - Vis de réglage
- 7 - Vis de fixation

- 8 - Vis de compression
- 9 - Disque garni
- 10- Noyau
- 11- Garniture
- 12- Boulon
- 13- Disque intermédiaire

### Réglage de l'entrefer

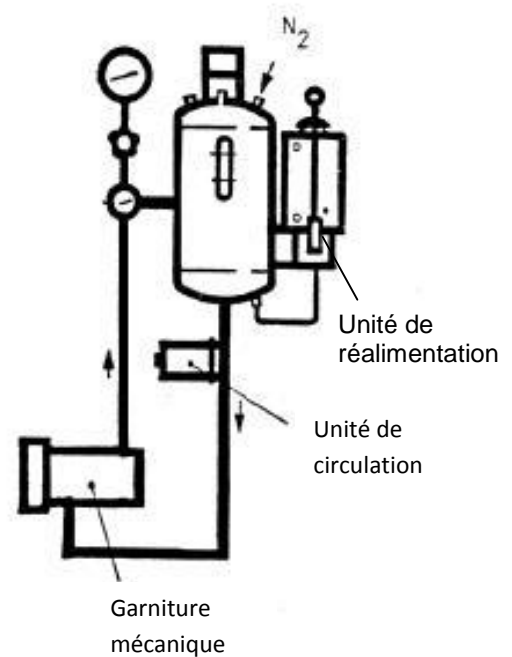
- Pour diminuer la valeur de l'entrefer : desserrer d'un tour environ les vis (7) de fixation, puis dévisser légèrement les vis de réglage (6) de la valeur nécessaire. Bloquer ensuite les vis (7) de fixation.
- Exécutez quelques manœuvres, moteur arrêté, contrôler l'entrefer en plusieurs points. La cale doit passer avec un léger pincement. En l'absence de valeur prendre 0,3 mm.

## Montage des thermosyphons

Montez le réservoir thermosiphon, ou le transmetteur de pression, 1 à 2 m environ au-dessus de la garniture mécanique. Si le système fonctionne avec une unité de circulation, une distance plus courte est admissible.

Posez la tuyauterie entre le thermosiphon, ou le transmetteur, et la garniture mécanique pour qu'elle offre peu de résistance à l'écoulement et évitez les points d'étranglement.

Évitez absolument les poches d'air ; l'air contenu dans les conduites doit se purger automatiquement dans la direction du réservoir thermosiphon ou du transmetteur.



Le niveau dans le réservoir thermosiphon, ou le transmetteur, doit toujours se situer entre les repères « MIN » et « MAX » dans le voyant.

## Mise en service d'un compresseur à pistons

### Préparation pour la mise en service

- a. Mettez le moteur en sécurité.
- b. Vérifiez le niveau et la qualité de l'huile du carter.
- c. Vérifiez le niveau d'huile du graisseur, et vérifiez son bon fonctionnement en actionnant la manivelle de commande manuelle.
- d. Donnez trois ou quatre tours de clef au filtre à huile. Si la manœuvre est dure, vérifiez l'état du filtre.
- e. Mettez le circuit d'eau de réfrigération en service après avoir vérifié le niveau du vase d'expansion.  
Faites un appoint d'eau nécessaire.  
Si le circuit fermé est hors service, passez sur le circuit de réfrigération ouvert. Demandez la mise hors service des sécurités correspondantes.
- f. Mettez en ligne le circuit d'air des servomoteurs et du by-pass de démarrage.
- g. Faites vérifier les sécurités (par instrumentistes pour le 1<sup>er</sup> démarrage)
- h. Vérifiez l'état des manomètres d'aspiration, de refoulement, de graissage et d'air contrôle, les changer si nécessaire.
- i. Vérifiez l'état des thermomètres du circuit d'eau de réfrigération. Les changer au besoin.
- j. Vérifiez l'état de l'ampèremètre du moteur.
- k. Ouvrez l'entrée des ballons, vérifiez le niveau liquide. Ouvrez la vanne d'admission du compresseur.
- l. Ouvrez la vanne de refoulement du compresseur.
- m. Ouvrez les purges des bouteilles d'aspiration et de refoulement. Ouvrez les purges de fonds de cylindres.  
Ouvrez les purges de dégonflage des presse-étoupes. Purgez la ligne de dégazage des chambres de décompression situées entre les cylindres et le carter.
- n. Faites réarmer le moteur.

### Démarrage

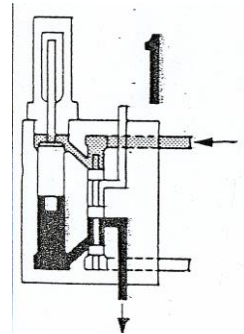
- a. Positionnez le commutateur du coffret de commande sur « démarrage ». Vérifiez que la vanne de by-pass aspiration-refoulement est ouverte en grand.
- b. Positionnez le levier de commande air contrôle sur « manuel ». Réglez la pression d'air contrôle de commande des servomoteurs au maximum à l'aide du détendeur.
- c. Démarrez le compresseur. Vérifiez l'intensité à vide.
- d. Positionnez le commutateur du coffret de commande sur « normal ». Vérifiez que la vanne de by-pass se ferme.
- e. Mettez le compresseur en charge. Pour cela réduisez progressivement la pression d'air de commande à l'aide du détendeur.  
Lorsque la pression d'air de commande manuelle est égale à la pression d'air de commande automatique, basculez le levier de commande air contrôle sur « automatique ».
- f. Fermez dans l'ordre les purges des bouteilles de refoulement puis celle d'aspiration, puis les purges de fonds de cylindres.
- g. Vérifiez :
  - la pression d'huile de graissage,
  - la pression de refoulement,
  - l'intensité absorbée par le moteur.
- h. Assurez-vous qu'il n'y a pas de liquide dans les ballons.

## Contrôle des doseurs de graissage

L'opération consiste à manœuvrer l'inverseur du poste central et à vérifier la position de la tige du piston graisseur, visible de l'extérieur

### POSITION 1 :

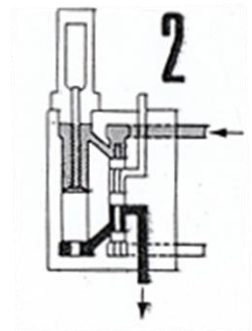
Le lubrifiant mis sous pression par la pompe, admis par l'orifice supérieur d'alimentation, repousse vers le bas le piston pilote et peut passer vers la chambre supérieure du piston graisseur.



### POSITION 2 :

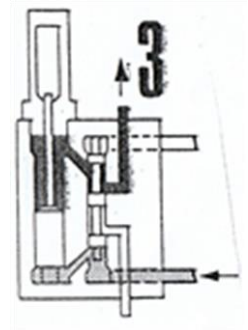
Le lubrifiant sous pression toujours admis par l'orifice supérieur repousse vers le bas le piston graisseur qui refoule vers le point auquel est raccordé l'orifice de décharge inférieur la dose contenue dans sa chambre.

Le circuit est clos et le lubrifiant admis ne peut plus passer



### POSITION 3 :

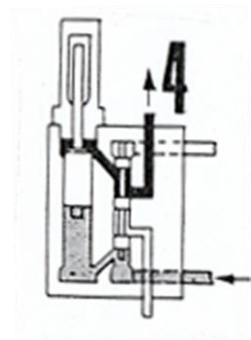
Si l'on manœuvre l'inverseur du poste central, le lubrifiant mis sous pression par la pompe est alors admis par l'orifice inférieur d'alimentation. Il repousse vers le haut le piston pilote et peut passer vers la chambre inférieure du piston graisseur.



### POSITION 4 :

Le lubrifiant sous pression étant toujours admis repousse vers le haut le piston graisseur qui refoule vers le point auquel est raccordé l'orifice de décharge supérieur la dose contenu dans sa chambre.

Le circuit à nouveau est clos.

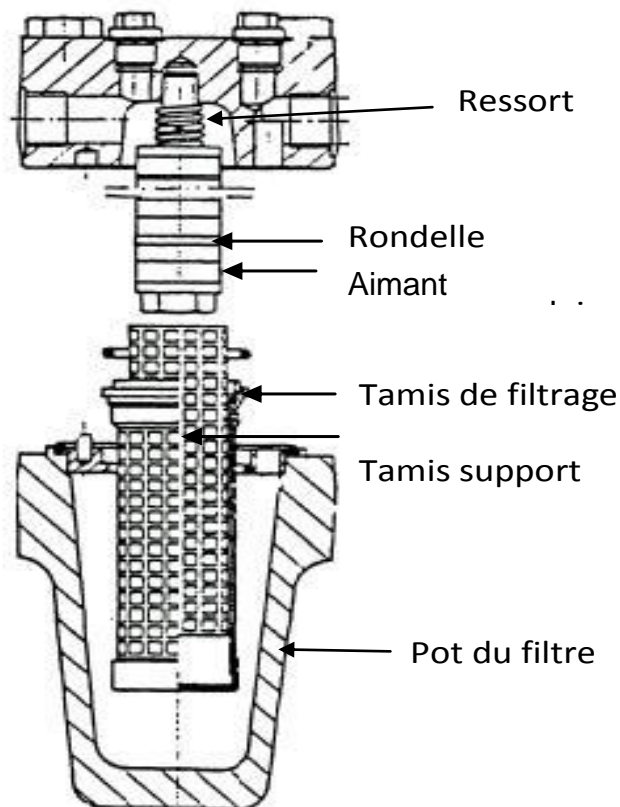


## Entretien des filtres magnétiques

### Description

Le filtre magnétique se compose d'une cuve cylindrique en tôle, se fermant par un couvercle étanche en acier, et renfermant intérieurement un dispositif magnétique et un panier filtre.

Le dispositif magnétique est constitué par une ou plusieurs rangées circulaires de brochettes, formée chacune d'aimants cylindriques en ticonal étagés entre des plaques polaires en acier doux (rondelles).



Le tout est assemblé par un tirant central en laiton. Ces brochettes sont elles-mêmes fixées sur des couronnes intercalaires.

Ce dispositif magnétique est entouré par le panier filtre circulaire, formé d'une enveloppe perforée en tôle, raidissant intérieurement une mince tôle de cuivre finement perforée avec interposition d'une toile laiton formant entretoise.

### Fonctionnement

Pénétrant par la tubulure supérieure le pétrole, ou l'huile, traverse d'abord les rangées de brochettes d'aimants, qui retiennent au passage les limailles véhiculées, puis le panier filtre arrête les autres impuretés. Filtré, le liquide s'écoule par la tubulure de sortie (position basse ou haute suivant les types).

### Mise en service

Tenir compte, lors du montage, du sens de passage indiqué sur le filtre. Il faut purger absolument le filtre de l'air qu'il contient avant la première mise en service ou après le nettoyage.

### Visite

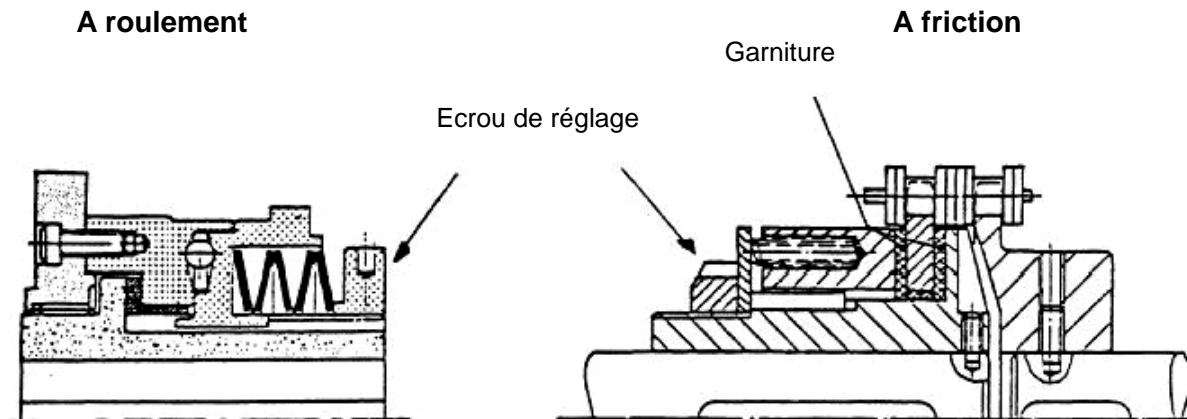
Visitez périodiquement le filtre qui s'encrasse après un certain temps de service. Une négligence de ces visites peut provoquer la détérioration du panier filtre. Une solution consiste à brancher un manomètre sur l'entrée et un autre sur la sortie ; ils permettent de se rendre compte si le filtre a besoin d'être nettoyé, ce qui est le cas lorsque la pression différentielle augmente.

### Démontage et nettoyage

- Avant d'ouvrir le filtre
  - Ouvrir le by-pass contournant le filtre.
  - Interrompre le passage par le filtre.
  - Ouvrir une vis de purge d'air.
- Ouverture et nettoyage
  - Nettoyez le panier filtrant et les plaques polaires encrassées de limaille au jet d'eau froide, ou au jet de vapeur, les aimants ne perdant leur aimantation qu'à partir d'une température de 400°C.
  - Les aimants ne doivent jamais être désaccouplés des plaques polaires au risque de diminuer fortement le pouvoir d'aimantation.  
Il faut veiller à ce que les aimants annulaires s'attirent par paire mais repoussent la paire d'à côté.



## Réglage d'un limiteur de couple mécanique



### → Réglage avec charge maximale connue

Effectuer un essai avec la charge maximale admissible ( mouvements )

#### 1. Le limiteur reste enclenché

- Desserrer l'écrou de réglage par approches successives ( ex : 1 tour ) jusqu'à ce que le limiteur déclenche.
- Serrer l'écrou de réglage par approches successives plus fines ( ex :  $\frac{1}{4}$  tour ) pour obtenir l'enclenchement du limiteur.
- Serrer l'écrou de réglage de  $\frac{1}{4}$  tour et le bloquer ( vis, rondelle-frein... )
- Effectuer un nouvel essai de fonctionnement ( mouvements )

#### 2. Le limiteur déclenche ( avec charge maximale admissible )

Avant de procéder au réglage, il est conseillé de vérifier l'état mécanique de la chaîne cinématique ( présence éventuelle de durs mécaniques provoquant le déclenchement )

- Serrer l'écrou de réglage par approches successives ( ex : 1 tour ) jusqu'à ce que le limiteur reste enclenché.  
Si l'écrou de réglage est serré au maximum et le limiteur déclenche toujours :
  - Présence de durs mécaniques dans la chaîne cinématique et/ou
  - Démonter le limiteur de couple et contrôler l'état des garnitures ( limiteur à friction ) ou remplacer le limiteur.
- Desserrer l'écrou de réglage par approches successives plus fines ( ex :  $\frac{1}{4}$  tour pour obtenir le déclenchement du limiteur )
- Serrer l'écrou de réglage pour atteindre la limite d'enclenchement.
- Serrer l'écrou de réglage de  $\frac{1}{4}$  tour et le bloquer ( vis, rondelle-frein... )
- Effectuer un nouvel essai de fonctionnement ( mouvements )

### ➔ Régler avec charge maximale inconnue

- Effectuer un essai de fonctionnement ( mouvements )
- Suivre la procédure 1 ou 2 suivant le cas.

## Réglage d'un limiteur de couple à huile

### Utilisation

Ce genre d'appareil peut avoir 2 emplois :

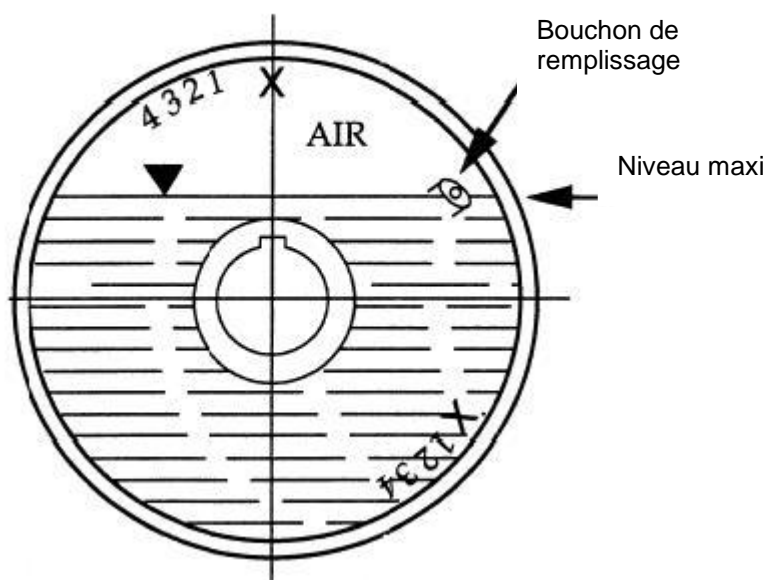
1. Comme limiteur de couple pour protéger les organes de commande. C'est le cas le plus courant, bien que les systèmes à huile soient de plus en plus remplacés par des systèmes à poudre.
2. Comme coupleur hydraulique.

### Contrôle de niveau d'huile

Suivant le mode de remplissage adopté ( X, 1, 2, 3 ou 4 ) tourner le limiteur de couple de telle sorte que la graduation x, ou 1, ou 2, 3 ou 4 soit dans l'axe vertical. L'huile doit être au niveau du trou de remplissage.

Si l'appareil fonctionne en limiteur de couple il faut connaître la correspondance graduation – couple d'une part et la valeur de couple limite d'autre part pour fixer la valeur de réglage ( voir documentation ). Ne jamais mettre le trou à la vertical, car alors le système fonctionne comme un accouplement rigide.

Si l'appareil fonctionne en coupleur, c'est avec le remplissage X (maximum) que le coupleur travaille avec un glissement minimal et un rendement maximal.



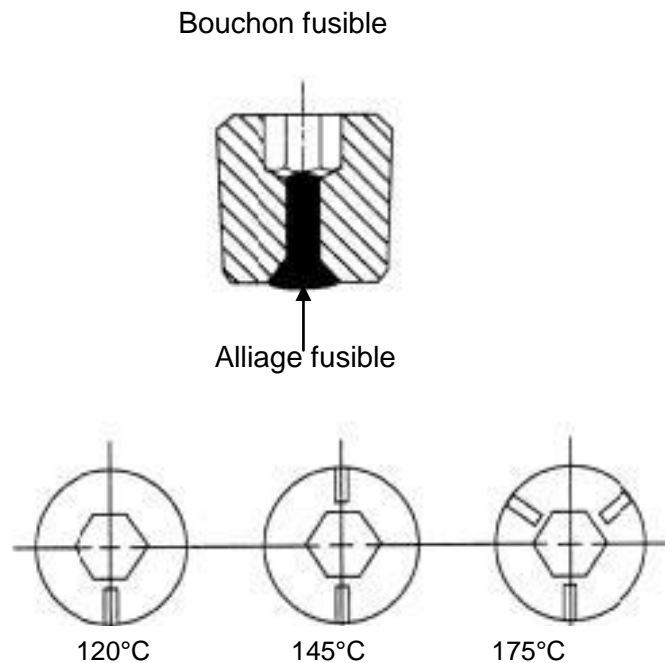
### Conditions de température

La température maximum est de 90°C.

Suivant le type de bouchon fusible choisi (en option) le coupleur peut supporter jusqu'à 120°C, 145°C ou 175°C.

Si le bouchon fusible lâche : vérifier le niveau d'huile.

Si le bouchon fusible lâche souvent : vérifier la température ambiante.



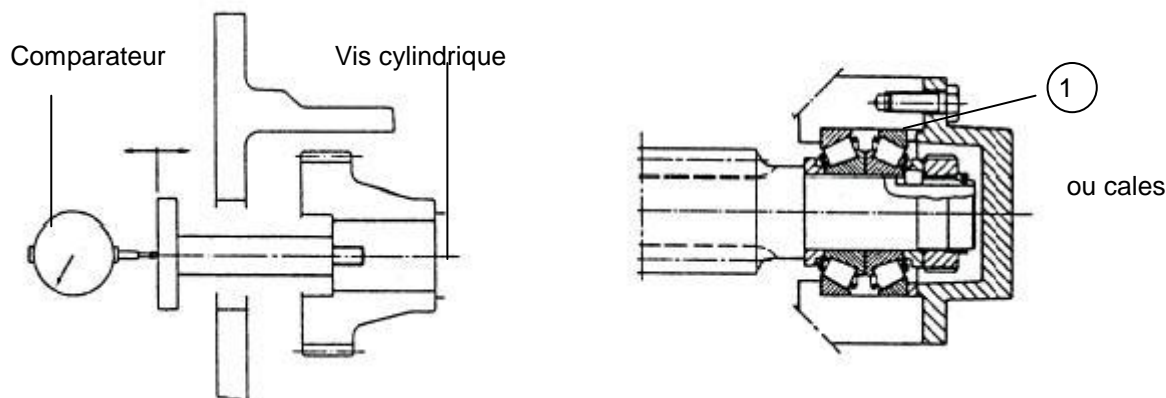
Note : le réglage du limiteur est donné par la position du trou de remplissage. Si la valeur de cette position est perdue, on peut procéder comme suit. Faites un repère sur le manchon amont et sur le manchon aval, puis faites une mesure de vitesse au stroboscope. La valeur de glissement doit être de 2 à 3 %. Sinon il faut ajouter ou enlever de l'huile. Bien sûr quand le bon volume d'huile est trouvé il faut noter la position du trou d'entrée d'huile sur la gamme.

## Montage d'un réducteur à vis cylindrique

### Réglage du couple roue / vis cylindrique

#### 1. Vis cylindrique

Les bagues extérieures des roulements sont emmanchées à froid « GLISSANT DUR ». Les bagues intérieures sont montées serrées sur l'arbre et sont emmanchées après chauffage dans un bain d'huile à 120°C maximum.



#### Montage ligne de vis

Le réglage consiste à donner le jeu de fonctionnement aux roulements de butée. Monter l'entretoise (1) entre le roulement et le chapeau.

Approcher le chapeau à l'aide de ses vis de fixation jusqu'à apprécier une légère résistance à la rotation de la vis cylindrique. Relever, à l'aide de cales, l'écart entre la face du carter (ou boîtier) et celle du chapeau. Réduire l'épaisseur de l'entretoise (1) de la valeur :  $ECART\ MESURE + 0,1 \text{ à } 0,15\text{ mm}$ . Remonter l'ensemble et vérifier à l'aide du principe ci-contre que le jeu axial de la ligne de vis est compris entre 0,1 et 0,15 mm.

#### 2. Roue à vis

Le réglage de ligne de roue doit être mené de la façon suivante.

- Préréglage des paliers : donner un jeu axial nul (sans serrage) aux roulements. Eviter lors de cette opération de coincer axialement la couronne sur la vis.
- Réglage de la position axiale de la couronne ; cas de réducteur simple ou du réducteur de base d'un ensemble combiné : en conservant toujours le jeu axial nul, faire effectuer à la couronne ainsi qu'aux roulements les déplacements successifs axiaux suivants.
  - a. Vers l'une des extrémités de l'arbre, jusqu'à ce que le jeu entre vis et couronne devienne nul.
  - b. Vers l'extrémité opposée, jusqu'à ce que le jeu entre vis et couronne redevienne nul
  - c. Vers l'extrémité déjà citée en a. d'une valeur égale à la moitié du déplacement mesuré en b.

Lors des déplacements a. et b. le désaxage de la couronne est maximal. Le jeu nul entre vis et couronne provoque un léger coincement de la denture et se contrôle en tournant la vis à la main jusqu'à obtention d'une résistance sensible.

Lorsque le positionnement c. est effectué, le jeu d'engrènement est optimal. La portée de la vis sur la couronne vérifiée au bleu de Prusse est alors la meilleure.

Réglage définitif des paliers : le jeu axial correct est donné aux roulements en le répartissant de la façon suivante ( 0 à 0,05 mm ) :

Pour appareil utilisé dans les deux sens de rotation, partager également le jeu entre chaque palier.

Pour appareil utilisé dans un seul sens de rotation, le jeu doit être donné en totalité au palier opposé à celui qui supporte l'effort axial provoqué par l'inclinaison de la denture.

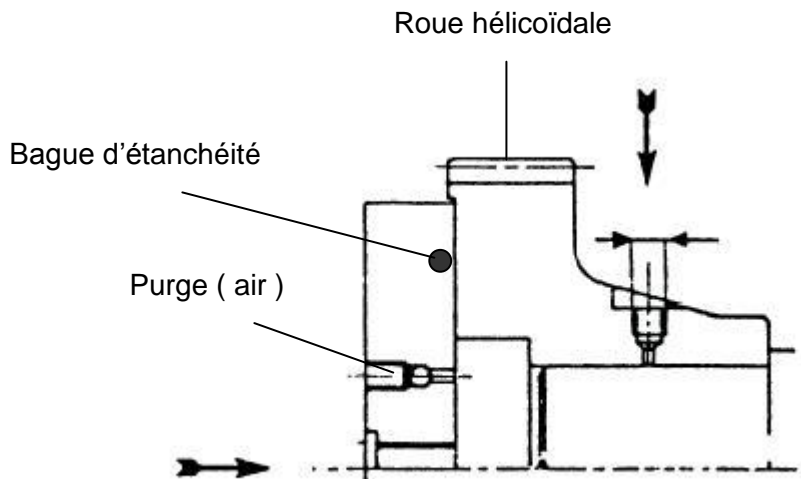
### 3. Montage engrenage hélicoïdal

Le jeu des roulements est obtenu automatiquement après assemblage des différentes pièces par un choix approprié des tolérances de fabrication.

Généralement :

la roue à denture hélicoïdale peut être démontée à l'aide d'une pression d'huile,

le montage de la roue hélicoïdale est réalisé par chauffe de la pièce à une température de 250°C.

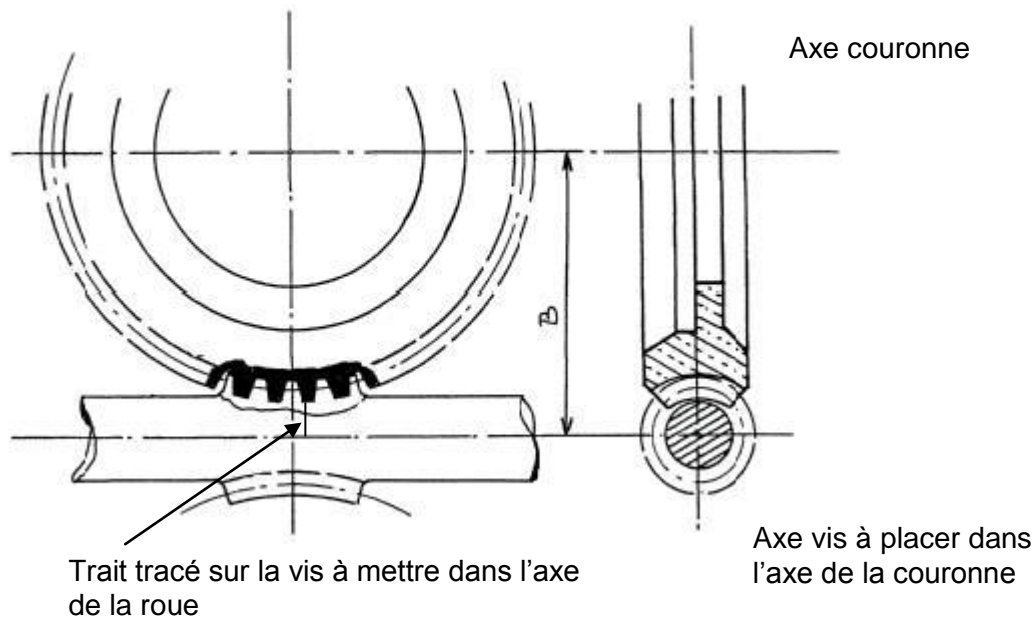


## Montage d'un réducteur à couple globique

### Schéma de montage des couples globiques

En principe les couples globiques sont rodés par le constructeur. Dans ce cas, le montage doit être respecté pour obtenir une bonne portée entre roue et vis.

A cet effet, et de façon à retrouver cette position de rodage, des marques à froid sont apposées sur les flancs de la couronne et les bouts de filets de la vis.

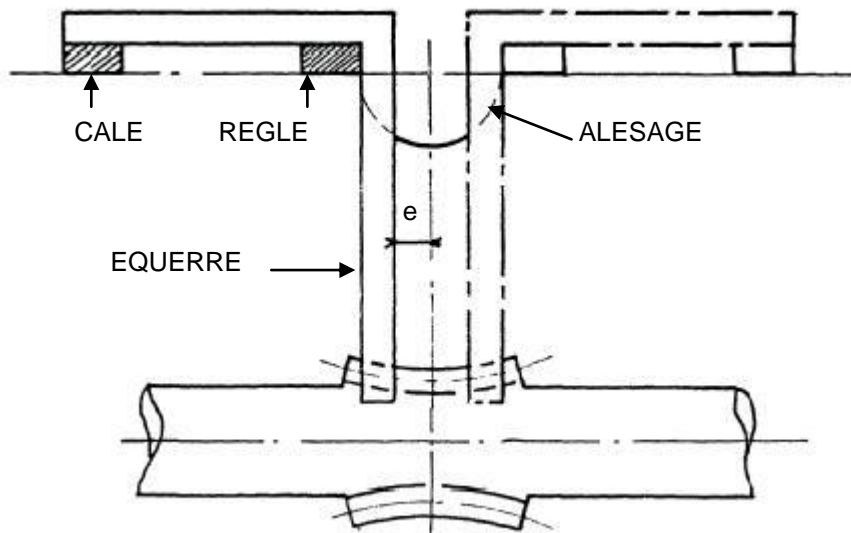


### Procédure de montage

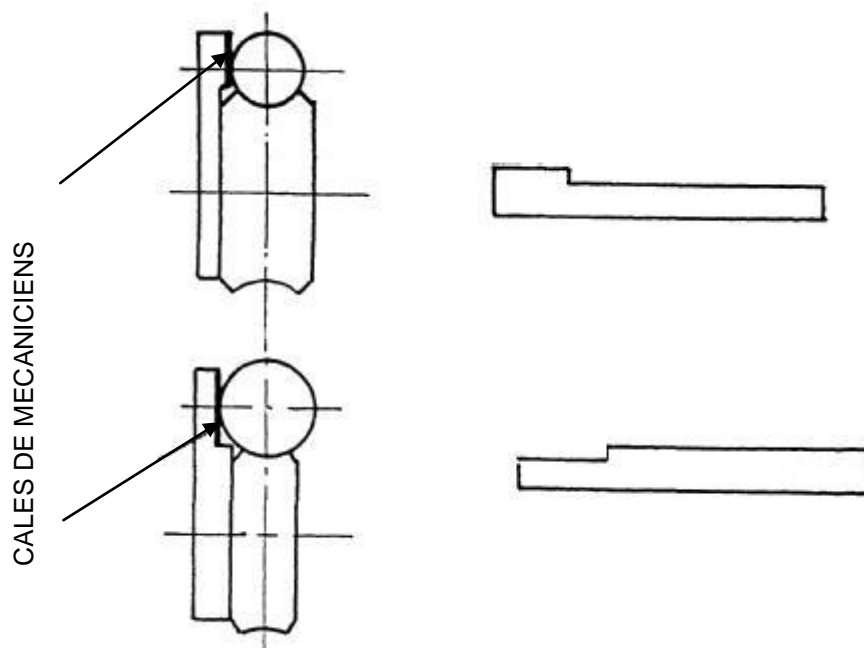
Equipez la vis de ses roulements.

#### 1. Centrage de la vis par rapport aux alésages de la couronne

- Vérifier que le trait repère marqué dans l'axe du taillage correspond bien avec l'axe de l'alésage de l'arbre de la couronne.
- Matérialiser par une règle le bord des deux alésages sur la partie arrière du carter ; mettre une cale de même épaisseur que cette règle.
- Poser une équerre contre cette règle ainsi que le représente le croquis ci-après.
- Mesurer la cote « e ».
- Faire le retournement pour éviter les sources d'erreurs dues aux instruments de mesure.
- Ce réglage ne peut être qu'approché.



## 2. Réglage latéral de la couronne par rapport à la vis



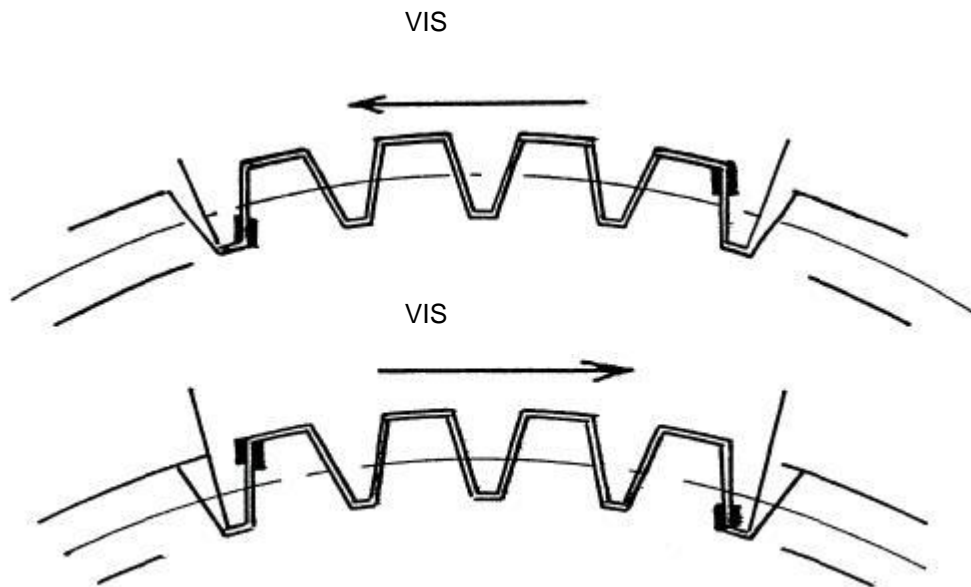
## 3. Réglage latéral de la couronne par rapport à la vis

- Enduire la vis de bleu et faire tourner à la main.
- Dans le cas de portées représentées comme ci-après, déplacer la vis dans le sens des flèches par 0,5 mm, suivant l'importance du couple.



### Réglage

Interposer entre la boîte de roulement et le carter des cales, ou au contraire en supprimer.  
On peut également, si l'on ne dispose pas de cales, diminuer l'épaisseur de la joue de la boîte de butées.

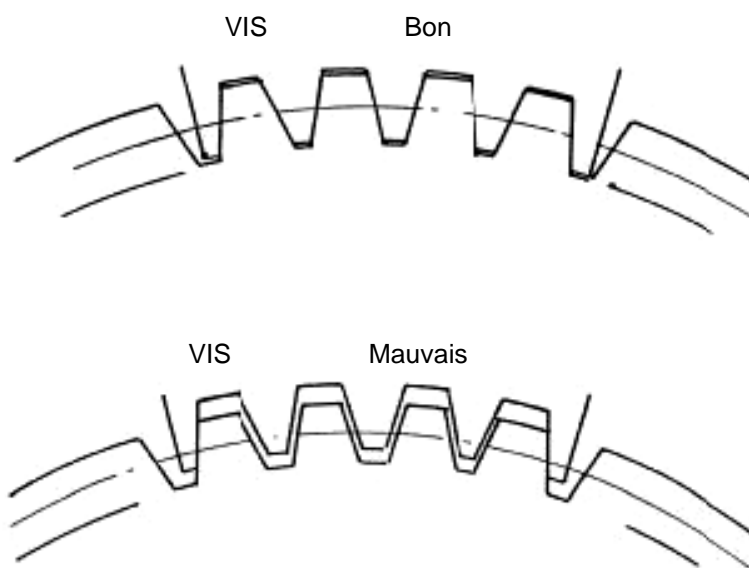


### Entraxe

Il est bon, si la portée se fait sur toute la hauteur des dents ( schéma supérieur ).

Il peut être trop grand ( schéma inférieur ), et la portée se fera alors sur une partie de la dent, et ceci dans les deux sens.

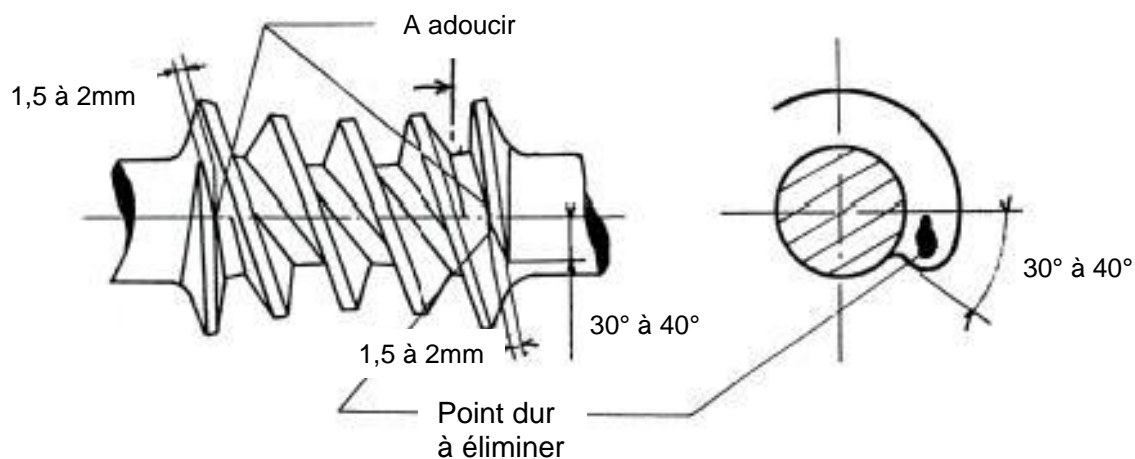
Entraxe trop resserré : la portée commence dans le milieu pour aller en forçant sur le dos.



A l'entrée de ses bouts de filets, la vis ne doit pas présenter une attaque trop brusque. Normalement, ceux-ci sont détalonnés suffisamment à l'usinage. Ce détalonnage assure un meilleur engrènement et facilite la formation du coin d'huile entre les surfaces en contact.

Dans le cas où l'attaque des filets présenterait une zone de points durs, situés dans la partie détalonnée, il y a lieu d'adoucir ceux-ci à la lime douce en ayant soin de bien polir ces surfaces après réduction.

Il est conseillé de faire tourner à vide le réducteur une trentaine d'heures de façon à conditionner parfaitement les portées du couple.

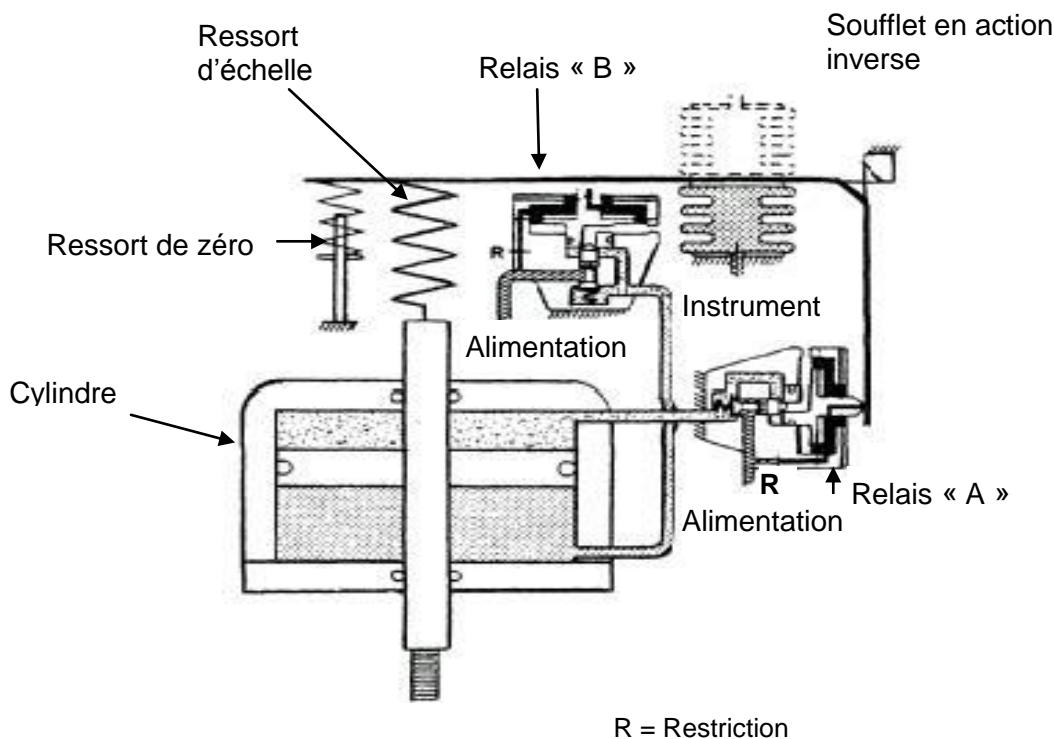


## Maintenance d'un servomoteur à piston

### ○ Principe de fonctionnement

Le signal pneumatique du régulateur est transmis au soufflet du positionneur. Lorsque la valeur du signal augmente, le soufflet se dilate et déplace le levier articulé qui pivote autour d'un point fixe et, simultanément, obture la buse du relais « A » et découvre la buse du relais « B ». La pression de buse du relais « A » augmente et, par le biais de celui-ci, provoque une croissance de pression dans la chambre supérieure du cylindre. En même temps, le relais « B » réagit au changement de position du levier, afin de diminuer la pression agissant sur la face inférieure du piston. La résultante des deux forces agissant sur les faces du piston déplacera celui-ci vers le bas, modifiant ainsi la position du disque de la vanne papillon pour un retour à la valeur désirée de la pression à contrôler.

Lors de la réception d'un signal décroissant, le phénomène inverse se produit.



### ○ Mauvais fonctionnement

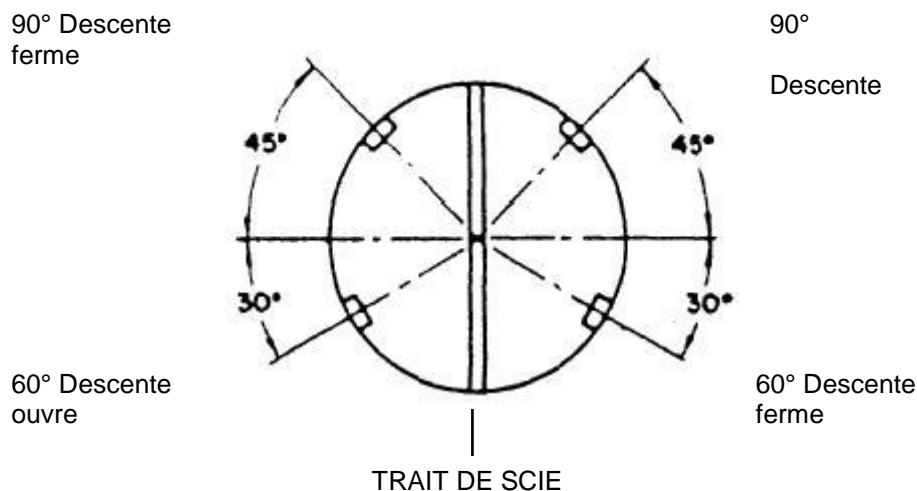
La cause du mauvais fonctionnement du servomoteur réside généralement dans le positionneur. Le fluide d'alimentation doit être de l'air ou un gaz propre, sec et non corrosif. Il est conseillé d'insérer un filtre.

La connexion d'évent doit rester ouverte afin d'éviter toute surpression à l'intérieur du boîtier et garantir l'évacuation de l'humidité, ces deux facteurs pouvant nuire au bon fonctionnement de l'appareil.

### ○ Entretien

- La première condition à respecter, lors d'un démontage, est la propreté. Toutes les pièces constituant le servomoteur doivent être préservées de toute saleté, produit abrasif ou corps étranger.
- La seconde condition est la lubrification des joints toriques. Il est impératif d'utiliser un lubrifiant préconisé pour les types de joints, spécialement ceux en mouvement ou en contact avec des pièces mobiles.
- Pour démonter le servomoteur, il faut « by-passer » la vanne. Ne jamais déconnecter le système de liaison reliant l'axe de la vanne papillon au servomoteur lorsque le fluide débite à travers la vanne ouverte, à moins d'empêcher l'axe de tourner.
- La rotation du disque de la vanne papillon est de 60° ou 90° suivant le type de régulation désiré. Pour une rotation de 60°, la distance entre-axe du pivot à l'axe de la vanne devra être égale à la course du servomoteur. Pour une rotation de 90°, la vis de réglage (232) devra être rapprochée de l'axe de la vanne de façon à ce que cette distance soit réduite de 0,707 fois la course du servomoteur.

Quatre rainures de clavette, pratiquées sur l'axe de la vanne, permettent de choisir l'action ainsi que l'angle de rotation du disque. Quatre combinaisons sont donc possibles : -60° descente ouvre – 60° descente ferme – 90° descente ouvre – 90° descente ferme.

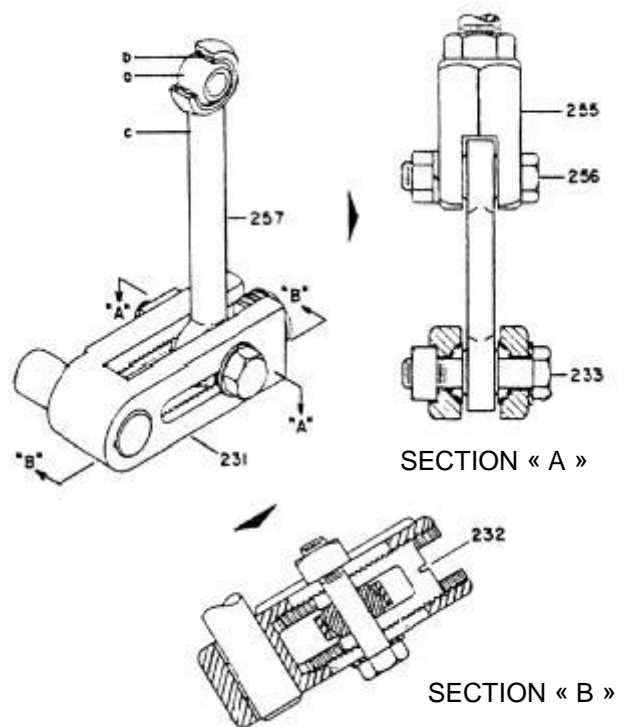


Vue en bout d'un axe de vanne papillon illustrant les rainures de clavette et le trait de scie.

- Connectez le système de liaison pour les conditions suivantes :
  - a. Course nulle du servomoteur pour une action « descente ouvre ».
  - b. Course maximum du servomoteur pour une action « descente ferme ».

Si la vanne n'est pas en ligne, vérifiez que le disque est en position fermée en mesurant la distance entre ses points hauts et bas à l'une des faces du corps de vanne. La position zéro sera évidente lorsque ces distances s'égaliseront. Dans le cas contraire, retirez l'axe 256 et faire subir à la chape 255 une rotation permettant d'obtenir cette égalité.

Si la vanne est en ligne, la position de fermeture du disque pourra approximativement être décelée en observant le trait de scie pratiqué en bout d'axe. Faire parcourir au servo-valve sa course complète et vérifier l'angle d'ouverture à l'aide d'un rapporteur. Après avoir effectué correctement ce réglage, vérifiez le serrage des vis et écrous.



Système de liaison réglable d'une vanne papillon.

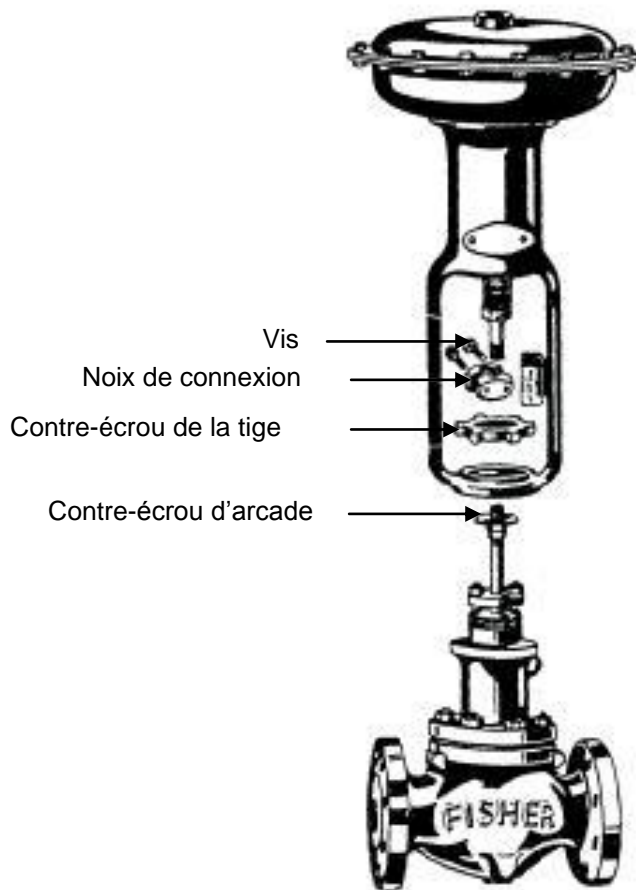
## Maintenance d'un servomoteur à membrane

Le servomoteur, à membrane destiné à la commande des vannes de régulation, est à action directe et ressort de rappel. L'ouverture, la fermeture ou l'action modulée de la vanne sont produites par les variations du signal pneumatique de la membrane.

Par augmentation du signal, la barre de commande du servomoteur descend et comprime le ressort. Par diminution du signal, le ressort se détend et provoque la montée de la barre de commande.

Par manque de pression sur la membrane la barre de commande revient en position haute.

Ainsi le choix de l'action du clapet, soit « Descente – Ferme », soit « Descente – Ouvre », déterminera la position de sécurité de la vanne, ouverte ou fermée, par manque de pression d'alimentation ou de signal de commande.

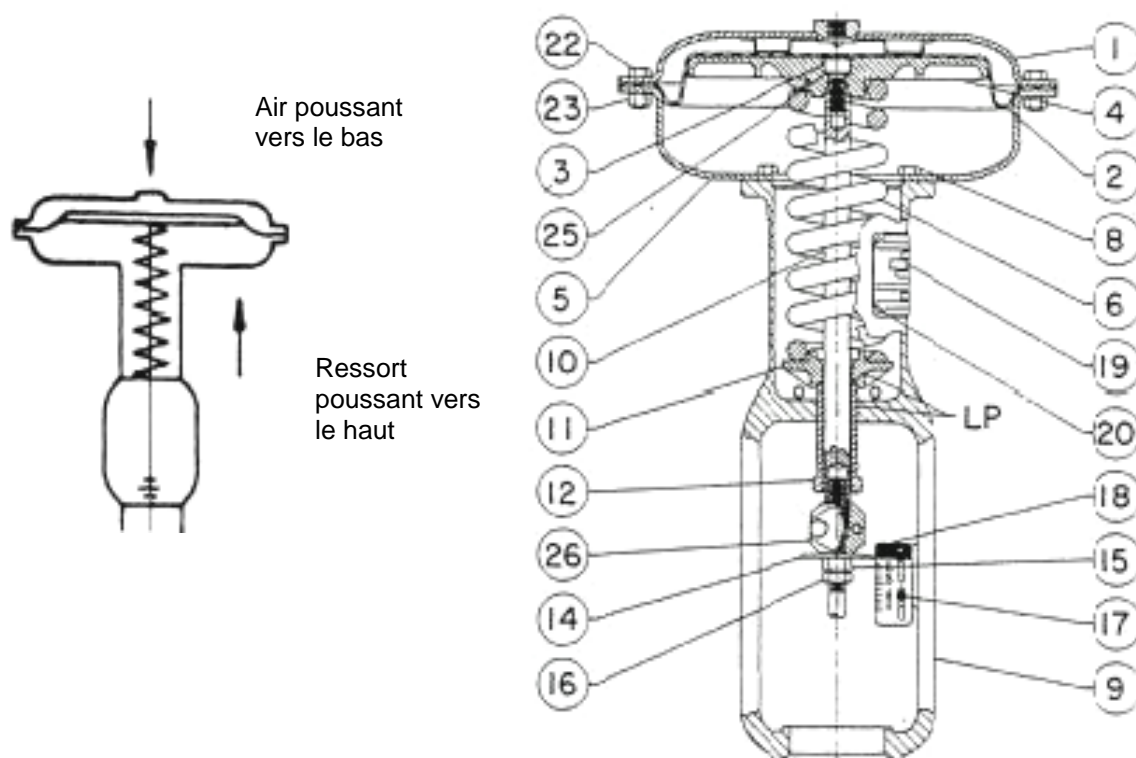


## Instructions de démontage

Ce processus est à suivre pour démonter entièrement le servomoteur. Pour les réparations ou l'entretien, ne démonter que les pièces nécessaires.

Procéder comme suit :

1. Isoler la vanne à l'aide du by-pass. Dépressuriser le servomoteur et déconnecter la tubulure du carter supérieur.
2. Desserrer la vis de réglage (12) afin de détendre le ressort.
3. Enlever la noix de connexion (26), l'écrou de blocage de l'arcade ou les écrous des boulons, et enlever le servomoteur. Desserrer les écrous (15 et 16).
4. Enlever vis et écrous (22 et 23) et retirer le carter supérieur (1).
5. Enlever la membrane moulée (2)
6. Retirer l'ensemble plaque de pression – barre de commande (4 et 10).
7. Enlever le ressort (6) et le siège du ressort (11).
8. Le carter inférieur (5) peut être séparé de l'arcade en enlevant les vis (8).
9. Dévisser complètement la vis de réglage (12) si nécessaire.



## Instructions de remontage

1. Remonter le servomoteur selon la procédure inverse exposée ci-dessus. Suivre le processus ci-dessous pour faciliter le remontage et obtenir un bon fonctionnement.
2. Graisser les filetages de la vis de réglage du ressort.
3. S'assurer que le ressort repose sur son siège inférieur et contre la plaque de pression.
4. Serrer uniformément les écrous des boulons de carter pour assurer une jonction correcte.
5. Si les écrous de blocage de la tige ont été enlevés, les revisser et placer l'indicateur de course (14) sur ceux-ci, la partie galbée dirigée vers le bas. Le servomoteur est généralement équipé d'un index indicateur de course (14) fixé à la noix de connexion (26) à l'aide de deux vis.
6. Monter le servomoteur sur le corps de vanne et le fixer à l'aide de l'écrou de blocage de l'arcade.
7. Raccorder la noix de connexion comme suit pour assurer une course correcte de la vanne.

ATTENTION
-----------

Ne pas tourner le clapet quand il repose sur son siège.  
Eviter de détériorer la tige de clapet pendant le réglage de la course.

### A. Montage avec clapet « Descente – Ferme »

- a. Le corps étant assemblé et le servomoteur monté, s'assurer que le clapet est en position fermée.
- b. Visser les écrous de blocage sur la tige et placer le disque de l'indicateur de course sur ces écrous, la partie galbée dirigée vers le bas.
- c. Soulever le clapet de son siège en fonction de la course indiquée sur la plaquette ou alimenter le servomoteur jusqu'à ce que la tige descende en fonction de la course spécifiée.
- d. Placer la noix de connexion. Bloquer la tige du servomoteur et la tige de la vanne. Monter le disque de l'indicateur sur la noix de connexion et le fixer à l'aide des écrous.
- e. Alimenter le servomoteur pour s'assurer que la course totale désirée est obtenue et que le clapet repose bien sur son siège. Si nécessaire des réglages peu importants peuvent être effectués en desserrant légèrement la noix de connexion et en serrant ensemble les écrous de blocage puis visser ou dévisser la tige dans ou hors de la noix de connexion.
- f. Si la course totale est correcte : serrer à fond les vis de la noix de connexion, bloquer le disque de l'indicateur de course contre la connexion à l'aide des écrous et régler l'échelle de l'indicateur de position (18).
- g. Prévoir un manomètre pour mesurer la pression du servomoteur. Faire un dernier réglage du servomoteur ou du positionneur pour régler le départ de la course et obtenir une course complète pour la gamme de pression « instrument » spécifiée.

### B. Montage avec clapet « Descente – Ouvre »

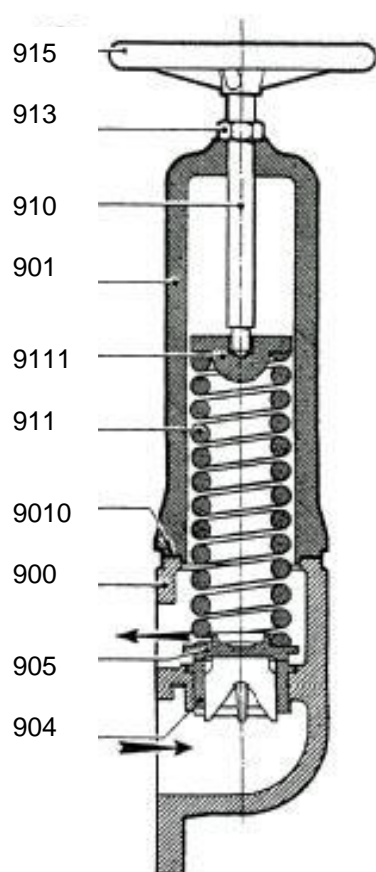
- a. Visser les écrous de blocage sur la tige et mettre le disque de l'indicateur de course.
- b. Soulever le clapet à la position fermée ( pour les corps de grandes dimensions, on utilise une barre qui est introduite dans le corps par l'ouverture de la bride. Si le corps est monté sur une tuyauterie, enlever la bride inférieure et monter le clapet par le dessous ). Placer la noix de connexion en s'assurant que les filets de la barre de commande du servomoteur sont engagés à fond. Placer les deux vis dans la noix de connexion et bloquer la barre de commande du servomoteur sur la tige de la membrane.
- c. Enlever la barre utilisée ou remplacer la bride inférieure et appliquer la pression sur la membrane pour que le clapet ne repose plus sur son siège. Visser la tige de clapet d'environ 3 mm dans la noix de connexion. Serrer légèrement les écrous de blocage de la tige de clapet pour positionner correctement l'indicateur de course.
- d. Alimenter le servomoteur pour s'assurer que la course totale désirée est obtenue et que le clapet ne repose plus sur son siège.



## Soupapes de sûreté

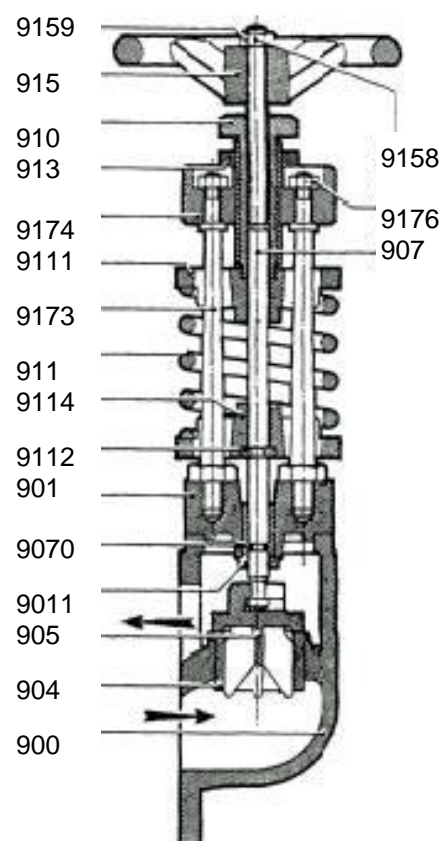
Protections de pompes ( produits liquides, ou hydrauliques )

REP	DESIGNATION	REP	DESIGNATION
900	Corps de soupape	9111	Appui supérieur de ressort
901	Couvercle du corps de soupape	9112	Demi-bague de butée
9010	Joint du couvercle de soupape	9114	Appui inférieur de ressort
9011	Guide de tige du clapet de soupape	913	Contre-écrou
904	Siège de clapet	915	Volant de relevage
905	Clapet	9158	Goupille d'écrou de volant
907	Tige de clapet	9159	Ecrou de volant
9070	Joint de tige de clapet	9173	Colonnette
910	Vis de tarage	9174	Bride entretoise
911	Ressort	9176	Ecrou de colonnette



### Soupape sans relevage

Munies simplement d'un système de tarage réglable, ces soupapes agissent uniquement comme limiteurs de pression



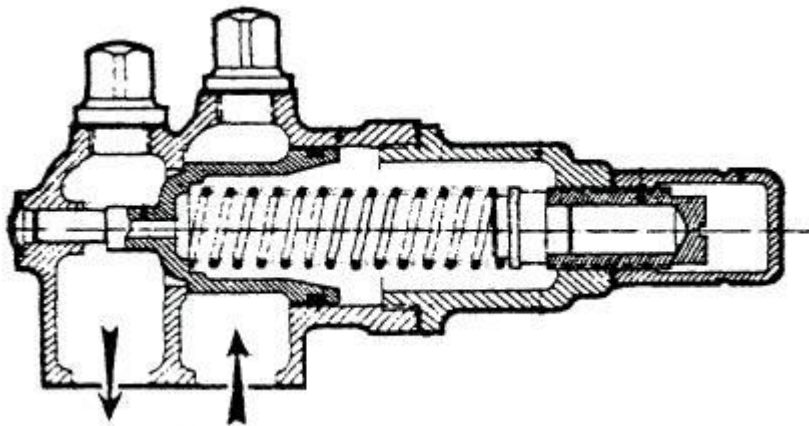
### Soupape avec relevage

En plus du système de tarage réglable, ces soupapes sont pourvues d'un dispositif de relevage manuel indépendant permettant d'effectuer :  
au démarrage une tombée de pression et de ce fait une chute sensible de puissance,  
en marche, un réglage de débit.

### Soupape différentielle

Ces soupapes s'appliquent aux débits importants. Elles sont constituées par un corps à double capacité à l'intérieur duquel coulisse un piston différentiel appliqué sur son siège par un ressort à tarage réglable.

La cavité d'admission en relation avec le refoulement de la pompe, et la cavité de retour avec l'aspiration, la pression s'exerce sur une section annulaire de diamètre  $D - d$ . Lorsque la pression dépasse celle du tarage, le clapet se soulève et tout ou partie du débit retourne à l'aspiration.



### Réglage de la soupape

- Ouvrir entièrement la ou les vanne(s) sur la tuyauterie de refoulement, s'il y a une.
- Ouvrir à fond la vis de tarage (910) de manière à détendre le ressort.
- Mettre le moteur du groupe en route.
- Fermer lentement la vanne au refoulement de la pompe (ou embrayer éventuellement manuellement s'il n'y a pas de vanne) ; simultanément visser lentement la vis de tarage (910) de manière à comprimer le ressort et ce jusqu'à ce que le manomètre indique une hausse de pression.
- Poursuivre l'opération jusqu'à ce que l'aiguille du manomètre se soit stabilisée à la pression de refoulement désirée (pompe à son régime de vitesse normal).
- Bloquer la vis de tarage en serrant le contre-écrou (913).

### Visite de la soupape

#### Soupape sans relevage type

- Avant tout démontage repérer de façon précise la position exacte de la vis de tarage.
- Débloquer et desserrer à fond la vis de tarage pour détendre le ressort.
- Libérer le couvercle de soupape (901) de sa fixation au corps (900).
- Sortir le ressort et le clapet.
- Après remontage s'assurer que la vis de tarage est bien arrêtée à la hauteur repérée avant démontage.

#### Soupape avec relevage type

- Descendre le volant contre la vis de tarage et visser pour relever légèrement le clapet.
- Libérer le couvercle (901) de sa fixation au corps (900).
- Sortir l'ensemble.
- Après remontage, desserrer le volant et le rebloquer contre l'écrou d'extrémité de la tige de clapet.

# Sécurité

	Page
Visites et travaux à l'intérieur d'enceintes confinées.....	238
Recommandations concernant la manœuvre d'une charge.	239
Consignations.....	241

## Visites et travaux à l'intérieur d'enceintes confinées

Ceci concerne les visites et travaux à l'intérieur de réservoirs et enceintes confinées de toutes sortes : fosses, conduits, puits, citernes, cuves, chambres de visite, appareils de fermentation et autres lieux analogues.

### Surveillance et sauvetage éventuel des travailleurs concernés

**Les travailleurs occupés dans les lieux visés par cette règle doivent être soumis à une surveillance continue et relayés aussi souvent que les circonstances l'exigent. Une ou des personnes, selon les nécessités, doivent être désignées pour exercer cette surveillance, vérifier soigneusement le bon fonctionnement du dispositif de ventilation et opérer les sauvetages éventuels.**

**Les travailleurs concernés portent, en outre, une ceinture de sauvetage avec bretelles. Celles-ci seront reliées à une corde de sûreté aboutissant à l'extérieur et tenue par les personnes chargées de cette surveillance.**

### Lieux particuliers

Les dispositions ci-après concernent les lieux suivants :

- Lieux contenant des matières putrescibles, ou renfermant des matières susceptibles de dégager des gaz ou vapeurs, ou envahis par des émanations provenant du voisinage.
- Lieux où doivent s'effectuer des opérations susceptibles de provoquer des dégagements de gaz, fumées, vapeurs ou autres émanations (peinture, soudage...)
- Lieux dont on peut craindre que l'air qu'ils contiennent puisse être pollué d'urgence et à tout moment par des émanations dangereuses provenant du voisinage.
- Lieux dont on doit craindre que l'atmosphère qu'ils contiennent soit appauvrie en oxygène, par suite d'un emprisonnement plus ou moins long.

#### Dispositions :

Ces lieux seront soumis à une ventilation suffisante et les travailleurs ne pourront y pénétrer ou séjourner que s'ils sont protégés au moyen d'un appareil respiratoire.

Lorsque l'usage d'appareils respiratoires s'avère impraticable, les travailleurs pourront néanmoins y pénétrer sans être pourvus de ces appareils, à condition qu'avant qu'ils y pénètrent et pendant tout le temps où ils y séjournent, ces lieux soient soumis à une ventilation suffisamment énergique pour provoquer, en permanence, un balayage de l'atmosphère ambiante, de manière à empêcher toute concentration intolérable d'émanations délétères.

### Cas de l'hydrogène sulfuré H<sub>2</sub>S

L'hydrogène sulfuré est un gaz incolore, composant naturel du pétrole, à odeur caractéristique d'œufs pourris à faible concentration mais cette perception olfactive s'atténue jusqu'à disparaître au fur et à mesure qu'augmente la concentration de gaz (effet de sidération olfactive). Il devient alors **mortel**

Le H<sub>2</sub>S dégage des matières organiques en décomposition ou lors de l'utilisation du soufre et des sulfures dans l'industrie chimique. Etant plus lourd que l'air, il s'accumule dans les parties basses non ventilées.

**Attention aux graisses et lubrifiants séchées : des poches de H<sub>2</sub>S se forment par décomposition des additifs.**

De ce fait, et par précautions, les dispositions précédentes doivent être appliquées dans tous les cas.

## Recommandations concernant la manœuvre d'une charge

### Avant la manœuvre

- ✓ Reconnaître le parcours qui sera effectué par la charge et préparer le lieu de dépose.
- ✓ S'assurer que le crochet de l'appareil de levage est bien au-dessus du centre de gravité de la charge.
- ✓ Avant de soulever la charge, mettre l'élingage en tension. Si la position du centre de gravité a été mal estimée, l'élingage se met en oblique ; on modifie alors la position.
- ✓ Avant de soulever une pièce composée de plusieurs parties, s'assurer que tous les éléments sont solidairement fixés entr'eux.
- ✓ S'assurer que personne ne se trouve en danger du fait de la manœuvre.

### Au début de la manœuvre

- Faire tendre doucement les élingues dès que la charge est accrochée, de manière à la décoller du sol.
- Ne jamais tenir les élingues à la main pendant leur mise en tension : la main peut être écrasée entre la charge et l'élingue, ou les doigts cisailés par un maillon de chaîne ou une partie du crochet.
- S'assurer que les élingues ne glissent pas et que leurs brins sont également tendus.
- Si la charge présente une résistance anormale au levage, ne pas insister mais rechercher la raison de cette résistance et y remédier en la dégageant si elle est accrochée à un obstacle.
- Si la charge est mal élinguée, ou mal équilibrée, la reposer et rectifier ou refaire l'amarrage.
- Le mouvement de levage doit être exécuté seul : il faut éviter de lever en biais.
- En principe, **il est interdit de tirer en oblique** ; si cette manœuvre délicate est absolument nécessaire, elle doit être exécutée sous la conduite d'un responsable qualifié. Il faut alors :
  - éviter tout balancement de la charge au décollage, pour qu'elle ne puisse heurter un obstacle ou une personne venant se placer sous le pont (au besoin retenir la charge avec des câbles ou des cordages appropriés) ;
  - veiller à ce que les câbles de levage ne puissent toucher les trolleys d'alimentation électrique de l'appareil.

### Pendant le déplacement

- ✓ Déplacer la charge près du sol, à allure modérée, à une hauteur suffisante pour franchir les petits obstacles ; la faire relever suffisamment avant de franchir les obstacles plus importants.
- ✓ Aucun travailleur ne doit demeurer sous la charge et ne jamais la faire passer au-dessus du personnel.
- ✓ Dans le cas de conduite au sol, veiller à conserver une bonne visibilité à l'avant de la charge ; se placer en conséquence. Ne jamais se déplacer à reculons.
- ✓ Si, pour une raison quelconque, un arrêt devait se produire, ne pas laisser la charge suspendue, notamment au-dessus d'un passage. La déposer au sol.

### A la dépose

- ✓ Ne commencer la descente de la charge que lorsqu'elle est immobilisée au-dessus de l'endroit choisi (éviter couvercles de trappes, caniveaux, etc.)
- ✓ Ne jamais la faire balancer, ou la tirer en biais pour la faire déposer plus loin que la zone d'action de l'appareil de levage.
- ✓ Ne pas déposer la charge dans une allée de circulation, ni à moins de 0,80 m du gabarit d'une voie ferrée.
- ✓ Déposer la charge sur des cales afin de faciliter le retrait d'élingues et sa reprise éventuelle.
- ✓ Avant de libérer les élingues, toujours s'assurer du bon équilibrage de la charge sur ses cales.
- ✓ Ne jamais tirer sur les élingues avec l'appareil de levage pour les retirer de sous la charge, mais tirer à la main.

### **Déplacements à vide**

Relever le crochet du pont à une hauteur suffisante pour que ce crochet ou les élingues (qui doivent être repliées sur le crochet) ne puissent heurter une personne ou un obstacle.

### **Après les manœuvres**

Remettre les élingues sur leur ratelier ou, si elles doivent rester suspendues, les rassembler sur plusieurs brins.

## Consignations

**Rappel** : pour les travaux de maintenance les consignations sont obligatoires sur tous les équipements où des mouvements sont possibles.

### Consignation électrique

Suivant la procédure de l'entreprise, il s'agit de mettre hors tension les circuits de puissance et de commande de façon pleinement apparente, y compris les alimentations de secours.

La consignation électrique comprend un verrouillage par un dispositif matériel difficilement neutralisable, dont l'état est visible de l'extérieur, réversible uniquement par un outil spécifique personnalisé pour chaque intervenant.

Il y a mise à la terre et en court-circuit des conducteurs, et décharge des condensateurs.

La vérification est obligatoire notamment avec l'utilisation d'un appareil VAT.

### Consignation chimique

Suivant la procédure de l'entreprise, il s'agit de supprimer les arrivées de tous les fluides solides de façon pleinement apparente, y compris les circuits auxiliaires.

La consignation chimique comprend un verrouillage par un dispositif matériel difficilement neutralisable, dont l'état est visible de l'extérieur, réversible uniquement par un outil spécifique personnalisé pour chaque intervenant.

Il y a vidange, nettoyage, élimination d'une atmosphère inerte et dangereuse et ventilation.

Il faut ensuite vérifier qu'il y a bien absence de :

- pression,
- écoulement,

avec un contrôle spécifique éventuel (atmosphère, pH, etc...)

### Consignation mécanique

Suivant la procédure de l'entreprise, il s'agit de couper de la transmission toutes les formes d'énergie de façon pleinement apparente y compris secours et accumulateurs d'énergie (hydrauliques notamment).

La consignation mécanique comprend un verrouillage par un dispositif matériel difficilement neutralisable, dont l'état est visible de l'extérieur, réversible uniquement par un outil spécifique personnalisé pour chaque intervenant.

Il y a mise au niveau d'énergie le plus bas par :

- arrêt de mécanisme y compris volants d'inertie,
- mise en équilibre mécanique stable (point mort bas) ou, à défaut, calage mécanique (chandelles sous plateau de presse),
- mise à la pression atmosphérique.

Il faut ensuite vérifier qu'il y a bien absence d'énergie :

- tension,
- pression,
- mouvement.

# Stockage

	Page
Stockage des bandes transporteuses.....	243
Stockage des courroies.....	244
Stockage des joints.....	246 ..
Stockage des roulements.....	247
Stockage des ventilateurs.....	248



## **Stockage des bandes transporteuses**

### **→ Conditions d'ambiance à respecter**

- Stocker à l'abri de la lumière en milieu sec.
- Température du local : entre 10 et 20°C.
- Eviter le contact avec des corps gras, carburants, produits corrosifs.
- Les bandes ne doivent pas reposer sur des surfaces à fortes aspérités ou arêtes, sur des zones grasses ou poussiéreuses.

### **→ Précautions de manipulations**

- Eviter toute détérioration par les sangles et engins de manutention ( surfaces et bordures )

### **→ Façon de stocker physiquement**

- Stocker les rouleaux importants sur des bobines ou dérouleurs.
- Eviter les pliages sous pression et les entassements.

### **→ Surveillance**

- Déplacer de temps en temps les rouleaux de bande afin d'éviter une déformation permanente.

## Stockage des courroies

### Protection, emballage et conditionnement

- Les courroies trapézoïdales doivent être groupées par n° de lots de fabrication. Ces N° sont inscrits sur les courroies.
- En sortie de magasin, les courroies d'un même jeu doivent provenir du même lot de fabrication.

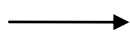
### Conditions d'ambiance à respecter

- Sous entrepôt frais, sec, aéré sans courant d'air.
- Température ambiante entre 15 et 25°C.
- Eviter l'exposition des courroies au soleil, à une forte lumière artificielle (UV).
- Eviter la proximité d'installations génératrices d'ozone.
- Eviter la proximité de produits agressifs ( acides, lubrifiants,...) même sous forme de vapeur.

### Nettoyage

Si pour une raison quelconque, il y a nécessité de nettoyer, il faut utiliser un mélange glycérine-alcool ( 1/10 ).

A PROSCRIRE



SOLVANTS ( essence, benzol...)  
OBJETS A ARETES VIVES

UTILISER EN PRIORITE LES COURROIES LES PLUS ANCIENNES

### Façon de stocker physiquement

- Petites longueurs : suspension sur supports curvilignes ou tuyau ( Dia > 10 x h ).
- Petites courroies pour mécanique de précision : idem
- Grandes courroies : pliage et empilage ( hauteur maxi de la pile : 300 mm ).

A PROSCRIRE



SUSPENSION à CLOUS ou CROCHETS

## PETITES LONGUEURS

## GRANDES LONGUEURS



## **Stockage des joints**

### **Protection, emballage et conditionnement**

- Conserver les joints dans leur emballage d'origine.

### **Conditions d'ambiance à respecter**

- Sous entrepôt, dans un endroit sombre, à une température comprise entre 5 et 25°C.
- Eviter la proximité :
  - de liquides agressifs,
  - de source productrice d'ozone.
- Pas d'atmosphère poussiéreuse.

### **Précautions de manipulation**

- Eviter les chocs et les chutes.

### **Façon de stocker physiquement**

- Stockage au repos, sans tension ni déformation.
- Ne pas attacher plusieurs joints ensemble avec fil de fer ( risque de déformation et de détérioration ).

### **Durée de stockage**

- Généralement 3 ans est une durée limite de stockage ; au-delà le joint risque de ne plus remplir sa fonction.

## **Stockage des roulements**

### **Protection, emballage et conditionnement**

- Petits roulements : dans sachet scellé ( préférable ).
- Autres roulements : enveloppés dans du papier paraffiné.

***Conservez les roulements dans leur emballage d'origine.***

### **Conditions d'ambiance à respecter**

- Sous entrepôt à température modérée ; humidité relative < 60 %.
- Eviter la proximité de produits agressifs ( acides...)
- Atmosphère non poussiéreuse.
- Eviter la proximité d'une source de vibrations.

### **Précautions de manipulation**

- Eviter tout choc brutal.
- Eviter toute chute.

### **Façon de stocker physiquement**

- Stocker à plat

### **Surveillance**

- S'assurer de l'intégrité des emballages.
- Eviter un stockage supérieur à 3 ans autant que possible.

## **Stockage des ventilateurs**

### **Protection, emballage, conditionnement**

- Stockage dans l'emballage d'origine, maintenu ou remis en état.
- S'assurer que les produits déshydratants sont toujours efficaces, sinon les remplacer.
- Toutes les ouvertures doivent être obturées ( boîte à bornes, orifices de visite, ventilation ou de graissage ).
- Si le ventilateur est sans conditionnement : protéger les parties vulnérables (parties usinées...)

### **Conditions d'ambiance à respecter**

- Sous entrepôt, dans local à température :
  - mini + 5°C
  - supérieure à la température extérieure pour éviter la condensation.
- Le sol doit être exempt de toute vibration.
- Pour le matériel associé ( instrumentation, électricité, régulation ) :
  - local chauffé et sec,
  - température mini + 15°C.
  - degré hydrométrique inférieur à 80%.

### **Précautions de manipulation**

- Eviter les manutentions rapides d'un endroit froid à un endroit chaud.
- Effectuer les levages par œilletons, manetons.
- Eviter les chocs.

### **Façon de stocker physiquement**

- Ménager entre le sol et le matériel stocké un espace afin de permettre l'aération du matériel ( calage approprié ).
- Stocker le matériel dans sa position d'utilisation.

### **Surveillance**

- Faire tourner périodiquement de quelques tours le rotor. Conditions préalables : libérer le rotor de son dispositif de blocage et pour les machines à coussinets remplir les paliers jusqu'au niveau indiqué avec l'huile préconisée.

# Tolérances ISO

## Alésages en mm – Ecart en micromètres

	3 6	6 10	10 18	18 30	30 50	50 80	80 120	120 180	180 250	250 315	315 400
F7	+22 +10	+28 +13	+34 +16	+41 +20	+50 +25	+60 +30	+71 +36	+83 +43	+96 +50	+108 +56	+119 +62
G6	+12 +4	+14 +5	+17 +6	+20 +7	+25 +9	+29 +10	+34 +12	+39 +14	+44 +15	+49 +17	+54 +18
H6	+8 0	+9 0	+11 0	+13 0	+16 0	+19 0	+22 0	+25 0	+29 0	+32 0	+36 0
H7	+12 0	+15 0	+18 0	+21 0	+25 0	+30 0	+35 0	+40 0	+46 0	+52 0	+57 0
H8	+18 0	+22 0	+27 0	+33 0	+38 0	+46 0	+54 0	+63 0	+72 0	+81 0	+89 0
H9	+30 0	+36 0	+43 0	+52 0	+62 0	+74 0	+87 0	+100 0	+115 0	+130 0	+140 0
H10	+48 0	+58 0	+70 0	+84 0	+100 0	+120 0	+140 0	+160 0	+185 0	+210 0	+230 0
H11	+75 0	+90 0	+110 0	+130 0	+160 0	+190 0	+210 0	+250 0	+290 0	+320 0	+360 0
H12	+120 0	+150 0	+180 0	+210 0	+250 0	+300 0	+350 0	+400 0	+460 0	+520 0	+570 0
H13	+180 0	+220 0	+270 0	+330 0	+390 0	+460 0	+540 0	+630 0	+720 0	+810 0	+890 0
J7	+6 -6	+8 -7	+10 -8	+12 -9	+14 -11	+18 -12	+22 -13	+26 -14	+30 -16	+36 -16	+39 -18
K6	+2 -6	+2 -7	+2 -9	+2 -11	+3 -13	+4 -15	+4 -18	+4 -21	+5 -24	+5 -27	+7 -29
K7	+3 -9	+5 -10	+6 -12	+6 -15	+7 -18	+9 -21	+10 -25	+12 -28	+13 -33	+16 -36	+17 -40
M7	0 -12	0 -15	0 -18	0 -21	0 -25	0 -30	0 -35	0 -40	0 -46	0 -52	0 -57
N7	-4 -16	-4 -19	-5 -23	-7 -28	-8 -33	-9 -39	-10 -45	-12 -52	-14 -60	-14 -66	-16 -73

## Arbres en mm – Ecart en micromètres

	3 6	6 10	10 18	18 30	30 50	50 80	80 120	120 180	180 250	250 315	315 400
f8	-10 -28	-13 -35	-16 -43	-20 -53	-25 -64	-30 -76	-36 -90	-43 -106	-50 -122	-56 -137	-62 -151
g6	-4 -12	-5 -14	-6 -17	-7 -20	-9 -25	-10 -29	-12 -34	-14 -39	-15 -44	-17 -49	-18 -54
h5	0 -5	0 -6	0 -8	0 -9	0 -11	0 -13	0 -15	0 -18	0 -20	0 -23	0 -25
h7	0 -12	0 -15	0 -18	0 -21	0 -25	0 -30	0 -35	0 -40	0 -46	0 -52	0 -57
h8	0 -18	0 -22	0 -27	0 -33	0 -39	0 -46	0 -54	0 -63	0 -72	0 -81	0 -89
h9	0 -30	0 -36	0 -43	0 -52	0 -62	0 -74	0 -87	0 -100	0 -115	0 -130	0 -140
h11	0 -75	0 -90	0 -110	0 -130	0 -160	0 -190	0 -220	0 -250	0 -290	0 -320	0 -360
h13	0 -180	0 -220	0 -270	0 -330	0 -390	0 -460	0 -540	0 -630	0 -720	0 -810	0 -890
j6	+6 -2	+7 -2	+8 -3	+9 -4	+11 -5	+12 -7	+13 -9	+14 -11	+16 -13	+16 -16	+18 -18
js5	+2,5 -2,5	+3 -3	+4 -4	+4,5 -4,5	+5,5 -5,5	+6,5 -6,5	+7,5 -7,5	+9 -9	+10 -10	+11,5 -11,5	+12,5 -12,5
js9	+15 -15	+18 -18	+21 -21	+26 -26	+31 -31	+37 -37	+43 -43	+50 -50	+57 -57	+66 -66	+70 -70
js11	+37 -37	+45 -45	+55 -55	+65 -65	+80 -80	+95 -95	+110 -110	+125 -125	+145 -145	+160 -160	+180 -180
k6	+9 +1	+10 +1	+12 +1	+15 +2	+18 +2	+21 +2	+25 +3	+28 +3	+33 +4	+36 +4	+40 +4
m6	+12 +4	+15 +6	+18 +7	+21 +8	+25 +9	+30 +11	+35 +13	+40 +15	+46 +17	+52 +20	+57 +21
n6	+16 +8	+19 +10	+23 +12	+28 +15	+33 +17	+39 +20	+45 +23	+52 +27	+60 +31	+66 +34	+73 +37
p6	+20 +12	+24 +15	+29 +18	+35 +22	+42 +26	+51 +32	+59 +37	+68 +43	+79 +50	+88 +56	+98 +62



# CONTROLES DE MAINTENANCE PREVENTIVE

	Page
Contrôles sensoriels.....	252
Inspection du sous-sol.....	254
Inspection des bâtiments et ouvrages.....	257
Inspection des tuyauteries et circuits.....	259
Inspection des machines.....	265
Moyens de contrôle non destructifs assez simples.....	270
Endoscopie.....	275
Mesures de vibrations.....	278
Analyses d'huiles.....	284 ..
Thermographie.....	291
Courant de Foucault.....	294
Ressuage.....	297
Magnétoscopie.....	301
Contrôles par ultrasons.....	304
Contrôle des vannes.....	310

## Contrôles sensoriels

Ils sont connus ces rats du métier qui disent flegmatiquement en passant à côté d'une machine « Il faudrait jeter un p'tit coup d'œil ici ». Mais il est vrai que cette perception humaine – **voir, écouter, toucher, sentir** – tend à disparaître avec les systèmes de gestions informatiques modernes. Comment en effet résumer le sensoriel dans ce genre de système ?

### Inspections audibles

Ces inspections sont faites durant les tournées. Ecoutez le bruit des équipements et notez les différences dans le temps. Le fonctionnement de la machine était doux hier et il est bruyant aujourd'hui, quel est la cause du changement ? Un crissement de courroie peut indiquer une surcharge ou une courroie détendue. Un grattement ou un bruit rythmé peut indiquer un glissement ou un frottement. Une dent cassée d'un réducteur peut être détectée pour tout « clic » ou bruit récurrent provenant de ce réducteur. Si un bruit anormal est perçu, il est important d'en trouver la source et de s'assurer qu'il ne s'agit pas d'un élément qui causera un défaut de l'équipement.

Il est parfois intéressant d'utiliser un système d'écoute comme aide à l'identification de la source de bruit. Il y a plus de trente ans, on utilisait le manche de tournevis pour écouter les paliers. Aujourd'hui il existe de petits appareils permettant de faire cette écoute par les ultrasons, les vibrations ou les ondes de chocs. Le suivi peut même être fait en continu par des systèmes « à l'écoute » de plusieurs paliers.

### Inspections visuelles

Cherchez les fuites, les desserrages, vérifiez les niveaux de fluides, la peinture brûlée, les arbres ou les capots vibrants.

Assurez-vous de la bonne installation et du bon fonctionnement des manomètres. Il est d'importance majeure de connaître la pression « normale » pour tout équipement rotatif. Il faut être attentif à la sur-lubrification. Elle salit non seulement le lieu de travail mais elle réduit aussi la vie des équipements. Si l'équipement est lubrifié par bague, il est souvent facile de faire une inspection visuelle de la bague ; ce test est effectif si elle s'arrête de tourner.

### Inspections tactiles

Touchez l'équipement pour vous assurer que la température est acceptable. Ou est-ce plus chaud que lors de l'inspection précédente ? Est-ce un point chaud localisé ou une surface chaude globalement ?

Ressentez-vous une légère vibration dans vos doigts ? cela indiquerait une vibration de haute fréquence ou d'un rythme accéléré.

Touchez l'arrivée et la sortie d'eau ou d'huile d'un refroidisseur ; si la température est presque semblable c'est qu'il y a un bouchon.

Simplement toucher un équipement du bout des doigts donne déjà une impression subjective de la bonne marche d'un équipement. La méthode est raisonnablement acceptable pour détecter les vibrations en pratique. Le tout est de procéder régulièrement à ces tests afin de pouvoir discerner les changements.

### Odorat

Une odeur « normale » en fonctionnement qui change soudainement en une autre est un indicateur de problème potentiel.

Exemples : odeurs d'une courroie ou d'une huile qui chauffent, odeur d'une peinture qui surchauffe assez pour se décolorer, etc.

### Maintenance préventive

La maintenance préventive devrait se décliner suivant trois niveaux :

➔ **Contrôles par l'Exploitation**

Ce sont des contrôles journaliers du bon fonctionnement des équipements, avec quelques contrôles d'états d'organes (surtout sur le plan des encrassements et bourrages), à réaliser par des opérateurs ou des rondiers. Des check-lists s'imposent.

➔ **Contrôles sensoriels par la Maintenance**

Ces contrôles sont en principe hebdomadaires et concernent les inspections audibles, visuelles, tactiles et par l'odorat.

Ils peuvent être réalisés par des mécaniciens, ou par des graisseurs qui connaissent bien, en principe, le bruit des paliers.

➔ **Contrôles spécifiques par la Maintenance**

Ces contrôles sont étudiés dans le détail d'un Plan de maintenance préventive. Leur réalisation doit être le plus possible prédictive.

Les périodicités des visites peuvent être :

- calendaires (ce qui facilite les plannings)
- suivant le taux d'usure des équipements.

Pour ces contrôles on peut faire appel à des moyens de CND (contrôles Non Destructifs) tels que ceux exposés ci-après :

# Inspection du sous-sol

## Tassements et mouvements : généralités

Les mouvements et tassements observés en Génie civil ne sont à craindre que s'ils sont **différentiels** (tassements inégaux d'une même structure).

Ces tassements différentiels sont liés :

- A la nature du sol
  - Sol géologiquement hétérogène
  - Sol plastique (argiles, marnes)
  - Plans de glissement des roches supports
  - Remblais insuffisamment compactés
- A l'action des nappes d'eau souterraines
  - Nappe phréatique naturelle
  - Apports provenant de l'exploitation de l'usine, en particulier des effluents plus ou moins agressifs (ruptures d'égouts, par ex.)
- A la mauvaise conception des fondations
- Aux différences de répartition d'efforts : charges permanentes non prévues, poussées différentielles dues au vent sur les structures élevées, effet « bilame » de dilatation différentielle sur les structures élevées, tassement différent d'un bâtiment lourd et des canalisations enterrées qui en sortent, etc.

Il importe donc de disposer de l'étude de mécanique des sols effectuée avant construction de l'usine.

## Techniques de surveillance des mouvements

### Réseau de triangulation

Avant l'ouverture de chaque chantier, on place en zone stable des bornes topographiques repères, rattachées au nivellement général de l'usine.

En fin de chantier est établi la carte de nivellement des bâtiments et appareillages lourds, et des carrefours des voies de communication (chaussées, voies ferrées).

Ces levées seront reprises à intervalles réguliers (tous les 6 mois par exemple) pour détecter tout tassement différentiel anormal, en particulier ceux jouant sur la verticalité d'un ensemble.

Le nivellement des chemins de roulement de ponts roulants, portiques et voies ferrées doit être contrôlé très fréquemment. On contrôlera particulièrement le défaut de parallélisme des voies. Seule l'expérience peut en définir la fréquence.

### Appareillage

Appareillage classique : mires, lunettes, niveaux, tacléomètres, tubes en « U ».

Appareillage moderne : laser topographique (contrôles de rails), telluromètres (mesure électronique des distances : radar, interférométrie)

### Décision d'action

Malheureusement on ne peut jouer que sur les effets la plupart du temps (reprise de calage, bourrage de voies).

L'amélioration de la tenue des fondations est généralement une grosse opération (injections de béton).

Il est toutefois possible, si nécessaire, de porter remède à une cause très fréquente du tassement : les infiltrations d'eau dans le sous-sol.

### Techniques de surveillance de la nappe phréatique

Il importe de connaître l'état et les mouvements de la nappe sur le site avant le début du chantier (niveaux d'été et d'hiver, mesure de température de la nappe).

La nappe peut descendre, dans le cas de la création d'un forage et atteindre un nouvel équilibre.

Elle peut remonter dans le cas fréquent des détériorations de canalisations enterrées (conduites d'eau, égouts).

Les mouvements de sols consécutifs aux mouvements de nappe sont aggravés dans les cas suivants :

- Présence d'argile ou de marnes (variation de volume, plasticité).
- Agressivité des effluents (action des eaux acides sur un sous sol calcaire ou argileux).
- Quand le débit d'eau de fuite entraîne le lit de sable supportant les canalisations enterrées.

La surveillance de nappe peut se faire :

- Soit par des moyens géophysiques (résistivité des sols), technique devant être mise en œuvre par une société (ou un organisme) spécialisée.
- Soit par des **piézomètres** (tubes pointus et crépinés enfoncés dans le sol) rattachés au nivellement général topographique du site, et dont on relève le niveau d'eau en équilibre avec la nappe.

Ces piézomètres sont installés :

- Soit aux endroits de prélèvements dans la nappe (« pilotage » d'un puits en période de sécheresse).
- Soit aux endroits à haut risque de fuite (égouts dans les zones à tassement différentiel : sorties de bâtiment, traversées de routes ou voies ferrées, conduites d'eau sous pression).
- Soit aux endroits où une venue d'eau souterraine peut être préjudiciable

Un affaissement anormal du sol est le risque immanquable d'une venue d'eau.

Lors d'une montée anormale de la nappe, il importe de pomper l'eau du piézomètre pour le renouveler et l'analyser. L'eau d'égout est plus chaude que l'eau de nappe et elle est souvent malodorante.

Il faut n'utiliser qu'avec prudence le marquage à la florescence (coloration des rejets à la rivière).

### Examen des canalisations enterrées.

#### Egouts

Les égouts sont soit des buses en béton (non visitables par l'homme), soit des ovoïdes visitables.

Ils sont cimentés de façon rigide et craignent donc :

- Les tassements différentiels de terrain.
- La présence de pression, ce qui impose l'écoulement à surface libre (et non en charge).

Les tassements différentiels se constatent à la sortie des bâtiments (raccordement bâtiment égout) et sous les zones chargées (voies ferrées, routes, parcs).

Une fuite d'égout entraîne une entrée d'eau dans le sol, généralement agressive, le lessivage du lit de sable sur lequel il repose, des mouvements de terrain dus à la nouvelle présence d'eau sous le sol, ce qui aggrave encore la situation.

Le contrôle périodique se fait :

- En service, en vérifiant le bon écoulement de l'eau dans les regards (montée immédiate du niveau en cas d'obstruction).

- A l'arrêt, en effectuant une visite humaine des ovoïdes (éviter les périodes d'orage).

Il existe des caméras conçues pour inspecter les égouts, en se déplaçant sur des chariots automoteurs.

La réparation d'un égout entraîne rarement l'arrêt du site. Compte tenu du phénomène d'aggravation cumulative, il faut ouvrir une tranchée et réparer l'égout dès que possible.

Les bouchages d'égouts s'évitent soit par des chasses d'eau, soit par des nettoyeurs (tête à jet d'eau sous pression alimentée par flexible).

### **Conduites d'eau sous pression enterrées**

Les conduites d'eau fragiles (ciment, fonte) peuvent casser sous les efforts importants, les conduites d'acier se corrodent.

Les conduites mal ancrées ou mal protégées contre les coups de bélier peuvent se déboîter, et les joints lâcher. En général, les joints modernes autorisent une certaine souplesse.

Il est utile d'avoir des compteurs amont et aval pour connaître la présence de fuites. Pour la localisation, les fuites se détectent à l'hydrophone qui amplifie le bruit de la fuite.

En ce qui concerne la résistance à la corrosion des conduites en acier, elle se détecte au niveau de la protection cathodique (courant de soutirage).

Un principe fondamental à rappeler est qu'un tuyau d'acier revêtu s'il n'a pas sa protection cathodique est plus rapidement inutilisable qu'un tuyau d'acier non protégé placé dans le sol. En effet, les courants électriques se concentrent aux zones très localisées d'isolement défectueux du revêtement.

Il faut surtout se méfier des canalisations enterrées de petit diamètre fort mal protégées en général (eau, gaz).

# Inspection des bâtiments et ouvrages

## Béton armé

Les désordres en béton armé sont rarement inopinés : le béton « prévient ». Les contraintes anormales se détectent par l'existence de fissures.

Il faut distinguer les fissures de retrait (courantes) des fissures anormales provoquées par les surcharges et les tassements différentiels de fondations.

Le seul procédé est l'observation visuelle des zones en tension (face inférieure des poutres ou de cisaillement (tassements différentiels).

A l'échelon de l'usine on pose un plâtre, dûment daté, sur la fissure : on constate si le plâtre lui-même se fissure ou pas (fissure stabilisée ou non).

Le ruissellement des eaux sur le béton, surtout si elles sont agressives, amène celles-ci à pénétrer, par les fissures, jusqu'aux armatures du béton.

La corrosion des armatures risque de conduire à la ruine de l'ouvrage. On peut la prévoir à la vue : la rouille développée sur l'acier étant sept fois moins dense que celui-ci, il y a expansion de matière autour de l'armature ce qui amène le décollement de la couche superficielle de béton.

Le remède consiste à étancher la fissure (enduis plastiques).

Ne jamais étayer en un seul point une poutre béton qui fléchit : il y a risque d'inverser les moments de flexion.

Bien contrôler les boulons de scellement de machines vibrantes.

## Charpente métallique

Un ennemi : la corrosion. La rouille produite absorbe l'humidité et aggrave encore la situation.

Les charpentes des halles exposées à la chaleur ou secouées par les trépidations des ponts roulants (« dérouillant » automatiquement le métal) sont moins vulnérables que les charpentes exposées à l'humidité, les ambiances chimiques, l'air marin.

L'inspection se fait dans les recoins (voir la « corrosion caverneuse »).

Les ultrasons peuvent contrôler l'épaisseur du métal, des détecteurs magnétiques l'épaisseur du film de peinture protectrice.

Les points sensibles sont les pieds de charpente en contact avec le sol, exposés aux liquides (sauf s'ils sont protégés par un socle en béton). Très exposés sont les boulons de scellement qui gagneront à être traités à la graisse graphitée et protégés par un « doigt de gant ».

## Toitures

Deux préoccupations :

- L'évacuation des poussières sur les toits.
- L'étanchéité dont les défauts se révèlent lors des orages.

Le problème est bien plus compliqué pour les étanchéités multicouches des toitures en terrasse, où l'eau parcourt de grandes distances entre la fissure et son empreinte sur un plafond.

Une technique s'est développée ces dernières années.

Elle consiste à survoler les toitures en hélicoptère avec une caméra infrarouge, le lendemain d'un jour de pluie. Cela permet de détecter les infiltrations d'eau. On revient le lendemain avec un appareil neutronique (ou sonde à neutrons) pour préciser les zones à réparer (l'appareil émet des neutrons qui sont comptés en retour, l'eau captant les neutrons)

## Etanchéité générale du bâtiment

Elle peut s'apprécier dans un bâtiment pressurisé par la surpression intérieure.

### Sous-sols

Les sous-sols sont sujets aux inondations : infiltrations de nappes, entrées d'eaux de ruissellement, fuites de canalisation.

Il est indiqué d'avoir un **puisard** au point bas des caves en galeries, où le niveau est détecté.

Les relevés horaires de marche des pompes automatiques d'épuisement donnent une idée des quantités d'eau infiltrées.



# Inspection des tuyauteries et circuits

## Points à surveiller dans les circuits de fluides

### Paramètres de marche

Il s'agit de contrôler que l'écoulement du fluide se fait de la façon prévue, les caractéristiques physico chimiques du fluide en mouvement ou à l'arrêt étant également celles prévues.

Les caractéristiques générales d'un fluide sont :

- le débit (vecteur vitesse dans une section)
- la pression
- la température
- la masse spécifique
- la viscosité
- la résistivité
- l'analyse physico-chimique du fluide et de ses impuretés

Le bon écoulement d'un fluide est tributaire :

- ➔ de la bonne marche du producteur de pression motrice :
  - réservoir gravitaire,
  - réservoir sous pression,
  - machine telle que pompe, ventilateur, compresseur ;
  -
- ➔ du bon état des appareils de commande et de réglage :
  - dans le lit du fluide : vannes de réglage, vannes d'arrêt,
  - reliant le fluide à l'extérieur : soupapes, purgeurs, etc...
- ➔ du bon état des capteurs du réseau de contrôle ;
- ➔ du bon état du réseau de tuyauterie et de ses organes de jonction ;
- ➔ de la bonne marche des traitements subis par le fluide :
  - traitement chimique,
  - injection de réactifs,
  - déshydratation ou réhydratation,
  - échange de température,
  - surchauffe ou désurchauffe,
  - élimination de composants,
  - filtration, centrifugation, distillation ;
- ➔ de la détente finale avec ou sans travail extérieur (moteur hydraulique).

### Problèmes spécifiques aux fluides

Les problèmes des machines ainsi que ceux de la robinetterie relèvent du paragraphe « inspection des machines ».

Les problèmes spécifiques aux fluides sont les suivants.

#### ***Phénomènes transitoires de l'écoulement***

- ➔ les coups de bélier (onde de pression et de dépression) ;

- ➔ la cavitation ;
- ➔ les vortex et phénomènes tourbillonnaires ou pulsatoires ;

### ***Phénomènes perturbant de façon constante de l'écoulement***

- ➔ obstructions localisées :
  - volontaires : filtres,
  - involontaires : blocage de vannerie, dépôt de corps étrangers aux points bas ou dans les changements de section ;
- ➔ obstructions générales :
  - dépôt de tartre (incrustation),
  - gelée adhérente d'algues monocellulaires.
- ➔ présences animales (moules) ou végétales (algues) ;
- ➔ présence indésirée de liquide dans un gaz (condensats de vapeur, eau et huile dans l'air comprimé) ;
- ➔ présence indésirée d'un gaz dans un liquide (poche d'air) non « mousse » (des circuits hydrauliques) ou d'autres liquides miscibles (émulsion, décantation).

### ***Echanges thermiques par contact de liquide ou par condensation de vapeur***

#### ***Fuites***

- ➔ vers l'extérieur (réseau sous pression) ;
- ➔ vers l'intérieur (réseau sous vide).

Les fuites sont situées :

- ➔ aux organes d'étanchéité dynamique (fuite réduite souhaitable : presse étoupe, garniture mécanique, joint à lèvres...)
- ➔ aux organes d'étanchéité statiques (joints, raccords, brides...)
- ➔ en pleine canalisation (détérioration de celle-ci).

#### ***Problèmes de corrosion***

Ils sont plus fréquents qu'avec la matière solides (produits chimiquement plus actifs).

#### ***Contrôle du traitement physicochimique du fluide***

C'est un problème qui est plus d'exploitation que de maintenance.

## **Symptômes utilisés en maintenance prévisionnelle des fluides**

### **Contrôle de l'écoulement**

Les contrôles peuvent se faire :

- ➔ dans l'espace : variation des paramètres le long du réseau ;
- ➔ dans le temps : variation des paramètres en fonction du temps :
  - en fonction des réglages volontaires de marche,
  - en fonction des événements involontaires subis.

Les observations seront détectées :

- ❑ D'une façon globale, par la diminution du débit et l'accroissement de la perte de charge.
- ❑ Par le suivi de la perte de pression définie dans le cas des liquides par la **ligne piézométrique**.

- ❑ Par les obstructions locales (colmatage d'un filtre, obstruction d'un point bas).

Le cas échéant, on contrôlera que l'accroissement de perte de pression n'est pas dû à un accroissement de viscosité. Si cette viscosité est liée à la température, il sera plus facile de mesurer cette dernière.

## Contrôle des échanges thermiques

Il se fait en général par la température (Si l'eau sort froide d'un échangeur, ce dernier a de grande chance d'être entartré ou obstrué par des bactéries anaérobies).

Dans le cas de condensation de vapeur saturante (échange de chaleur à température constante), le contrôle se fait par mesure du taux de la phase condensée.

## Contrôle des fuites

- ❑ Une fuite notable se détecte aisément : nuage de vapeur, sifflement, nappe d'eau, odeur du fluide.
- ❑ Les microfuites se détectent plus difficilement.
- ❑ Beaucoup de détections se font par l'écoute des ultrasons émis.
- ❑ Pour le vide : détection à l'hélium ou aux halogènes.
- ❑ Détections particulières :
  - des fuites d'ammoniac par HCL (fumées blanches) ;
  - en zone hors danger d'inflammation, détection par inflammation des fuites de gaz combustible ;
  - détection par effet physique ou chimique de gaz particuliers (oxygène, CO, CO<sub>2</sub>, méthane...).

## Contrôle de la nature du fluide (traitement des fluides, corrosion)

- ❑ Résistivité (eau déminéralisée)
- ❑ Mesure de PH
- ❑ Mesure de potentiel Redox
- ❑ Mesure de la dureté
- ❑ Mesure de l'hydrométrie
- ❑ Mesure de la D.B.O. (demande brute d'oxygène)
- ❑ Dosage des ions.

Pour la matière vivante : contrôle par l'odeur, l'observation macroscopique (algues, moules) ou microscopique (pollens, bactéries, algues monocellulaires)

## Contrôle de l'état des tuyauteries

- ❑ Contrôle de l'état interne des tuyaux par un capteur à courant de Foucault
- ❑ Contrôles en utilisant l'endoscopie
- ❑ Contrôle du bon état d'un calorifuge à distance (par pyromètre optique ou thermographie)  
Ce contrôle permet aussi de détecter les fuites sous calorifuges

## Capteurs de mesure pour fluides

### *Thermométrie*

Appareils à dilatation, bilames, thermocouples, thermistances, effet Peltier, appareil infrarouge, etc...

### *Pressiométrie*

Déformation élastique (tube de Bourdon), colonne barométrique, utilisation d'un fluide relai avec membrane, capteur à jauge de contraintes, effet capacitif ou piézoélectrique.

## **Viscosité**

Effet sur les palettes, ajustage, couple transmis à un disque fixe par un disque tournant en parallèle.

## **Débit**

- ❑ Organes déprimogènes statistiques (diaphragme venturé, tube de Pitot, sonde de Randol)
- ❑ Turbines à hélices, à palettes, rotor excentré, engrenage, roues dentées ovoïdes.
- ❑ Autres effets mécaniques : à souffler alternativement (gaz basse pression), palette inclinable(sabre), à toupie dans ajustage conique (**rotamètre**)
- ❑ Débitmètre électromagnétique.
- ❑ Débitmètre à vortex tourbillonnaire.
- ❑ Débitmètre à corps radioactif à très faible période.
- ❑ **Mesureurs de débit sans perçage de tuyauterie :**
  - utilisation de l'effet Doppler ;
  - autre utilisation des ultrasons.Très utile en maintenance, appareils pouvant être loués.

## **Détection de niveau**

- ❑ Bougies électriques à conduction (bougie Schwob) ( inopérante avec des eaux souillées d'hydrocarbure).
- ❑ Flotteur
- ❑ Effet capacitif.
- ❑ Monture de niveau (lecture directe ou par flotteur magnétique)
- ❑ Ultrasons
- ❑ Rayons gamma

## **Analyses**

- ❑ Cellules à potentiel de référence (PH)
- ❑ Mesure de résistivité.
- ❑ Mesure d'hygrométrie par méthodes de point de rosée, thermomètre humide, cellule au chlorure de lithium.
- ❑ Analyses chimiques à principe physique (spectre d'émission, spectre d'absorption, fluorescence, rayon X, conductibilité de l'hydrogène, absorption infrarouge du CO<sub>2</sub>, paramagnétisme de l'oxygène)
- ❑ Analyses chimiques à principe chimique.
- ❑ Interchangeabilité des gaz combustibles par indice de Wobbe ou par calorimètre.

- ❑ Analyses biologiques par cellules de culture.
- ❑ Observations au microscope.

### **Circulation de produits solides discontinus**

Le seul point à surveiller est le bon fonctionnement du flux des « colis individualisés ».

Méthode :

- ➔ Observation et comptage directs.
- ➔ Capteurs tactiles.
- ➔ Capteurs photoélectriques.
- ➔ Capteurs de proximité magnétiques ou inductifs
- ➔ Télévision.
- ➔ Senseur à infrarouge.

### **Circulation des produits solides en vrac (pondereux)**

#### **Problèmes particuliers de circulation**

Ils s'apparentent quelque peu à l'écoulement des fluides notamment pour les transports de boues qui se développent fortement avec des contraintes particulières :

- ❑ Angles de talus naturel.
- ❑ Perturbations causées par l'humidité (boues compactes).
- ❑ Collages aux parois (convoyeurs, trémies)
- ❑ Phénomènes d'écoulement par gravité dans les trémies. Ils nécessitent des phénomènes particuliers d'extraction.
- ❑ Colmatages et débordements.

Cas particulier : transport pneumatique. Le problème relève des fluides avec l'abrasion accélérée des coudes de conduites en plus.

#### **Technologies particulières des contrôles**

##### **Mesures de niveau en trémie**

- ❑ Rayon gamma
- ❑ Moulinets ou palettes vibrantes
- ❑ Effet capacité
- ❑ Sondage au marteau
- ❑ Radar
- ❑ Ultrasons basse fréquence
- ❑ Palette

##### **Mesures de débit masse**

- ❑ Trémie à pesage discontinu
- ❑ Peson intégrateur sur convoyeur
- ❑ Peson à chute

### **Analyses granulométriques**

- ❑ Echantillonnage représentatif
- ❑ Passage sur série de cribles

### **Analyses physico-chimiques**

- ❑ Humidité (paramètre le plus important) : jauge à neutrons ou discontinue.
- ❑ Analyse chimique : fluorescence, rayon X ou discontinue

### **Maintenance préventive**

La majorité des moyens de CND évoqués sont utilisés par l'Exploitation.

Certains d'entre eux servent la maintenance prévisionnelle, tels que :

- les manomètres (contrôle du réseau d'air comprimé...)
- les débitmètres et rotamètres (notamment pour le contrôle des circuits d'huile...)
- les prises de températures.

En maintenance, par ailleurs on fait appel à certains moyens mobiles tels que :

- les détecteurs de fuite d'air par ultrasons,
- des endoscopes,
- des produits traçants avec une détection par une lampe UV ;
- des sprays avec détection par les bulles qui se forment en cas de fuites.
- les pyromètres optiques ou la thermographie
- des sondes à effet Doppler ou ultrasons pour certains cas d'analyses (assez rares)
- l'utilisation des contrôles par sonde à courant de Foucault

# Inspection des machines

## Dégradation des machines

### Causes

- ➔ Externes : environnement, matières à traiter.
- ➔ Internes : imperfections de la machine (jeux, déséquilibre, frottements, chocs...)

### Effets

- ➔ Perte de matière
  - ❑ Usure par frottement ( abrasion )
  - ❑ Usure par chocs (martelage, grenailage perpendiculaire)
  - ❑ Usure par corrosion chimique ou électrochimique (couples électrolytiques)
- ➔ Perte de cohésion dans la matière, sous l'effet des contraintes (fissurations, ruptures, bris)
  - ❑ Fissuration par effet mécanique simple ou répété (fatigue)
  - ❑ Fissuration par attaque chimique (corrosion intergranulaire, corrosion sous tension)
  - ❑ Pertes de caractéristiques mécaniques par phénomène thermique, entraînant la rupture (modification de l'état cristallographique du métal, fragilisation par le froid)
  - ❑ Déformation plastique (fluage, flambage)

### Manifestation de la dégradation

- ➔ Modifications géométriques sur l'épaisseur des matières, la position relative des organes, le poids.
- ➔ Rupture de la continuité (fissures, bris)
- ➔ Emission de débris (pollution des huiles, des matières et gaz d'échappements, de l'atmosphère environnante, fuites.
- ➔ Anomalies du profil et températures (échauffements et refroidissements anormaux)
- ➔ Modifications de la nature physique ou chimique de la matière (fusion, modification des cristaux, durcissements...)
- ➔ Vibrations engendrées (mouvements et autres phénomènes) y inclus les bruits par :
  - ❑ Déséquilibres statiques ou dynamiques (mouvements linéaires, balourds des pièces tournantes)
  - ❑ Défauts de montage (mauvais alignements)
  - ❑ Desserrages d'organes d'assemblage.
  - ❑ Jeux excessifs.
  - ❑ Mouvements relatifs et chocs d'organes constitutifs, aggravés par leur détérioration : roulements, engrenages, segments, clapets, glissières, marteaux, etc...
  - ❑ Phénomènes ultrasonores spéciaux.

Une vibration complexe peut toujours se décomposer en vibrations simples de différentes fréquences (analyse de Fourier) avec une amplitude, une vitesse, une accélération et une phase. Le choc est proportionnel au carré de la vitesse quadratique moyenne. Les vibrations s'accroissent d'elles-mêmes (accroissement des jeux provoqués par les chocs). Le phénomène peut devenir catastrophique quand un organe entre en résonance avec une vibration (réponse élastique des organes aux vibrations).

En général, en montant vers les hautes fréquences :

- ✓ les amplitudes diminuent,

- ✓ les vitesses se maintiennent,
- ✓ les accélérations croissent.

### Réalisation des appareillages de détection et de mesure

#### Mesures géométriques

- ❑ Directes : palpeurs, pieds à coulisse, micromètre, compas et cales d'épaisseur...
- ❑ Indirectes : optiques, fluidiques (micromètre Solex), emploi du rayon laser (définition d'axe)

#### Mesures de contraintes

Déformations élastiques (ressorts), capsules manométriques (jauges Martin Decker), jauges de contrainte, vernis craquelants.

#### Phénomènes lumineux

- ❑ Modification de transmission de lumière (réflexion, réfraction)
- ❑ Observation directe ou assistée
  - Comptage de passages à la cellule photoélectrique
  - Stroboscopie
  - Caméra
  - Endoscopie
  - Microscopie (observation de débris, micrographies)
  - Examen en ultra violets (fluorescences)
  - Emploi du laser (mesures géométriques...)

#### Phénomènes fluidiques tels que capillarité

- ❑ Ressuage

#### Phénomènes magnétiques

- ❑ Modification des caractéristiques magnétiques d'un ensemble
  - Utilisation des courants de Foucault
  - Détection des fissures par magnétoscopie
- ❑ Modification du champ lui-même
  - Mesure d'un entrefer (jeux)
  - Mesure d'épaisseur d'un film de peinture, considéré comme entrefer.
- ❑ Utilisation d'un champ magnétique
  - Capture des débris d'acier dans les huiles (Filtres magnétiques)

#### Phénomènes électriques

- ❑ Résistivité : mesure d'épaisseur, localisation des fissures.
- ❑ Mesures d'isolement : contrôle d'isolant par balai électrostatique.
- ❑ Mesures de F.e.m. (couples galvaniques de métaux différents en milieu conducteur) et d'intensité.



## Analyses physico-chimiques

- ❑ Analyse des débris provenant de la machine (contenus par exemple dans les huiles, les carters, etc.) par :
  - Spectrophotométrie
  - Fluorescence, Rayon X
  - Analyse chimique traditionnelle
- ❑ Analyse des gaz par phénomène physique ou chimique (absorption infrarouge pour CO<sub>2</sub>, paramagnétique pour oxygène, cellule à chlorure de lithium pour hygrométrie, sonde à neutrons pour teneur en eau ou en atomes d'hydrogène, etc...)
- ❑ Mesures in situ des caractéristiques mécaniques (billage)

## Mesures de températures

Thermométrie dans la masse, thermométrie de surface, thermométrie des fluides refroidissant (huile, air, eau)

- ❑ Thermomètre de contact
- ❑ Thermoûètre infrarouge
- ❑ Caméra infrarouge
- ❑ Bilames
- ❑ Crayons, peintures, pastilles thermochromes
- ❑ Thermistances
- ❑ Thermocouples

## Rayonnement radioactif

- ❑ Détection de fissures par photographie aux rayons X ou gamma
- ❑ Utilisation des traceurs radioactifs (éléments marqués)

## Vibrations émises par la machine

- ❑ Capteur en contact avec l'organe
  - Basses fréquences (0-300 Hz) : mesure de déplacement, mesure du jeu (capteur à courants de Foucault)
  - Moyennes fréquences (300 – 1000 Hz), mesure de vitesse : capteur sismique avec masselotte ; transmission par électrodynamique ou par variation de capacité.
  - Hautes fréquences (au-delà de 1000 Hz) mesure d'accélération par capteur piézométrique (quartz avec masselotte)
- ❑ Capteur dans l'atmosphère : mesure du signal acoustique ou bruit par microphone
  - Bruits généraux
  - Fuites (ultrasons dans la bande 40 – 80 Hz)

## Variations transmises à la machine

- ❑ Réponse au choc du marteau (arbre fêlé)
- ❑ Ultrasons : palpeurs émetteurs et récepteurs, en contact direct ou avec média de transmission.  
Utilisation en :
  - réflexion,
  - réfraction,
  - transmission.

## Mise en œuvre des mesures

**Mesures d'épaisseur** (pertes d'épaisseur, ou au contraire dépôts adhérent à la matière)

- ❖ Mesure directe par instruments
- ❖ Mesure indirecte par ultrasons
- ❖ Mesure magnétique (cas d'un revêtement non magnétique d'un support ferromagnétique)
- ❖ Contrôle de l'épaisseur et de la continuité d'un revêtement isolant (email, revêtement bitumeux, peinture) par contrôle d'isolement (balais électrostatiques)

**Mesures de position** (par exemple : usure butée, garnitures de frein, jeux, dilatations d'arbre, position angulaire...)

- ❖ Instruments : palpeurs, pieds à coulisse, micromètre, compas et cales d'épaisseur
- ❖ Palpeur mécanique ou à ajustage d'air
- ❖ Palpeur sans contact à courant de Foucault
- ❖ Moyens optiques, stroboscopie
- ❖ Holographie laser (position dans l'espace)

**Détection de fissures** et autres défauts dans la masse

- ❖ Ressuage sous lumière visible ou sous ultraviolets
- ❖ Magnétoscopie
- ❖ Emission d'ultrasons (contrôles US)
- ❖ Détection par courants de Foucault
- ❖ Caméra endoscopique
- ❖ Radioscopie et radiographie aux rayons X ou gamma
- ❖ Emission acoustique ultrasonore engendrée par la fissure, avec appareillage de localisation par mesures en plusieurs points (identique en son principe à la recherche de l'épicentre d'un tremblement de terre).
- ❖ Modification des réponses élastiques, telle que la fréquence de résonance, variation de la vitesse critique ou de la réponse aux vibrations d'un arbre fêlé.

**Détection de contraintes**

Déformations élastiques (ressorts), capsules manométriques (jauges Martin Decker), jauges de contrainte, vernis craquelants.

**Analyse des déchets**

- ❖ Déchets contenus dans les huiles
  - Piège à aimant (particules ferromagnétiques)
  - Comptage des particules dans l'huile : examen des dépôts sur filtres, comptage au microscope, ou par un moyen optique (opacité d'un échantillon mesuré à la cellule photoélectrique)
  - Répartition granulométrique des particules (microscope, série de microtamis)
  - Examen de la forme des particules au microscope (grains, éclats, aiguilles...)
  - Analyse des métaux contenus dans les débris (Fe, Pb, Al, Cu, Na, Mg...). Evolution de cette analyse dans le temps permettant de déterminer l'origine des débris (écaille de roulement, grain de métal antifriction ou de bague de bronze, introduction d'eau, de mazout, de graisse, etc.)
  - Spectrophotométrie, fluorescence, rayons X, analyse chimique traditionnelle.
- ❖ Déchets contenus au niveau des collecteurs des moteurs électriques (étincelage des balais : graphite et cuivre)

- ❖ Analyse des gaz d'échappement (combustion incomplète, remontée d'huile), ou des particules métalliques contenues dans le produit fini.

## Température

- ❖ Contrôle de température des paliers
- ❖ Contrôle des température d'entrée et sortie des produits
- ❖ Contrôle des montées et descentes en température, à la mise en route ou à l'arrêt : cas des machines nécessitant des variations de température homogènes (turbines vapeur)
- ❖ Contrôle de l'efficacité d'un réchauffage ou d'un refroidissement (échangeurs, huiles, ventilations)
- ❖ Contrôle des échauffements anormaux des moteurs dans leur masse (thermistances)
- ❖ Contrôle du bon état d'un calorifuge à distance (par pyromètre optique ou thermographie)

## Vibrations

Voir plus loin le paragraphe consacré aux mesures de vibrations.

### Vibrations parasites pouvant perturber la mesure

- Machines voisines (enregistrer la signature résiduelle à l'arrêt de la machine).
- Vibrations d'origine électrique à la fréquence du courant, ou de ses harmoniques (Par exemple, oscillations axiales d'un moteur sur palier lisse) cessant à la coupure du courant.
- Vibrations transitoires exceptionnelles :
  - effet de démarrage,
  - passage à la vitesse de résonance à la montée en régime.

### Mode d'application

- Cas des machines à vitesse constante : signature vibratoire simple des grandeurs mesurées (amplitude, moyenne quadratique, vitesse ou accélération) en fonction de la fréquence.
- Cas machines à vitesses variables. Il faut noter les surfaces des grandeurs mesurées en fonction de la fréquence et de la vitesse de sortie.

## Bruits

- Examen à distance par microphone (système Mécason)
- Examen par capteur d'ultrasons, par exemple pour la détection des fuites d'air comprimé.

## Phénomènes de corrosion

- Examen des fuites
- Mesure de l'agressivité du milieu et ses variations par conductivimètre (salinité globale)
  - PH mètre (acidité)
  - redox mètre (potentiel d'oxydation)
- Attaque d'échantillon témoin (interprétation restrictive car un témoin isolé échappe à certaines corrosions telles que celles de couple électrolytique)
- Mesure de dégagement d'hydrogène
- Contrôle des surfaces attaquées (micrographies)
- Contrôle de l'épaisseur attaquée : ultrasons, micro-trous d'attente à profondeur déterminée (fuite se manifestant dès que l'épaisseur de corrosion atteint un certain seuil).

Nous avons exposé la panoplie des moyens de contrôles non destructifs. De fait, toutes les possibilités existent.  
Encore faut-il faire un choix. Les exposés ci-après des moyens les plus courants devraient vous aider dans ce sens.

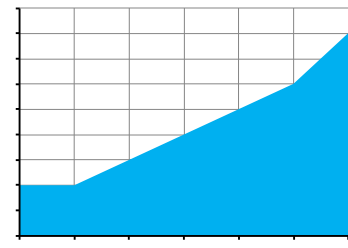
## Moyens de contrôles non destructifs assez simples

### ■ Suivi des rendements

Dans certains cas le suivi des valeurs de paramètres de fonctionnement donne une très bonne indication de l'état de différents organes. Exemples :

- l'accroissement de vitesse de la vis d'une boudineuse pour une même production révèle une usure de la vis ;
- pour un système de refroidissement par circulation d'eau, la diminution de l'écart de T°C entre l'arrivée et la sortie d'eau indique un début de bouchage, alors que l'apport d'eau dans le système est significatif d'une fuite ;
- la baisse de température d'un réchauffeur indique la défaillance de x « épingles » de chauffage ;
- etc.

Lorsque l'exploitation est automatisée il est utile de recueillir systématiquement ( 1 ou 2 fois/mois ) les valeurs de certains paramètres et de suivre leur évolution.



### ■ Outils métrologiques

mètre – réglet – pied à coulisse – micromètre – comparateur – jauges d'épaisseur – etc.

Ces outils sont essentiels pour un service de maintenance. Ils servent dans toutes les opérations de réparations, mais aussi en maintenance préventive : mesures de x pas d'une chaîne avec le mètre ou le réglet, voire le pied à coulisse pour les petites chaînes, contrôle du jeu d'un roulement au comparateur ou avec des jauges d'épaisseurs, etc...

### ■ Tournevis et appareils de contrôles des roulements

Pour le contrôle des roulements 4 moyens sont possibles :

- ✓ le manche de tournevis ;
- ✓ l'appareil de mesure d'ondes de chocs ;
- ✓ l'appareil de mesure d'ultrasons ;
- ✓ l'appareil de mesure globale de vibrations.

Quel que soit le choix, un de ces outils est indispensable pour le contrôle des roulements en maintenance préventive.



### ■ Appareils US pour détections de fuites d'air

Pour la détection de fuites d'air comprimé ou la détection d'entrées d'air dans les installations sous vide, la meilleure solution est l'utilisation d'un appareil de détection d'ultrasons.

Trois possibilités sont offertes :

- appareil à contact direct, détection à partir de 20 Hz ;



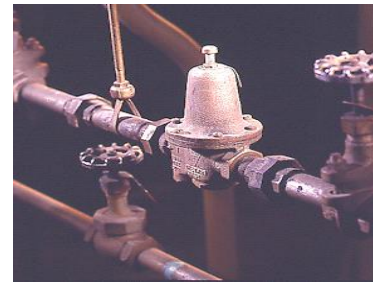
- appareil avec détection à distance avec pointeur laser, détection à partir de 40 Hz ;
- appareil avec détection à distance avec parabole.



Les fuites d'air comprimé coûtent toujours cher, ne serait-ce qu'en consommation électrique. Aussi un appareil de détection par ultrasons paraît très utile dans un service de maintenance.

### ▪ Appareils US pour contrôle des purgeurs

On peut utiliser l'appareil de détection par ultrasons pour contrôler le fonctionnement des purgeurs.



*Objectif d'un purgeur : séparer le condensât de la vapeur*

#### Purgeurs ouvert/fermé

- ➔ Purgeurs mécaniques (à flotteur ou à seau renversé)
- ➔ Purgeurs thermodynamiques à disque
- ➔ Purgeurs thermostatiques à bimétal

#### « Continuous Flow Steam Traps »

- ➔ Purgeurs thermostatiques à flotteur
- ➔ Orifices fixes

**Deux modes de défaillance :**

**Bloqué en ouverture**  
**Bloqué en fermeture**

### ▪ Produits traçants

Pour les autres fuites, deux solutions se présentent :

- utiliser des produits traçants avec une détection par une lampe UV ;
- utiliser des sprays (voir photo) avec détection par les bulles qui se forment en cas de fuites.



### ■ Tensiomètre acoustique

Pour les courroies la solution moderne consiste à utiliser un tensiomètre (vendu par les fabricants de courroies)

Le mode opératoire est le suivant :

- ✓ Tapez légèrement sur la courroie, et relevez la valeur vibratoire à l'aide de l'appareil spécifique.
- ✓ Comparez avec la valeur de référence .
- ✓ Tendez la courroie et refaites la mesure.
- ✓ Répétez éventuellement l'opération jusqu'à l'obtention de la bonne valeur.



Une bonne formule est que le fabricant de courroies vous calcule les différentes références, mais les nouveaux appareils permettent de calculer directement la valeur. C'est un outil indispensable pour la maintenance préventive ; son prix est de l'ordre de 500 €.

### ■ Appareil pour contrôle de roulements à distance

Pour les roulements inaccessibles, la solution pour le suivi d'état existe sous forme de boîtiers permettant de suivre le bruit jusqu'à 8 paliers (voir notamment Mecason).

La solution est peu coûteuse.



Boîtier électronique permettant de suivre le bruit de 8 paliers

### ■ Mesureur de débit sans perçage de tuyauterie

L'**effet Doppler** est le décalage de fréquence d'une onde acoustique ou électromagnétique entre la mesure à l'émission et la mesure à la réception lorsque la distance entre l'émetteur et le récepteur varie au cours du temps.

Le vibromètre laser utilise le principe de l'effet Doppler et fonctionne sans contact. Il est donc particulièrement adapté pour mesurer des vibrations, là où des méthodes atteignent leurs limites ou ne peuvent tout simplement pas être utilisées. A titre d'exemple, les mesures de vibrations à la surface de matériaux liquides, sur structures extrêmement petites ou légères se font donc très facilement en utilisant un vibromètre laser.

Une autre solution consiste à faire appel aux **ultrasons**.

Le débitmètre par ultrason s'utilise pour des mesures de contrôle ou pour détecter de façon rapide le débit d'un tuyau; pourtant ce débitmètre par ultrason est un système de mesure transportable et à installation facile. Le débitmètre par ultrason travaille selon la méthode de différence dans le temps d'exécution. Le principe de mesure du débitmètre par ultrason est très simple. Dans une mesure diagonale dans un tube on a besoin de moins de temps pour une mesure en direction du courant que pour une mesure en direction contraire. Plus le débit augmente, plus on a besoin de temps pour mesurer si la mesure est contre le courant, et moins on a besoin de **temps** si la mesure est dans le sens du courant. La différence entre les temps de flux en direction du courant, ou en sens inverse, dépend directement de la vitesse du flux. Le débitmètre par ultrason utilise cet effet pour déterminer la vitesse du flux et du débit. Les capteurs non destructifs se posent sur le tube et sont fixés par exemple avec une bride. En peu de temps l'écran vous indique la vitesse du flux. Le débitmètre par ultrason peut s'utiliser dans des tubes métalliques, en plastique ou dans des tuyauteries en caoutchouc. Ces appareils se louent facilement chez les sociétés spécialisées en location d'instruments de mesure.

- **Thermomètre de contact**

Dans la majorité des cas, l'appréciation d'une température se fait à la main. pour un roulement ou un moteur, on estime souvent que la température d'alarme est de l'ordre de 55 à 60°C au-dessus de la température ambiante.

Cependant, il est utile d'avoir au moins un thermomètre de contact pour analyses plus poussées.

- **Thermomètre infrarouge**

Lorsque les organes ne sont pas accessibles, le thermomètre infrarouge trouve son application. Il est recommandé d'avoir un thermomètre dont la déperdition par mètre ne soit guère plus supérieure à 1°C.



- **Shoremètre**

Il existe des appareils permettant de mesurer directement la dureté d'un organe, par exemple le shoremètre permet de contrôler la dureté de bandes transporteuses.



- **Stroboscope**

Le stroboscope peut être utile pour mesurer des vitesses. On le loue facilement.

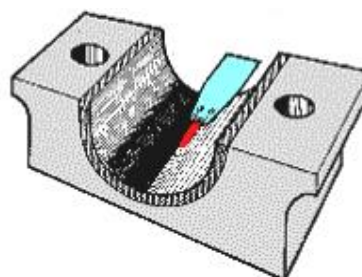
- **Fil pour contrôle des coussinets**

Le contrôle du jeu d'un coussinet se pratique par la technique du « **Plastigage** »

On détermine la valeur du jeu diamétral en mesurant la largeur d'un fil de dimensions connues après écrasement.

Il est recommandé de poser le fil plastique dans l'eau chaude pour le ramollir ; ensuite le fil est placé à sec sur le palier du vilebrequin puis écrasé lors de la mise en place et serrage au couple recommandé du chapeau de palier

Une fois le chapeau déposé, on mesure la largeur du fil écrasé grâce à l'échelle imprimée sur l'étui, qui convertit directement cette valeur en jeu.





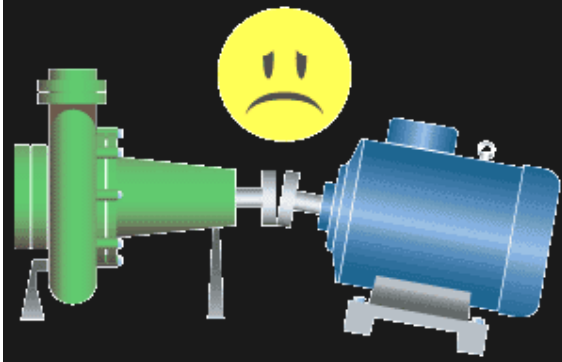
### ■ Appareil de lignage laser

Le bon alignement d'équipements comme les moteurs, pompes et réducteurs, est essentiel pour une bonne durée de vie des roulements.

Le contrôle des accouplements avec réglets et jauges n'est pas suffisant pour les ensembles critiques.

Le choix est à faire entre deux solutions valables :

- appliquer la méthode des deux comparateurs,
- ou utiliser un équipement de lignage laser.



Cette liste de moyens de CND simples n'est pas exhaustive. De très nombreuses possibilités existent sur le marché

### **Maintenance préventive**

Certains moyens de CND font appel à une plus grande technicité, notamment ceux que nous présentons maintenant :

- ➔ Endoscopie
- ➔ Mesures de vibrations
- ➔ Analyses d'huile
- ➔ Thermographie
- ➔ Courant de Foucault
- ➔ Ressuage
- ➔ Magnétoscopie
- ➔ Contrôles par ultrasons
- ➔ Contrôles des vannes



## Endoscopie

L'**endoscopie** est une méthode d'exploration et d'imagerie industrielle qui permet de visualiser l'intérieur (*endon* en grec) de conduits ou de cavités inaccessible à l'œil. L'endoscope est composé d'un tube optique muni d'un système d'éclairage. Couplé à une caméra vidéo on peut ainsi retransmettre l'image sur un écran.



On retrouve dans l'industrie trois technologies:

**Boroscopie** : sonde optique rigide pour observation par exemple de cylindres de moteurs diesel, Ces instruments rigides utilisent un système de lentilles optiques pour transmettre une image de la zone d'inspection à l'œil et un faisceau de fibres non cohérent pour éclairer l'objet.

**Flexoscopie ou fibroscopie** : sonde optique souple pour observation. Les fibroscopes sont des instruments flexibles qui utilisent un faisceau de fibres cohérent pour transmettre une image à l'œil de l'inspecteur.



Moyen de  
commande à une  
seule main



**Vidéoscopie** : sonde avec capteur vidéo de type CCD intégré pour des applications aéronautiques,

**Vidéoscopie laser** : sonde de vidéoscopie avec illuminateur laser intégré pour mesures de défauts ou de jeu interne entre pièces mécaniques.



Pupitre de commande  
mobile avec écran  
tactile.



## Exemples



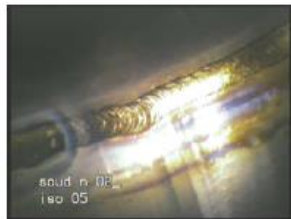
Flexoscopie : clapet de cuve



Vidéoscopie : contrôle de soudure inox



Vidéoscopie : contrôle d'une turbine à vapeur



Vidéoscopie : contrôle de soudure inox

## Complément

Certains fabricants ont mis au point des moyens d'extraction de corps étrangers mariés aux endoscopes.



## Prix des appareils

- Endoscope rigide : 1,5 à 5 k€
- Endoscope souple : 1 à 30 k€
- Vidéoscope : 5 à 40 k€

A ce coût il faut ajouter celui d'un générateur de lumière.

### **Maintenance**

Dans le cas de moteurs et réducteurs tournant à basses vitesses, les analyses de vibrations ne donnent pas leur pleine efficacité.

Par contre, l'endoscopie se justifie pleinement pour le contrôle des réducteurs les plus critiques (à coupler avec des analyses d'huile), avec des contrôles semestriels ou annuels.

Sauf exceptions, dans les autres cas l'endoscopie ne se justifie pas en maintenance préventive. Par contre, on doit y faire appel pour des problèmes particuliers. Il faut alors contacter des prestataires extérieurs, ou éventuellement louer un endoscope.

# Mesures de vibrations

## Généralités

La détection de vibrations excessives ou anormales est l'une des manières les plus courantes pour prévoir et anticiper la panne d'un équipement. Certains mécaniciens expérimentés disent qu'en écoutant seulement le ronronnement ou en sentant les pulsations des équipements, dont ils ont la charge, ils peuvent détecter des problèmes mécaniques imminents. Une approche plus sophistiquée consiste à comparer et analyser les valeurs de fréquence, d'amplitude et de phase de la vibration, afin de d'anticiper les problèmes qui pourraient survenir sur l'équipement concerné.

L'analyse vibratoire est l'un des outils majeurs de la maintenance prédictive. Elle est utilisée pour surveiller et analyser le fonctionnement des équipements tournants critiques, d'une unité de production. Elle est essentielle dans un programme de maintenance, car les vibrations affectent directement les performances des équipements en générant les effets suivants :

- ✓ Réduction de la durée de vie des garnitures mécaniques
- ✓ Fuite excessive dans la zone des garnitures
- ✓ Détérioration des composants des équipements (bagues d'usure, douilles, roues de pompes, ...)
- ✓ Impact sur les dimensions et les tolérances critiques, telles que jeu des bagues d'usure et montage des roues.
- ✓ Réduction de la durée de vie des paliers, qui sont conçus pour supporter une charge aussi bien radiale qu'axiale mais qui n'ont pas été conçus pour supporter durablement des vibrations excessives.
- ✓ Etc

## But

L'étude vibratoire permet de surveiller l'état des équipements et de diagnostiquer les défauts par la mesure et l'analyse de vibrations qu'ils génèrent. Elle est généralement conduite grâce à des accéléromètres portatifs permettant de réaliser des mesures ponctuelles ou des instruments permanents, implantés sur des points de mesure clés de ces équipements.

Les résultats de l'analyse vibratoire permettent d'éliminer les causes des vibrations anormales. Les relevés doivent être effectués périodiquement afin de contrôler l'évolution vibratoire des différents équipements.

## Domaine d'application

La surveillance des vibrations doit être axée sur les équipements tournants critiques de production, tels que les alternateurs, les turbines, les pompes principales, les réducteurs afin de déterminer d'éventuels désalignements d'arbre, une usure anormale des paliers, etc.

Parfois cette méthode peut révéler d'autres défauts mécaniques ou électriques inhabituels. Elle peut également être étendue sur d'autres équipements, comme les moteurs, les compresseurs, les ramoneurs, et certaines pompes auxiliaires.

## Etude vibratoire

### Principes

Tous les équipements mécaniques ayant des parties tournantes génèrent des vibrations (Cf. tableau ci-dessous qui concerne le cas d'une pompe) une signature vibratoire reflète les conditions de fonctionnement de l'équipement.

En effet, les parties tournantes créent des efforts mécaniques en service normal qui changent en fonction de l'état mécanique de la machine : une modification à cause de l'usure, des changements dans l'environnement de fonctionnement, des variations de charge etc.. La signature vibratoire qui découle du mouvement est le résultat d'un déséquilibre des efforts mécaniques..

#### Vibrations des pompes (exemple)

Causes mécaniques des vibrations	Causes hydrauliques des vibrations	Autres causes de vibrations
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Composants tournants déséquilibrés (en raison de roues endommagées, chemises d'arbre non concentriques, ..).</li> <li>- Arbre tordu ou voilé.</li> <li>- <u>Mauvais alignement pompe et entraînement</u></li> <li>- Contraintes dues aux tuyauteries (en raison d'un mauvais calcul, résultat d'une poussée thermique...)</li> <li>- La masse du socle de la pompe est trop faible</li> <li>- Accroissement thermique de différents composants, en particulier des arbres.</li> <li>- Pièces de friction.</li> <li>- Paliers usés</li> <li>- Boulons de fixation desserrés.</li> <li>- Pièces endommagées.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fonctionnement en dehors du point de rendement adéquat de la machine.</li> <li>- Vaporisation</li> <li>- Recirculation interne</li> <li>- Air entrant dans le système en vortex, etc..</li> <li>- Turbulence dans le système (débit non laminaire).</li> <li>- Coups de bélier.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vibrations harmoniques des équipements voisins.</li> <li>- Fonctionnement de la pompe à une vitesse critique.</li> <li>- Etanchéité.</li> <li>- Une ligne de recirculation de refoulement de la pompe orientée vers les faces d'étanchéité</li> </ul>

Une augmentation des vibrations signifie presque toujours que les équipements ont commencé à se détériorer. Le but de la maintenance prédictive est d'essayer de collecter suffisamment de données pour « estimer » la durée de vie résiduelle avant la destruction totale et de corriger le défaut pour éviter une avarie grave de l'équipement et un arrêt catastrophique de la production.

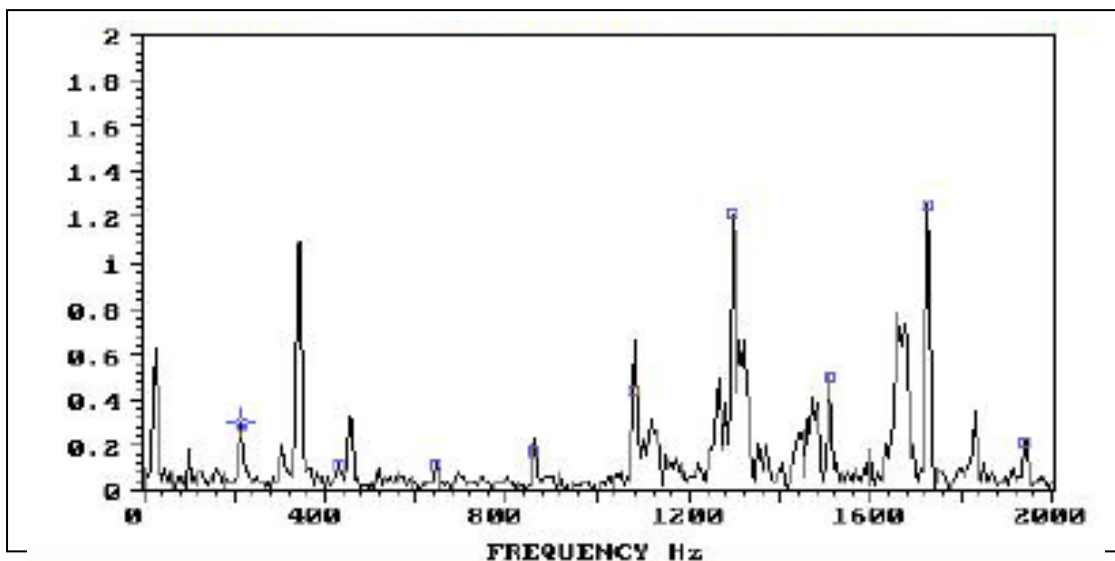
L'analyse vibratoire peut s'appliquer à tous les équipements mécaniques ayant des parties en mouvement..

## Méthode

Les mesures vibratoires sont effectuées à l'aide d'un capteur en différents points des machines (généralement l'enveloppe et les couvercles de paliers des équipements dans les directions à la fois radiale et axiale).

Les données sont ensuite enregistrées sur un appareil de collecte de données portable (simple canal ou multi-canaux) raccordé au capteur. Le capteur est la plupart du temps un accéléromètre (cela peut aussi être un détecteur de déplacement ou un capteur de vitesse).

Il comprend des films piézo-électriques (sensibles à la pression) qui convertissent l'énergie mécanique en signaux électriques. Ensuite l'analyseur de vibrations permet de décomposer mathématiquement (transformé de Fourier rapide) le signal périodique électrique brut, en valeurs d'accélération, de vitesse ou de déplacement élémentaires sur une bande de fréquence considérée.



exemple de Spectre vibratoire

Les méthodes utilisées dans l'étude de vibrations sont :

- Analyse de tendance, à la fois bande large et bande étroite;
- Etude comparative,
- Etude de la signature vibratoire.

La plupart des programmes d'analyse vibratoire qui utilisent un analyseur à microprocesseur sont limités à des mesures où le système testé, fonctionne dans des conditions constantes ou stables. La mesure de vibrations dynamiques est aussi possible pendant les transitoires des équipements (démarrage, arrêt, déclenchement ...).

## Méthode de surveillance

### 1. Suivi périodique

C'est la méthode la plus couramment utilisée. La périodicité des relevés est très variable ; très souvent elle est de six mois.

Les équipements que l'on suit le plus fréquemment sont :

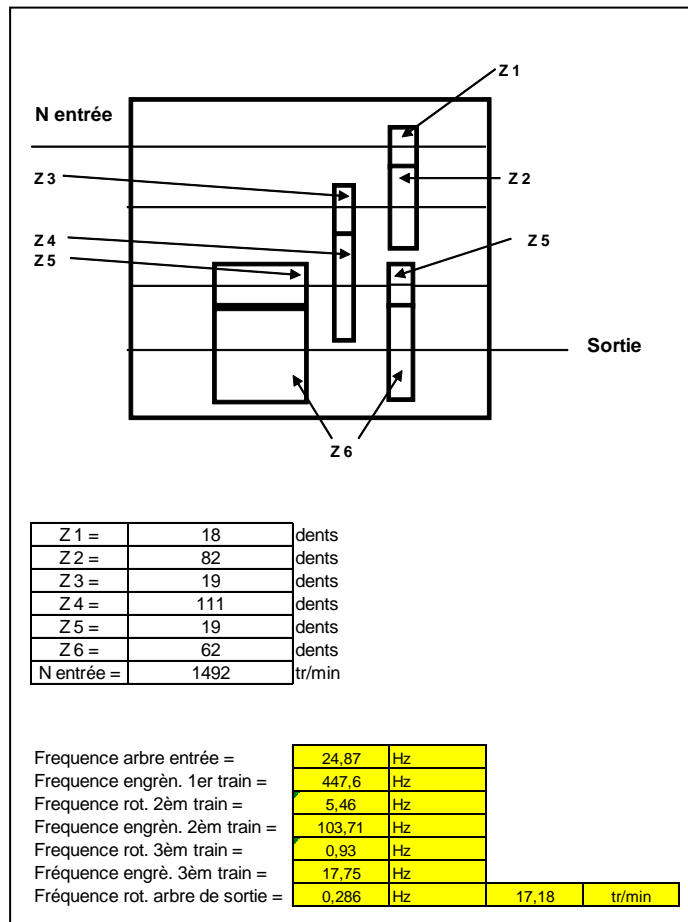
- Les systèmes de pompage : moteur + accouplement + pompe, avec 9 points de mesure ; dans ce cas on suit l'état des roulements moteur et pompe + le désalignement.
- Les systèmes d'entraînement : moteur + accouplement + réducteur, avec 5 points de mesure + 4 points par ligne d'engrenage (donc au total 9, 13 ou 17.. ponts); dans ce cas on suit l'état des roulements moteur, roulements et pignons du réducteur + le désalignement.

## Contrôles de maintenance préventive : mesures de vibrations

- Les systèmes de ventilation : moteur + accouplement + ventilateur + paliers éventuellement ; dans ce cas, on suit l'état des roulements moteur, l'état et le balourd du ventilateur, les roulements des paliers + le désalignement.
- Les compresseurs à vis, rotatifs et centrifuges.

Le suivi des réducteurs par analyse de vibrations présente l'intérêt qu'il permet de suivre à la fois l'évolution de la dégradation des roulements mais aussi des pignons et roues dentées.

Mais il impose des contraintes, notamment de calculer préalablement des fréquences des pignons et roues dentées par la multiplication des vitesses par les nombres de dents, comme le montre l'exemple suivant.



Concernant les roulements, le logiciel calcule directement les fréquences en fonction du type et de la marque du roulement.

Roulement		Bague int.	Bague ext.	Billes	Speed cage
31319AK11	970 tr/min	149,76	108,9	87,43	6,81
22320C3	970 tr/min	142,83	99,67	85,72	6,64
30228A	314,4 tr/min	62,57	47,97	35,97	2,26
32228A	314,4 tr/min	53,63	40,69	35,98	2,26
23136	159,6 tr/min	32,76	25,76	21,48	1,17
23036C3	159,6 tr/min	36,72	29,78	24,88	1,19

Exemple

On remarque que par l'analyse de vibrations on peut détecter la géographie de la détérioration sur un roulement : bague intérieure, bague extérieure, billes ou rouleaux, cage, mais aussi les manques de lubrifiant.

Remarque importante : pour un même type de roulement le nombre de billes ou de rouleaux est différents selon les fabricants, ce qui fait varier la fréquence. Il est donc nécessaire de toujours tenir compte des changements éventuels réalisés lors de réparations.

## 2. Suivi continu

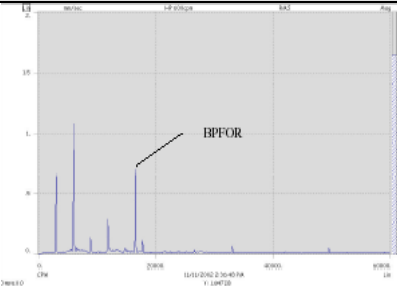
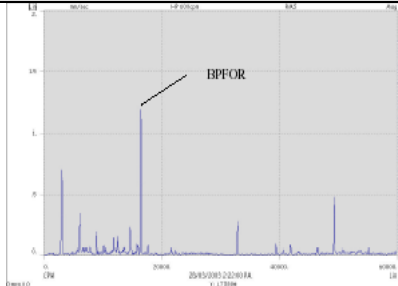
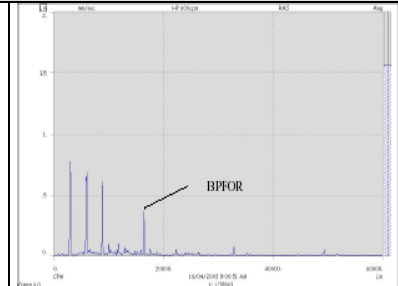
Le suivi continu (« on line ») présente l'avantage de détecter des défauts à évolution rapide et d'assurer la sécurité des installations par déclenchement de la machine à l'approche d'un seuil réputé dangereux.

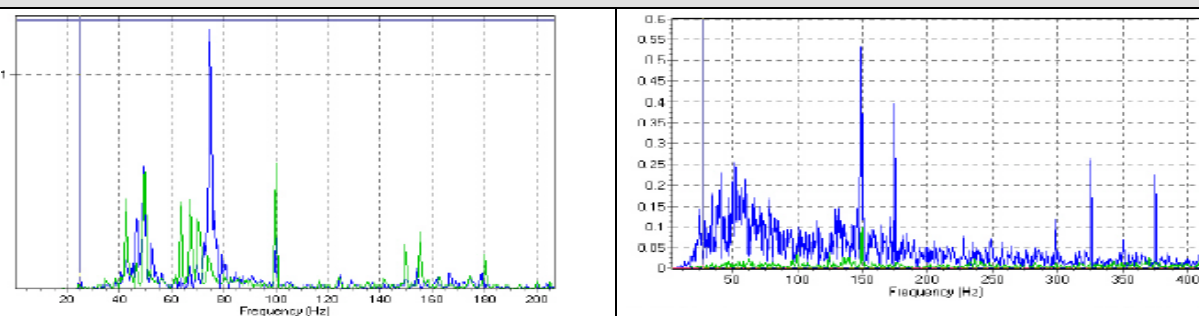
Très souvent ces systèmes permettent de suivre la valeur globale de la vibration, très peu permettent de faire des analyses spectrales. Par exemple, le suivi en continu d'un ventilateur n'exclut pas le suivi périodique pour analyse spectrale.

## Impositions préliminaires

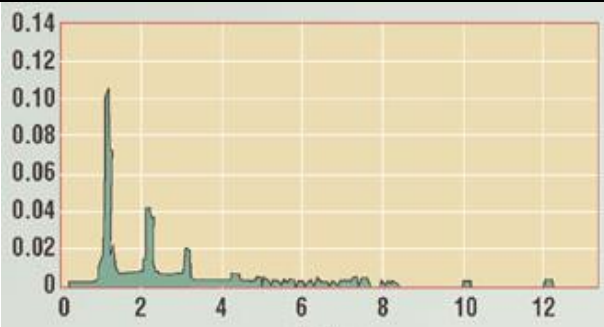
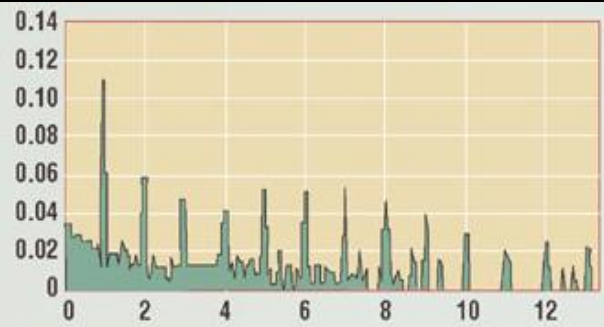
Pour les mesures à l'état stable, la machine doit être exempte de toute variation de ses paramètres, telles que la charge, le débit, etc. Cette approche suppose ultérieurement que toutes les fréquences de vibrations soient répétables et maintiennent une relation constante avec la vitesse de rotation de l'arbre de la machine

## Exemples

PALIER POMPE ENDOMMAGE		
		
Spectre vibration référence lors de l'installation et de la mise en service de la pompe	Spectre de vibrations avant remplacement palier	Spectre de vibrations après remplacement palier

COMPARAISON	
	
Les spectres de 2 machines identiques sont enregistrés, le pic près de 75 Hz révèle un problème de desserrage mécanique	Les spectres de 2 pompes identiques fonctionnant dans les mêmes conditions de service sont enregistrés : Le 1er est une pompe installée depuis l'origine de l'installation alors que le second est celui d'une pompe neuve. La différence entre les spectres montre plus de vibration sur l'ancienne pompe



DESSERRAGE	
	
Machine saine (un pic et 2 harmoniques)	Machine avec problème de desserrage (plusieurs harmoniques sont apparents)

## Maintenance

En maintenance, la mesure et analyse de vibrations présente un très grand intérêt.

L'achat d'un collecteur avec le logiciel de traitement représente un coût supérieur à 7 k€ et s'y ajoute la formation d'un technicien, ainsi que le temps nécessaire à l'élaboration des fiches techniques pour les réducteurs.

Mais l'intérêt présenté dépasse celui de la réalisation de mesures et analyses spectrales périodiques sur systèmes de pompage, réducteurs, ventilateurs, etc. En effet pour tout le contrôle de roulements, on peut utiliser un collecteur de données et ne faire l'analyse spectrale que lorsque le niveau global devient important. De fait, on peut voir d'où vient la dégradation et réagir en conséquence :

- intervenir rapidement s'il y a un problème de cage car la rupture de celle-ci peut entraîner une panne brutale avec la détérioration de tout le roulement ;
- ajouter du lubrifiant si l'analyse indique un manque ;
- prévoir un remplacement du roulement lors d'un arrêt programmé s'il s'agit d'écaillages sur bagues.

Ce genre d'analyse ne peut être fait avec des petits appareils de mesure.

L'autre alternative est bien sûr de faire réaliser périodiquement les analyses sur les équipements critiques par un prestataire extérieur.

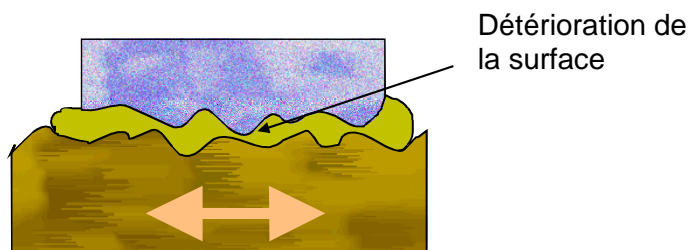
Par ailleurs les mesures et analyses de vibrations peuvent être pratiquées par des spécialistes pour détecter des problèmes sur des équipements fixes.

Pour détecter des fissures, on peut faire un modèle mathématique suivant la forme, faire un choc sur le matériel concerné et comparer les vibrations obtenues avec le modèle mathématique.

# Analyses d'huile

## Généralités

Le déplacement d'une surface solide sur une autre est très important pour le fonctionnement de divers types de mécanismes. La tribologie est définie comme la *science et la technologie de surfaces interactives en mouvement relatif* et inclut l'étude du frottement, de l'usure et de la lubrification.



La nature et la conséquence des interactions qui se produisent à l'interface contrôlent son comportement par friction, usure et lubrification. Au cours de ces interactions, des efforts sont transmis, de l'énergie mécanique est transformée et la nature physique et chimique, y compris la topographie de la surface des matériaux en interaction sont modifiées. La compréhension de la nature de ces interactions et la résolution de problèmes technologiques associés aux phénomènes d'interface constituent la clé de la tribologie.

## But

L'analyse de l'huile fait partie de la tribologie et c'est le procédé pour déterminer l'état de l'huile de lubrification utilisée dans les équipements mécaniques ou électriques.

Après étude de l'analyse de l'huile, un programme de maintenance doit être appliqué afin d'éliminer les causes du problème. Des analyses doivent être effectuées périodiquement afin de contrôler l'évolution des équipements.

En conséquence, une analyse d'huile incluse dans un programme de maintenance prédictive permettra de :

- Diminuer le coût de la maintenance et du remplacement,
- Augmenter la fiabilité d'un équipement en service (réduction des temps d'arrêt de la machine),
- Minimiser la perte d'énergie (réduction de la consommation d'énergie par réduction de la friction),
- Augmenter l'espérance de vie de l'équipement,
- Améliorer la lubrification et diminuer le coût des lubrifiants (réduction des changements d'huile, extension de la durée de vie des lubrifiants, diminution de la consommation d'huile).
- Réduire les déchets et protéger l'environnement,
- Etc.

## Limites d'application

L'analyse d'huile doit être centrée sur les équipements de production critiques, qui sont principalement des machines tournantes, telles que turbines à gaz ou à vapeur, les pompes principales, les compresseurs, les ventilateurs, les réducteurs, les transformateurs, les moteurs diesel, etc

En effet, les équipements doivent être inclus dans l'étude d'analyse d'huile selon plusieurs critères

- Problème d'environnement,
- Disponibilité,
- Fiabilité,
- Sécurité,
- Economiques & financiers,

## Etude de l'huile de lubrification

### Principes

Des échantillons de lubrifiant des équipements sont prélevés à des intervalles programmés afin de déterminer l'état de la lubrification. L'évolution de la détérioration peut être un bon indicateur des conditions de fonctionnement de l'équipement.

Un échantillon d'huile neuve est prélevé pour référence pour ses caractéristiques; au cours de chaque analyse une comparaison est effectuée avec l'échantillon témoin. Quand les caractéristiques sont estimées trop éloignées de celles d'origine ou que l'évolution est trop rapide, des actions sont alors entreprises sur l'équipement concerné :

- ✓ Remplacement de l'huile,
- ✓ Remplacement des pièces d'équipements,
- ✓ Etc.

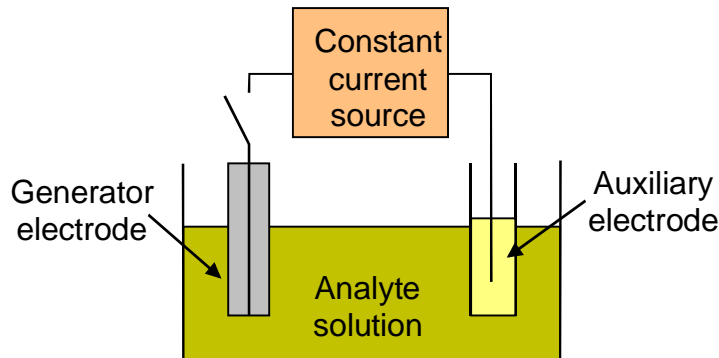
### Méthode d'analyse

L'analyse de l'huile consiste en l'évaluation de l'huile elle-même et de toute contamination possible. Les résultats des essais suivants concernent différents types d'usure et de contamination. Chaque essai étudie un aspect différent de l'huile. C'est la raison des différents essais.

Les principaux essais sont :

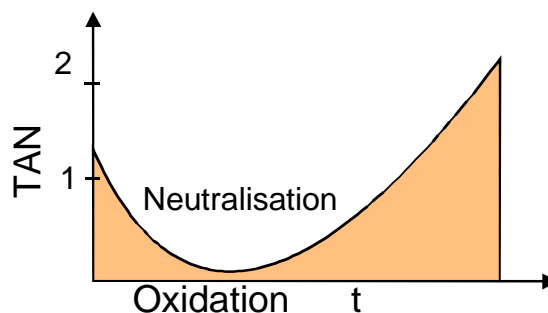
- **Essais de viscosité** : il mesure la résistance d'un lubrifiant à couler à une température spécifique. L'huile est réchauffée dans un viscosimètre à une température constante déterminée. Les résultats sont ensuite comparés à la spécification de l'huile. Cet essai est valable pour déterminer l'état de l'huile et constitue un indicateur de contamination par l'eau et d'oxydation. Si la viscosité du lubrifiant diverge de +/- 10% de la valeur nominale, un changement d'huile est conseillé.
- **Essais de teneur en eau** : de l'eau peut être trouvée dans les circuits d'huile (problème de fuite, stockage incorrect, etc. ) et peut être la cause de problèmes graves (corrosion, vieillissement de l'huile, modification des caractéristiques de l'huile, etc. ); plusieurs essais sont possibles pour déterminer le taux de contamination :
  - La Coulométrie consiste à mesurer le courant d'électrolyse en Coulomb pour déterminer la quantité d'eau présente dans l'échantillon. L'essai le plus courant est l'essai de Karl Fischer.  
Essai de Karl Fischer: un échantillon d'huile est ajouté à un réactif sans pyridine de Karl Fischer (les principaux composants sont les ions iode et le dioxyde de soufre). L'iode produite électrolytiquement à l'anode réagit avec l'eau contenue dans l'échantillon :  
$$I_2 + SO_2 + H_2O \rightarrow 2HI + SO_3$$
  
L'iode est produite en proportion directe avec la quantité d'électricité, selon la Loi de Faraday. Une mole d'iode réagit quantitativement avec une mole d'eau, donc 1 mg d'eau équivaut à 10.71 coulombs:  $2I^- \rightarrow 2e^- + I_2$

Sur ce principe, la teneur en eau peut être déterminée directement à partir de la quantité d'électricité requise pour l'électrolyse. Les résultats sont rapportés soit en % d'eau ou en ppm (1 % = 10 000 ppm). C'est un essai très précis.



- L'Hydrotest consiste à mesurer le volume d'hydrogène produit à partir de la réaction de l'eau présente dans l'échantillon d'huile sur un excès d'hydruure de calcium (l'hydruure de calcium réagit fortement exothermiquement avec l'eau pour former de l'hydroxyde de calcium et de l'hydrogène gazeux).
- Crackle : le lubrifiant est testé sur une plaque chaude chauffée à une température spécifiée pour déterminer si de l'eau est présente ou non (détection si la concentration en eau est > 800 ppm). Cet essai est utilisé pour contrôler rapidement la contamination de l'eau et pour déterminer si d'autres essais sont nécessaires pour obtenir la concentration plus précisément.
- Essai infra-rouge: se référer au chapitre ci-après.
- **Essais de mesure du point d'éclair** : chaque huile a un point d'éclair connu donné dans sa spécification. Dans certaines situations, la contamination telle que solvant; combustibles ou autres produits inflammables, est présente dans le système. Ce test est un indicateur de ce type de contamination (par exemple contamination de combustible) et des risques d'incendie. L'essai consiste à augmenter progressivement la température de l'échantillon de lubrifiant à une vitesse bien définie. A intervalles réguliers, une petite flamme d'essai est passée à travers l'éprouvette contenant l'échantillon. Le point éclair est la température au moment où se produit un éclair provoqué par l'inflammation des vapeurs à la surface du liquide.
- **Essais de comptage des particules** : des particules peuvent être présentes dans le système de lubrification (nettoyage incorrect du circuit, pollution externe, mauvaise filtration, usure, etc.). Le comptage de particules mesure toutes les particules (saleté, carbone, métaux, fibre, etc.) présentes dans l'huile, supérieures à 5 microns. Cet essai fournit une bonne estimation du rendement du système de filtration.
  - La méthode Laser (ou autre source lumineuse) mesure la quantité, la taille et la répartition des particules. L'huile circule à une vitesse déterminée dans un tube situé à 90 °C de la source lumineuse et un capteur enregistre la variation d'intensité de la luminosité quand une particule est détectée. Les données sont ensuite transmises à un compteur qui classe les particules en fonction de leur taille (par ex.. 5 à 15 µm, 15 à 25 µm, 25 à 50 µm, 50 à 100 µm et au-dessus 100 µm).
  - Avec la Méthode optique manuelle: l'échantillon d'huile est filtré et les particules sont ensuite comptées et identifiées par un microscope à fort grossissement.
  - Avec la méthode d'Obturation des pores l'huile traverse un tamis dont la taille de maille est connue et le temps nécessaire pour obturer le tamis est déterminé. L'instrument calcule ensuite par extrapolation la répartition dans les autres gammes de taille prédéterminées.

- **Essais de moussage** : de la mousse peut se former à la surface de l'huile lorsqu'il y a introduction d'air par agitation mécanique ou soufflage. Le moussage favorise l'oxydation par l'augmentation de la surface air-huile. Dans certains systèmes il se produit une carbonisation importante de l'huile et la cavitation de la pompe est un problème. Dans ces cas, l'huile pourrait mousser et causer ces phénomènes (un très fort moussage peut désamorcer une pompe de lubrification).. Cet essai mesure la capacité de l'huile à résister au moussage et détermine la tendance au moussage de l'huile à une température spécifiée. Dans cet essai, un volume déterminé d'air est injecté dans l'huile dans un environnement contrôlé à une température spécifiée et le volume résultant de mousse est mesuré.
- **Essais infra-rouge** : durant la vie du lubrifiant en opération, les produits de l'oxydation s'accumulent dégradant l'huile qui devient légèrement acide. Si l'oxydation devient importante, le lubrifiant corrodera les surfaces critiques des équipements. De même la nitrification résultant de la combustion du combustible dans les moteurs intensifie le phénomène d'oxydation. Les essais infra-rouge sont fondés sur une technique spectrométrique pour détecter les polluants organiques, les produits de dégradation de l'huile et de l'eau dans un échantillon d'huile usée. Il est possible de détecter de nombreux problèmes par cette méthode.  
Méthode de la Pollution croisée des fluides: un comptage élevé de particules ou une courte durée de vie du filtre est parfois une indication de la contamination externe qui peut être provoquée par une contamination croisée des fluides.  
La méthode de l'Oxydation implique la corrosion du métal, l'épaississement de l'huile, etc.  
.Avec la Nitrification: l'essai infra-rouge donne une bonne idée du rendement de combustion du combustible du moteur. En outre, cet essai peut aussi fournir des informations (mais pas une quantification) de la teneur en eau, des niveaux de soufre, glycol, dépôts de suie et dilution du combustible.
- **Mesure d'Indice de Base Totale (TBN)** : il est déterminé par titrage. La comparaison entre le volume TBN et l'huile neuve, celui de l'huile usée permet de déterminer si l'huile usée est encore capable de neutraliser les résidus acides. Ces acides sont produits par combustion (soufre dans le combustible) et l'oxydation de l'huile et des additifs. Quand l'huile a servi trop longtemps, le TBN chutera d'une manière significative.
- **Mesure d'Indice d'Acidité Totale (TAN)** : cet essai mesure le niveau d'acidité d'un système. Le niveau d'acidité du système augmente avec le temps (certaines formes de contamination peuvent aussi augmenter les niveaux d'acidité). Le TAN d'un lubrifiant usé est une mesure de son degré de dégradation par oxydation.  
Essai de titrage: un échantillon d'un poids connu en solvant de titrage est titré avec une solution d'hydroxyde de potassium en un point terminal défini.  
Essai de pH-mètre: cet essai peut être effectué avec un pH-mètre.



- **Ferrographie analytique** : cet essai permet d'examiner visuellement les particules d'usure présentes dans un échantillon. Dans cet essai, les particules d'usure magnétiques sont séparées de l'huile et déposées sur une lame appelée ferrogramme. L'examen au microscope permet la caractérisation du mode d'usure et des sources probables d'usure dans la machine. Les particules sont identifiées et classées en fonction de la taille, forme et métallurgie (il n'existe pas de limite de taille ou de métallurgie). Cet essai est un excellent indicateur d'une usure anormale, ferreuse (inadapté à une usure non-ferreuse).

Une version automatisée de cette technique de séparation magnétique est la ferrographie à Lecture Directe.

- **Analyse spectrographique** : c'est l'analyse de la teneur en métal et des additifs. Un échantillon d'huile diluée est pulvérisé par du gaz inerte (argon) pour former un aérosol. On forme ensuite un plasma (6000 à 10000 °C) par induction magnétique. La température élevée pousse les ions métal à utiliser de l'énergie et à produire une nouvelle énergie sous forme de photons. Un spectre avec des longueurs d'ondes différentes est créé pour chaque élément. L'instrument quantifie la quantité d'énergie émise et détermine la concentration en parties par million (ppm) de 20 éléments présents dans l'échantillon. La conception des spectromètres limite leur niveau de détection à 5 microns et en dessous. Pour évaluer des particules supérieures à 5 microns, d'autres méthodes d'essai doivent être mises en œuvre (essai de comptage de particules et ou analyse de filtration).

L'analyse spectrométrique est utilisée pour évaluer l'usure des paliers ou bagues sous forme de cuivre, plomb ou étain. Elle étudie aussi les niveaux de salissure sous forme de silicium. L'usure des pompes, carters et autres points de contact peut être estimée grâce à cette information.

Élément	Code	Source éventuelle
Aluminium	Al	Pompes, Rondelles de Butée, Pistons, Paliers
Barium	Ba	Rouille et Inhibiteurs de Corrosion
Bore	B	Anticorrosion dans les Réfrigérants
Calcium	Ca	Additifs Détergent/Dispersant, Additifs Graisse; Additifs Pression Extrême
Chrome	Cr	Roulements à Rouleaux, Bagues de Piston, Parois de Cylindres
Cuivre	Cu	Alliages Laiton/Bronze, Paliers, Bagues, Rondelles de Butée, Paliers de Butée, usure cage Roulements à Rouleaux
Fer	Fe	Arbres, Engrenages, Enveloppe, Bagues de Piston, Parois de Cylindre, Roulements à Rouleaux
Plomb	Pb	Paliers, Engrenages Anti-Usure, Additifs pour pression extrême, Additifs Détergents
Magnesium	Mg	Additifs Détergents, Additifs Réfrigérants
Molybdène	Mo	Additifs Pression Extrême
Nickel	Ni	Pompes, Revêtement des Engrenages, Vannes, matière de revêtement des paliers; ailettes turbo-compresseur et parfois pièces en alliages acier inoxydable.
Phosphore	P	Additifs Anti-Usure, Additifs Engrenages Pression Extrême
Potassium	K	Additifs Réfrigérants
Silicium	Si	Additifs Salissure, Anti-Mousse
Argent	Ag	Composants en certains alliages de matériaux pour paliers.
Sodium	Na	Additifs Détergents, Additifs Réfrigérants
Etain	Sn	Alliages Paliers, Cages Paliers, Soudure
Titane	Ti	Alliage "exotique"
Vanadium	V	Ailettes turbines, Revêtements de Surface
Zinc	Zn	Additifs Anti-Usure

- **Analyse gaz dissous** : les contraintes électriques et thermiques anormales sur les appareils électriques sont invariablement accompagnées par une dégradation des matériaux isolants. Cette dégradation conduit à la production de gaz (hydrogène, monoxyde de carbone, dioxyde de carbone et hydrocarbures à faible masse moléculaire) qui peuvent provoquer certains incidents localisés de l'huile du transformateur. Cet essai très sensible fournit des informations cruciales sur les performances d'un transformateur et peut indiquer :
  - ✓ Formation d'un arc interne.
  - ✓ Surchauffe et surcharge.
  - ✓ Défaut d'isolement.

En détectant ces défauts avant la panne d'une Tranche, des réparations peuvent être réalisées efficacement avec un temps d'arrêt non programmé minimum.

- **Analyse de PCB** : cet essai détermine la présence de Poly-Chloro-Biphenyle (PCB). Une solution traitée incluant l'échantillon est analysée par chromatographie gazeuse en utilisant un détecteur à capture d'électrons, qui est sensible aux substances contenant du chlore. Ces produits chimiques, une fois utilisés de manière extensive dans des applications électriques sont maintenant classés comme dangereux pour l'environnement. Ils pouvaient se trouver dans tout équipement rempli d'huile. Maintenant la législation demande que tous les équipements contaminés au PCB soient enregistrés et signalés. Cet essai est donc essentiel pour toute huile d'isolement électrique.
- **Résistance diélectrique (tension de rupture)** : cet essai mesure la résistance d'isolement de l'huile. Quand des valeurs de panne diélectrique faibles sont trouvées, cet essai peut être utilisé pour détecter la présence de polluants de l'huile. Un échantillon d'huile est placé entre 2 électrodes avec un intervalle déterminé. Une tension à croissance constante est appliquée jusqu'à ce que l'huile décharge à un certain kV.
- **Essai de couleur** : en utilisant une source lumineuse standard, l'échantillon d'huile est comparé avec des disques de verre colorés allant de 0,5 à 8,0. Quand une correspondance exacte n'est pas trouvée et que la couleur de l'échantillon tombe entre deux couleurs standards, le plus élevé des deux couleurs est rapportée. Les observations de la couleur s'assombrissant pendant de courtes périodes est une indication soit de pollution soit de détérioration de l'huile.
- **Autres essais** : plusieurs essais normalisés sont possibles selon les impositions :
  - Dilution du Combustible de Lubrifiants Diesel
  - Essai d'Oxydation de Bombe Rotative
  - Désémulsibilité
  - Point de congélation
  - % de soufre
  - Pénétrabilité au Cône de la Graisse Lubrifiante
  - Point de Goutte des Graisses de Lubrification
  - % de sédiments dans les Graisses de Lubrification
  - Chlore
  - Résistivité
  - Analyse de Surface des Particules d'Usure, etc ..

### Impositions et contraintes préliminaires

- Prendre l'échantillon d'huile pendant que l'équipement est en service ou immédiatement après arrêt.
- 0,5 litre d'huile doit être purgé avant de prélever l'échantillon.
- Le contenant de l'échantillon doit être propre, sec et ne doit être ouvert que juste avant l'opération de remplissage.
- Eviter l'échantillonnage dans une « zone morte », il est important d'obtenir un échantillon d'huile représentatif de toute l'huile de la machine.

## Exemples d'applications

Equipement	Analyse spectrographique	Essai viscosité	Essai infrarouge	Comptage de particules	Essai teneur en eau	TAN	TBN	Analyse PCB	Analyse gaz dissout	Essai couleur	Résistivité diélectrique	Ferrographie
Moteurs												
Compresseurs												
Réducteurs												
Paliers												
Hydraulique												
Turbines												
Transformateurs												
Disjoncteurs												

### Maintenance

Dans le passé, on remplaçait systématiquement l'huile des réducteurs chaque année, quel que soit l'état de l'huile.

Aujourd'hui il est préférable de :

- faire des analyses d'huile périodiquement (6 mois) pour les réducteurs critiques ( en général on considère les réducteurs de plus de 500 l) et remplacer l'huile suivant les résultats ;
- faire des remplacements d'huile systématiquement avec de plus grandes périodicités (3 ans par exemple) pour les autres réducteurs ;
- faire toujours des analyses d'huile hydraulique là où il y a de l'hydraulique proportionnelle ; une périodicité de 3 mois est recommandée pour espacer les recyclages.

Un contrat peut être passé avec le fournisseur de lubrifiant, ou avec un laboratoire spécialisé. Les coûts sont très variables suivant le nombre d'analyses et l'intérêt du fournisseur ou du laboratoire ..

Pour les prélèvements : voir la Règle de l'art concernée.



# Thermographie

## But

L'intégration de la thermographie dans un programme de maintenance prédictive permettra de surveiller le rendement thermique des systèmes critiques qui reposent sur l'échange ou la conservation de chaleur; les équipements électriques et d'autres paramètres qui amélioreront à la fois la fiabilité et le rendement des équipements. Elle peut aussi être utilisée pour détecter des problèmes (raccordements lâches ou corrodés, mauvais contacts, charges déséquilibrées, surcharge, surchauffe de paliers, enroulements coupés ou ouverts, surchauffe des balais, bagues collectrices et commutateurs, passages de refroidissement obturés...) dans une variété de systèmes et d'équipements.

Après étude thermographique, le programme de maintenance doit être appliqué afin d'éliminer les causes des problèmes. Des études doivent être réalisées périodiquement afin de surveiller l'évolution des équipements. Les études thermographiques ne sont valables que si de bonnes pratiques de maintenance sont en vigueur.

## Limites d'application

Cette étude peut être appliquée à la plupart des systèmes mécaniques et électriques y compris appareillage électrique, engrenages, sous-stations électriques, transmissions, tableaux de disjoncteurs, moteurs, enveloppes, paliers; lignes vapeur et systèmes de process.

## Etude thermographique

### Principes

La thermographie (infra-rouge; scanners thermiques) utilise des caméras vidéo ou fixes infra-rouge conçues spécialement pour produire des images (appelées thermogrammes) qui montrent les variations thermiques de surface.

La thermographie est une technique de maintenance prédictive de surveillance de l'état des composants des équipements, de la structure et des systèmes; elle ne se limite pas aux équipements électriques mais peut aussi s'étendre aux systèmes mécaniques. Elle utilise l'instrumentation pour lire les émissions infra-rouge (température de surface) pour déterminer les conditions de fonctionnement. La détection d'anomalies thermiques (zones plus chaudes ou plus froides qu'elles ne devraient l'être) permet à un technicien expérimenté de localiser et définir une multitude de problèmes naissants sur les équipements.

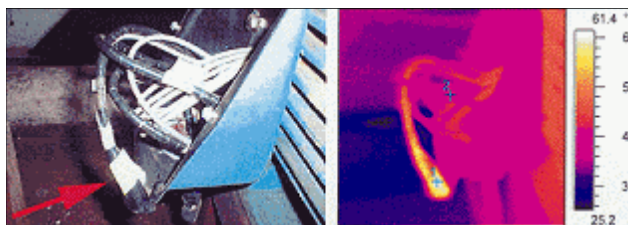
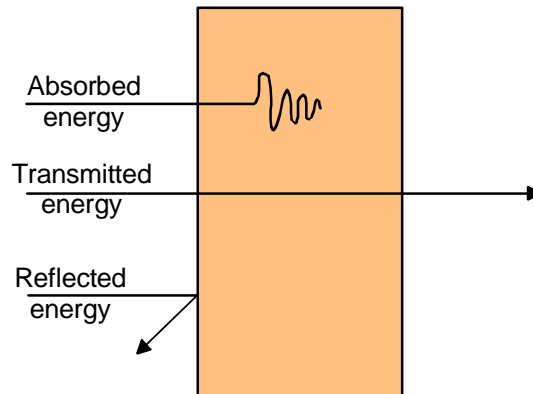


Fig.

La technologie infra-rouge fonctionne sur le principe que tous les objets transmettent de l'énergie ou des rayonnements. Les rayonnements infra-rouge sont une forme d'énergie émise qui frappe un objet et est ensuite transmise, réfléchi ou absorbée. Les émissions infra-rouge sont invisibles sans instrumentation spéciale.

L'intensité des rayonnements infra-rouge d'un objet dépend de sa température de surface. L'énergie transmise et l'énergie réfléchie faussent les résultats car la plupart des équipements ont une émissivité (taux d'énergie émise par un objet) inférieure à 1 (les surfaces dont l'émissivité est équivalente à 1 sont appelées surfaces de corps noirs: pas d'énergie transmise et pas d'énergie réfléchie). C'est pourquoi il est important d'estimer l'émissivité de la surface mesurée pour obtenir la mesure la plus exacte.



### Méthode

Les mesures sont effectuées avec un système de surveillance infra-rouge, elles sont prévues avec des filtres particuliers qui sont choisis en accord avec tous les facteurs qui peuvent influencer la mesure.

En fonction des données à enregistrer, trois types d'équipements sont disponibles:

- Thermomètres infra-rouge pour mesures de température sur de petites surfaces (mesure de point),
- Scanneurs en ligne (pas particulièrement utilisés dans la mesure où la maintenance prédictive est concernée),
- Image infra-rouge principalement basée sur une caméra vidéo pour contrôler une machine complète ou une pièce particulière. Le profil de l'émission thermique peut être analysé directement à partir de l'écran de l'équipement ou sur un ordinateur.

Les thermogrammes des systèmes mécaniques doivent être réalisés dans des conditions et précautions particulières telles que :

- La différence entre la température ambiante et la température de la tuyauterie doit être importante.
- L'emplacement de la mesure doit être suffisamment éloigné de la source de rayonnement qui peut fausser les résultats.
- Le calorifuge doit être retiré sur les équipements et l'essai doit être effectué après stabilisation de la température.
- Dans la mesure où la configuration des circuits est concernée, il faut prendre des précautions. La configuration des circuits peut éviter l'essai thermographique propre. Par exemple, l'essai d'un purgeur de vapeur est rarement possible: en effet, une température élevée détectée par la caméra infra-rouge peut ne pas être en cause en raison du fonctionnement incorrect du purgeur de vapeur, mais une fuite sur la vanne de by-pass.

### Impositions et contraintes particulières

- Des variations de l'état de surface, telles que peinture ou autres revêtements de protection, peuvent affecter le facteur d'émissivité réel des équipements du site. Elles peuvent changer parfois radicalement aussi bien les températures de surface que la répartition de chaleur

enregistrée par le scanneur infra-rouge. Si le technicien n'arrive pas à compenser cela, il sera difficile, voire impossible de diagnostiquer précisément les problèmes naissants. Dans de trop nombreux cas, ils seront omis et de sérieux dommages ou une panne catastrophique surviendront.

- En plus de l'énergie réfléchiée et transmise, l'utilisateur des techniques thermographiques doit considérer l'atmosphère entre l'objet et l'instrument de mesure. La vapeur d'eau et d'autres gaz absorbent le rayonnement infra-rouge. La poussière en suspension dans l'air, l'éclairage et d'autres variables peuvent modifier les mesures de rayonnement infra-rouge. Parce que le milieu ambiant est en constante évolution, l'utilisation de techniques thermographiques nécessite des précautions extrêmes chaque fois que les données sont acquises.
- La plupart des systèmes de surveillance ou des instruments infra-rouge utilisent des filtres pour éliminer les effets négatifs de l'atténuation atmosphérique. Cependant, l'utilisateur doit reconnaître les facteurs particuliers qui affecteront la précision des données infra-rouge et appliqueront les filtres corrects ou d'autres méthodes de conditionnement du signal,
- L'équipement utilisé dans l'inspection thermographique infra-rouge peut être mis sous tension. Pour cette raison, il faut prêter attention à la sécurité et les règles de sécurité du site doivent être particulièrement respectées
- Quand cela est sûr et possible, les équipements à scanner devront être en ligne et à une charge normale avec une ligne de mire claire.

La formation à l'utilisation d'un système imageur est critique. Les variables qui peuvent affecter la précision des données thermiques et la répétabilité doivent être compensées chaque fois que les données sont acquises. En outre, l'interprétation des données infra-rouge nécessite une formation extensive et une expérience dans la conservation ou l'échange de chaleur.

### Maintenance

En maintenance, on utilise de plus en plus :

- des thermomètres infrarouges
- de petites caméras infrarouges dont le coût est de l'ordre de 5000 €.



En mécanique, le thermomètre infrarouge est indispensable pour contrôler la température d'équipements inaccessibles.

La caméra infrarouge est plus utile en électricité. Si elle est achetée, on peut en profiter pour vérifier des isolations.

Dans certains cas, il est utile de faire appel à des sociétés spécialisées, notamment pour le contrôle de tuyauteries enterrées.

# Courant de Foucault

## Généralités

L'essai au courant de Foucault est utilisé pour indiquer des discontinuités telles que les fissures, inclusions et porosités dans les matériaux magnétiques et amagnétiques qui sont électriquement conducteurs :

- ✓ Détection de fissures en surface,
- ✓ Triage de métaux non ferreux (principalement essai de conductivité),
- ✓ Détection de fissures/corrosion sous la surface,
- ✓ Essai tubes de l'échangeur de chaleur,
- ✓ Inspection soudure ferreuse,
- ✓ Etc.

## Limites d'application

En général, les méthodes standard par courant de Foucault ne sont utilisées dans l'inspection que pour des métaux non ferreux (où la pénétration du courant de Foucault est plus profonde) ou pour des applications particulières telles que l'inspection des tubes de l'échangeur de chaleur pour rechercher des fissures ou un amincissement par corrosion.

L'essai standard au courant de Foucault est principalement une technique proche de la surface. Il est utile pour détecter les décohésions de surface ou les fissures proches de la surface et les variations dans la composition de la matière. Il peut aussi être utilisé pour mesurer l'épaisseur des revêtements non électriquement conducteurs sur des couches électriquement conductrices. Dans la plupart des aciers, l'essai au courant de Foucault se limite à l'examen de la surface en raison de la perméabilité relativement élevée de ces matières. L'inspection des soudures dans les aciers ferritiques peut être problématique car la réponse dépend des modifications dans la perméabilité magnétique à travers la soudure. Cependant, des types spéciaux de détecteurs ont été développés (bobines différentielles) pour diminuer les effets sur les modifications de matière et permettre la détection de petites criques.

## Essai courant de Foucault

### Principes

Dans l'essai standard au courant de Foucault, une bobine circulaire avec un courant CA est placée très près d'un échantillon électriquement conducteur. Le courant alternatif dans la bobine produit une modification du champ magnétique qui interagit avec l'objet de l'essai et induit des courants de Foucault. Les variations de phase et de magnitude de ces courants de Foucault peuvent être surveillées en utilisant une deuxième bobine de "recherche" ou en mesurant les modifications du courant qui traverse la bobine "d'excitation" primaire. Les variations de la conductivité électrique ou de la perméabilité magnétique de l'objet d'essai ou la présence de criques provoqueront une modification dans le flux de courant de Foucault et une modification correspondante de la phase et de l'amplitude du courant mesuré. C'est la base d'une inspection standard au courant de Foucault (bobine plate), la technique au courant de Foucault la plus largement utilisée.

L'appareil d'essai au courant de Foucault peut se composer de ce qui suit:

- Bobine fixe ou mobile fournie avec CA à partir d'un générateur et conçue pour s'adapter à l'objet à tester et aux discontinuités ou caractéristiques qui doivent être déterminées.
- Analyseur pour traitement des signaux de la bobine, contenant généralement un circuit en pont auquel la bobine est raccordée, un dispositif d'équilibrage d'amplitude et de phase, un

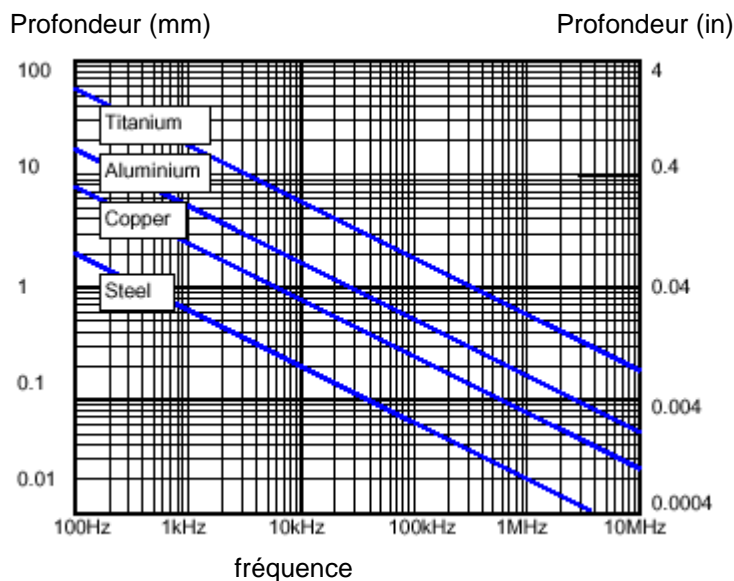
amplificateur pour la tension de déséquilibre et un détecteur sensible d'amplitude ou de phase (parfois complété par un analyseur de fréquence)

- Un dispositif qui déplace l'objet à tester en fonction de la bobine ou vice versa.
- Un dispositif qui indique ou enregistre les résultats de l'essai.
- Un dispositif de marquage ou triage des objets en cours d'essai.

L'échantillon de référence de la matière équivaut à celui de l'objet en cours d'essai et contenant des discontinuités naturelles ou artificielles qui peuvent être utilisées pour calibrer l'appareil d'essai et pour interpréter les indications obtenues.

### Méthode

La profondeur de pénétration du courant de Foucault dans l'objet à tester diminue avec l'augmentation de fréquence du courant alternatif du générateur.



La figure montre la profondeur de pénétration dans différents métaux en fonction de la fréquence

La perméabilité relative des matières amagnétiques est de 1. Cela signifie que le nombre de variables qui affectent l'essai est réduit.

Quand on teste des matériaux ferromagnétiques, le fait que la perméabilité relative soit notablement supérieure à 1 doit être pris en compte. Cela restreint les possibilités d'indiquer des discontinuités à une profondeur plus grande et implique aussi des perturbations par des variables des matériaux parasites qui provoquent des variations de la perméabilité.

Pour minimiser cet inconvénient, l'essai peut être effectué à une magnétisation de saturation ou à une température supérieure au point de Curie du matériau (768 °C pour l'acier).

### Impositions préliminaires

- Equipements calibrés: avant de commencer l'essai, l'appareil d'essai est pré-réglé au moyen d'un échantillon de référence. La bobine est ensuite réglée géométriquement en fonction de l'objet à tester et l'angle d'amplification, de phase et la fréquence du filtre sont réglés pour fournir le meilleur ratio signal-bruit possible. La sensibilité de la méthode d'essai est telle qu'elle détecte des défauts dans un échantillon de référence.
- Les surfaces testées doivent être nettoyées avant l'essai.

### **Maintenance**

La méthode à courant de Foucault s'applique

1. Quand on a des tuyauteries moyennes ou grosses à contrôler. Elle est beaucoup utilisée dans l'industrie chimique et pétrochimique, toujours par des spécialistes.
2. Pour la détection de défauts de surface là où la magnétoscopie ne peut être utilisée.

# Ressuage

## Généralités

Le ressuage fait partie intégrante des contrôles non destructifs (C.N.D.) regroupant l'ensemble des techniques et procédés aptes à fournir des informations sur la santé d'une pièce ou d'une structure sans qu'il en résulte des altérations préjudiciables à leur utilisation ultérieure.

Il s'agit d'une méthode globale qui autorise l'examen de la surface d'une pièce

## Objectifs

L'objectif des contrôles non destructifs et en particulier du ressuage est la mise en évidence de toutes les défauts susceptibles d'altérer la disponibilité, la sécurité d'emploi et/ou, plus généralement, la conformité d'un produit à l'usage auquel il est destiné. En ce sens, le contrôle non destructif apparaît comme un élément majeur du contrôle de l'état d'un équipement.

Ce procédé économique et simple de contrôle non destructif est facile à mettre en œuvre manuellement sur site. Il est insensible à l'orientation des défauts par rapport à la surface. Il permet la détection de petits défauts susceptibles de générer des fuites ou autres problèmes. Ce procédé est utilisable sur des matériaux non ferromagnétiques pour lesquels le contrôle magnétoscopique est inefficace ainsi que sur des pièces ferromagnétiques lorsque les problèmes de désaimantation sont critiques ou lorsque les pièces présente une géométrie trop complexe.

## Domaine d'application

Le ressuage permet de détecter des défauts de compacité débouchant en surface sur des matériaux non poreux, métallique ou non métallique (plastiques, composites...), mais n'est pas approprié pour les surfaces sales ou très rugueuses. Le ressuage est utilisé pour le contrôle :

- ✓ des pièces moulées,
- ✓ des pièces forgées,
- ✓ après rectification et/ou traitement thermique de pièces mécaniques,
- ✓ après traitement thermique,
- ✓ sur produits laminés ou étirés
- ✓ en service (Les fissures de fatigue et de corrosion peuvent si les conditions sont favorables être mises en évidence par ressuage mais le contrôle par magnétoscopie est en général mieux adapté dans ce cas),
- ✓ des soudures

. Avant soudage, il peut être utilisé pour effectuer un contrôle de toutes les surfaces devant recevoir des soudures (face des chanfreins par exemple) revêtements ou rechargements.

. Pendant soudage, il peut être mis en œuvre par exemple :

- lors d'une reprise envers pour s'assurer de l'élimination complète de défauts pouvant subsister à la racine du joint (manque de pénétration, fissures...),
- entre passes : dans ce cas, le contrôle peut être effectué après la 1ère passe, puis toutes les passes, ou toutes les trois passes par exemple (température < 200°C)

. Après soudage, il permet la détection des défauts suivants pourvu qu'ils débouchent à la surface : fissures, piqûres, retassures, certains manques de fusion, et les débordements.



## Méthode

### Principes

Le ressuage consiste à appliquer sur une surface à contrôler préalablement nettoyée, un pénétrant coloré ou fluorescent qui va pénétrer par capillarité dans les défauts débouchants (toute discontinuité, fissure ou défaut apparaissant en surface de la pièce à tester).

Après un temps d'imprégnation de 15 à 20 mn (correspondant à la pénétration du liquide d'imprégnation) à température ambiante, l'excès de pénétrant est éliminé par lavage.

Après séchage, un révélateur blanc est appliqué sur la surface à contrôler.

Le pénétrant contenu dans les défauts éventuels ressort alors dans le révélateur qui, attirant le liquide d'imprégnation retenu dans les défauts, donne une indication renforcée de ceux-ci.

Les images de défauts apparaissent immédiatement ou jusqu'à 30 mn après l'application des révélateurs (Ordre de grandeur de la sensibilité de détection d'une fissure : longueur minimale 0,5 mm, largeur 10 µm).

### Méthode

#### Préparation

Nettoyage de toutes les parties inspectées pour enlever toute forme de graisse, huile, rouille, dépôts, composantes acides ou alcalins, peinture, ainsi que tout autre contaminant qui pourrait interférer avec le process de contrôle ou l'interprétation des résultats.

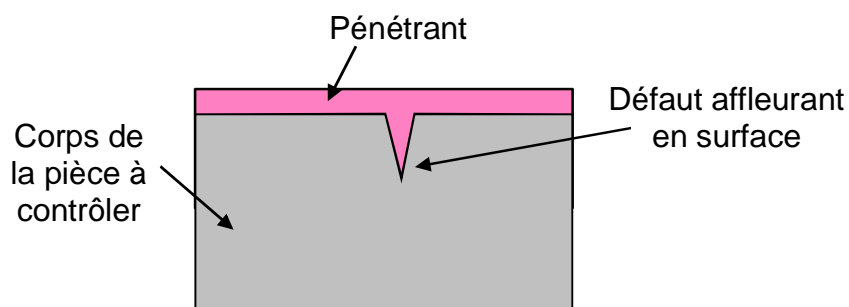
Le dégraissage peut s'effectuer à la vapeur ou à l'eau froide.

#### Application du pénétrant

- Application du pénétrant soit par immersion, soit par pulvérisation. La surface inspectée doit être complètement traitée par le pénétrant. Le choix du pénétrant dépend principalement de la rugosité de la surface inspectée et de la porosité du matériau.

Il y a trois types principaux de pénétrants :

- ✓ **pénétrant coloré** caractérisé par une faible sensibilité ;
  - ✓ **pénétrant pré-émulsionné**, directement lavable à l'eau ou au solvant, caractérisé par une sensibilité moyenne ;
  - ✓ **pénétrant fluorescent à post émulsion**, lavable à l'eau après émulsification avec un agent tensioactif, caractérisé par une forte sensibilité.
- Maintien de la zone inspectée sous l'action du pénétrant (10 min minimum et 1 heure maximum). La durée d'application est variable d'un type de pénétrant à l'autre.



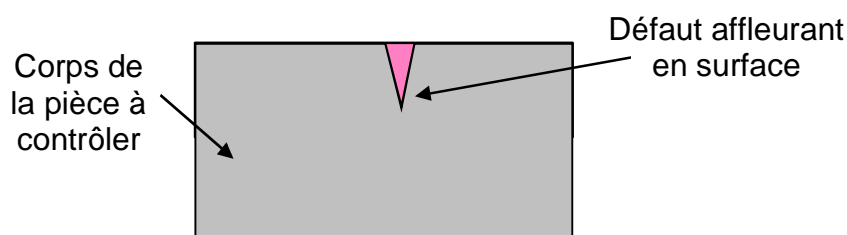


Note : Si l'application s'était prolongée au delà d'une heure ou si le pénétrant avait pour une quelconque raison séché en surface, ce dernier devrait être appliqué une nouvelle fois.

- . La vitesse à laquelle un pénétrant s'introduit dans défaut est déterminé par sa viscosité.
- . Le liquide pénétrant doit être inerte par rapport aux matériaux à contrôler.
- . Si la pièce inspectée est trop froide, l'humidité peut se condenser et bloquer la pénétration.

### ***Elimination du pénétrant***

Lavage de la surface de la pièce contrôlée pour enlever l'excès de pénétrant. Cette opération est délicate puisqu'un rinçage excessif enlèverait le pénétrant présent à l'intérieur des défauts et à l'inverse un rinçage insuffisant risque de perturber les interprétations en révélant des défauts inexistant.



### ***Séchage***

Les pièces/zones contrôlées sont superficiellement séchées : séchage par soufflage d'air à moins de 1,7 bar et à une distance d'au moins 30 cm de la surface examinée ou séchage en air chaud circulant dans une étuve de séchage entre 60°C et 70°C pendant 10 min au maximum.

Puis maintien de la zone inspectée sous l'action du pénétrant : 10 min minimum et 1 heure maximum.

### ***Application du révélateur***

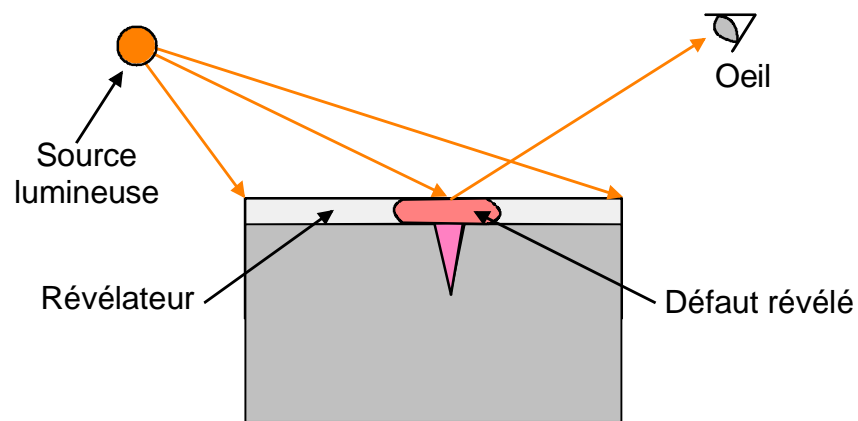
Application du révélateur dès que possible après le séchage. Celui-ci peut être sous forme liquide ou de poudre.

Révélateurs secs : poudre blanche qui se dépose sur les zones de ressuage.

Révélateurs humides : principalement utilisés avec des supports liquides volatils, ils se déposent sur toute la surface contrôlée et forment un dépôt contrastant.

### ***Analyse/interprétation des résultats***

- Eclairage de la surface examinée par une source de lumière appropriée dépendante du type de pénétrant choisi (par exemple le contrôle avec des pénétrants fluorescent nécessite une source lumineuse UV dans une enceinte dont l'intensité en lumière blanche ne doit pas dépasser 5 lux).
- Examen des surfaces à inspecter (entre 10 minutes minimum et trois heures maximum après application du révélateur, en deçà de cet intervalle le processus de contrôle devrait être repris depuis le début).



### Maintenance

Il nous paraît nécessaire que tout service de maintenance ait des produits pour ressuage. L'application et l'examen peuvent être faits par les Techniciens Méthodes Maintenance.

Lorsque sur un équipement des fissures sont révélées par le ressuage, on peut alors approfondir par la magnétoscopie ou le contrôle US

# Magnétoscopie

## Généralités

La magnétoscopie fait partie intégrante des contrôles non destructifs (C.N.D.) regroupant l'ensemble des techniques et procédés aptes à fournir des informations sur la santé d'une pièce ou d'une structure sans qu'il en résulte des altérations préjudiciables à leur utilisation ultérieure. Il s'agit d'une méthode globale qui autorise l'examen de la surface d'une pièce

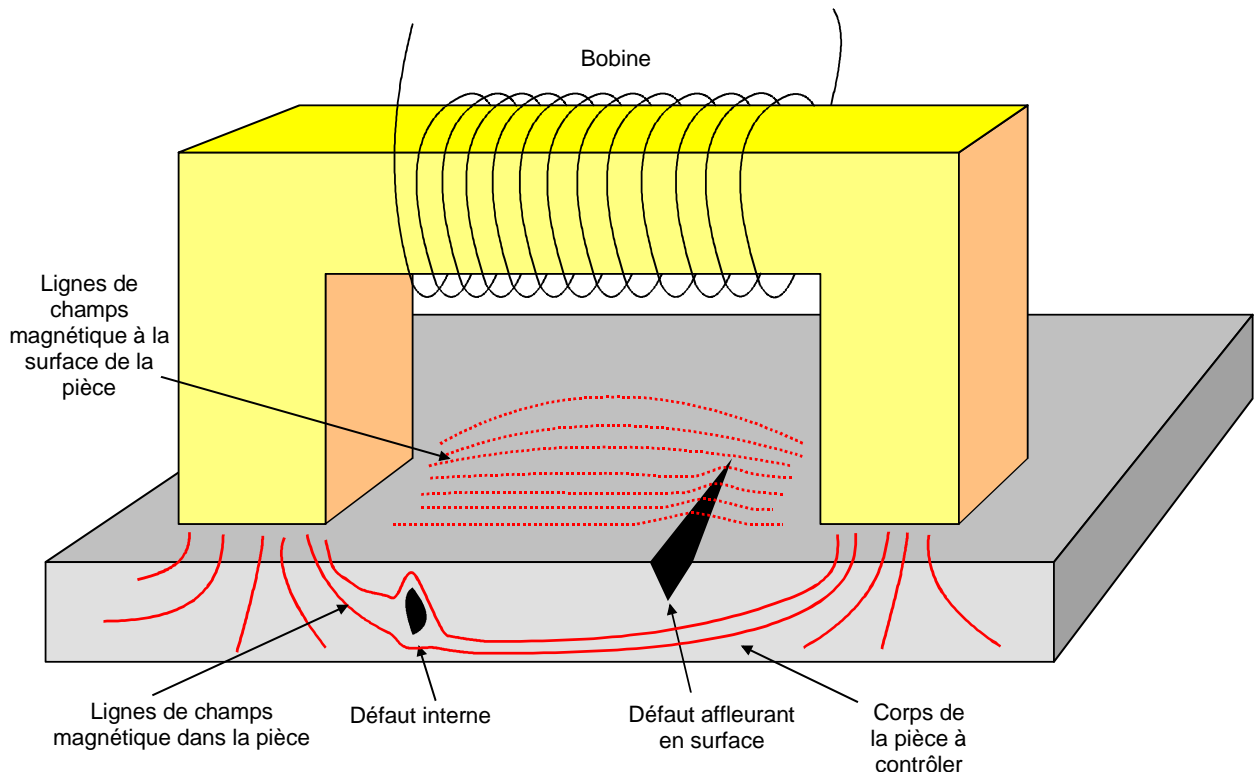
## Domaine d'application

La magnétoscopie permet de détecter des défauts superficiel débouchants en surface ou sous-cutanés (jusqu'à 10mm de profondeur) sur des matériaux ferromagnétiques (Les matériaux non ferromagnétiques comme l'aluminium, le cuivre ou certains aciers inoxydables ne pourront être contrôlés avec ce procédé). Les défauts ne peuvent être détectés que s'ils sont orientés normalement aux lignes de champs

## Méthode

### Principes

La magnétoscopie consiste à créer un flux d'induction magnétique intense dans des structures ferromagnétiques entraînant, au droit des défauts, des flux de fuite qui sont mis en évidence par des traceurs magnétiques finement micronisés et déposés à la surface des matériaux.



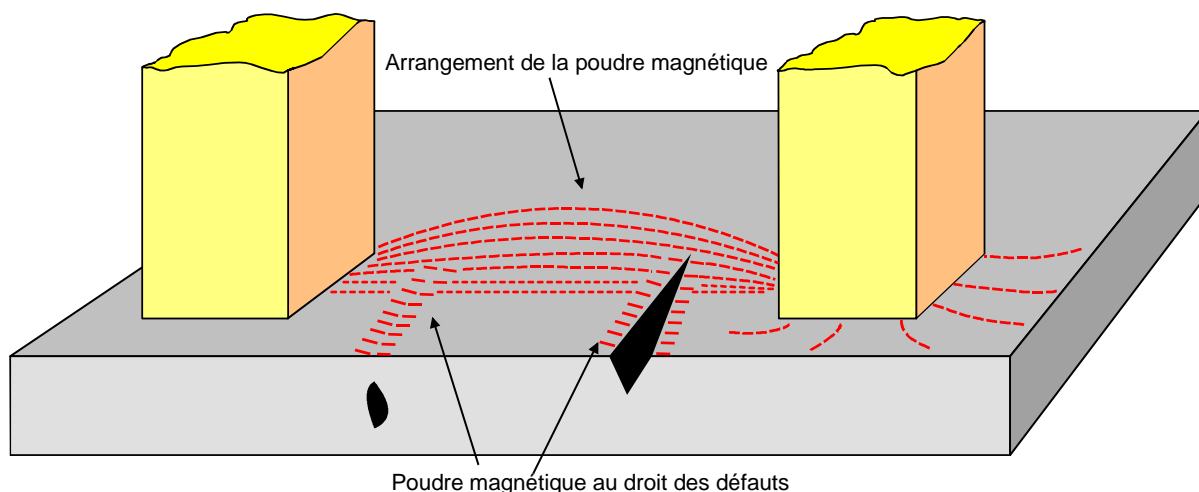
## Moyens nécessaires

- ✓ Solvant
- ✓ Fond blanc
- ✓ Poudre ou liquide révélateur (magnétique)
- ✓ Pince magnétique (courant AC ou DC)
- ✓ Lampe UV (si magnétoscopie fluorescente)



## Mode opératoire

- Dégraissage de l'élément à examiner à l'aide d'un solvant et d'un chiffon propre non pelucheux.
- Application du fond blanc.
- Pulvérisation de la liqueur magnétique suivant deux directions perpendiculaires, ou application d'une poudre avec un liant.
- Magnétisation avec la pince magnétique.



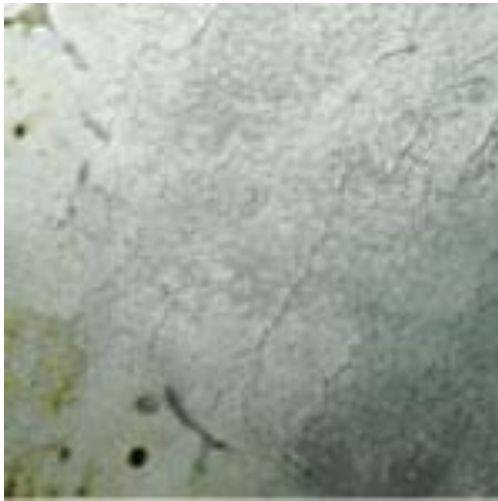
## Interprétation des défauts

Quel que soit le type de magnétoscopie (coloré ou fluorescent), les indications qui peuvent être décelées sont :

- soit de forme arrondie,
- soit de forme linéaire.

En magnétoscopie de type coloré, l'indication se manifeste à l'oeil. Dans le cas d'un magnétoscopie fluorescente, une lampe ultraviolette est nécessaire

L'importance du défaut est caractérisée par la grosseur de l'indication.



### Maintenance

L'achat d'un matériel de magnétoscopie et la formation d'un personnel ne se justifie que pour l'industrie lourde : sidérurgie, cimenteries, etc.

Généralement on fait appel à la magnétoscopie dans les cas suivants :

- examen plus approfondi suite à un ressuage ;
- examens systématiques lors de grands entretiens, pour des tourillons par exemple ;
- examens complets lorsqu'il y a des doutes sur des équipements.

La magnétoscopie est plus facile à mettre en œuvre que les contrôles US ; mais elle ne permet pas d'examiner la qualité des soudures, ou des fissurations transversables dans un arbre.

On peut facilement faire appel à un prestataire pour des examens magnétoscopiques. D'ailleurs toute société de maintenance devrait avoir ce moyen.

## Contrôles par ultrasons

### Applications générales des oscillations ultrasoniques

La fréquence d'une impression sonore (le ton) est limité aux environs de 20000 Hz ; le son ayant des fréquences plus élevées s'appelle ultrason.

Actuellement, la bonne conductibilité du son dans des matières liquides ou solides est utilisée dans divers domaines de la technique.

On distingue deux groupes d'applications : les applications énergétiques et les applications diagnostiques.

### Applications énergétiques

Dans ces cas là l'énergie du son est utilisée pour son action sur une matière déterminée.

Le rinçage, l'émulsification, le soudage, le massage médical, etc. par ultrason en sont des exemples.

### Applications diagnostiques

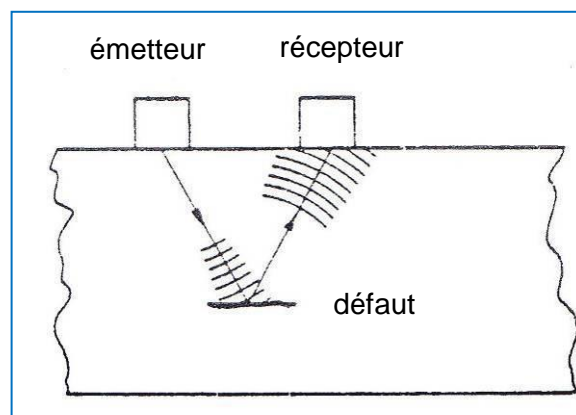
On utilise les ultrasons comme porteurs de signaux, afin d'indiquer une certaine situation.

Les appareils échographiques médicaux, le sondeur à ultrasons (pour mesurer les profondeurs des eaux ou pour détecter des bancs de poissons), et les « appareils Sonar » pour localiser les sous-marins à grande distance, font notamment partie de ce deuxième groupe.

Le sondeur à ultrasons utilise une deuxième caractéristique de la propagation des ondes, à savoir la réflexion des ondes sonores sur le fond de mer. A cet effet, l'émetteur situé à la coque du navire émet une courte impulsion sonore. Celle-ci est réfléchiée par le fond de la mer pour être recaptée par un récepteur. En même temps on mesure le temps de parcours de l'impulsion. Partant de la vitesse connue du son dans l'eau, il est facile de calculer la profondeur.

La bonne conductibilité du son dans les matières solides s'applique également à l'essai des matériaux. On utilise la caractéristique de la réflexion des ondes sonores. Ainsi il est possible de détecter les défauts internes d'une manière non destructive. Puisque l'intensité sonore augmente à raison du carré de la fréquence, le contrôle du matériau s'effectue à l'aide d'ultrasons, les fréquences courantes se situent entre 0,5 et 15 MHz.

Une méthode d'essai non destructif des matériaux par ultrasons est la méthode par impulsion-écho. Celle-ci consiste à émettre un son dans la pièce à examiner et à mesurer et interpréter les modifications subies par le son dans la pièce.



Dans cette méthode, qui est d'ailleurs la plus courante, la partie des ultrasons réfléchis par les interfaces ou les défauts est recaptée et évaluée électroniquement.

A cet effet, les deux valeurs suivantes sont d'une grande importance.

Le temps de parcours nécessaire pour que le son puisse aller et retourner entre la surface de l'objet et le réflecteur, et la puissance ( l'intensité ) du signal sonore réfléchi. Le temps de parcours constitue une mesure de la distance jusqu'au réflecteur, tandis que l'intensité constitue une mesure des caractéristiques de réflexion du réflecteur (fissure par ex.)

Il est facile à comprendre que le son continu n'est pas utilisable pour les mesures du temps de parcours. En effet, par des courtes impulsions sonores, on peut mesurer une durée déterminée entre l'émission et la réception. Lors de la méthode par impulsion-écho, un émetteur d'ultrasons doit donc produire des impulsions sonores très courtes.

### Génération des ondes ultrasoniques

Comme émetteur et récepteur d'ultrasons, on utilise surtout des plaquettes, découpées de certains cristaux ( transducteurs piézo-électriques ).

Si une telle plaquette n'est sujette à aucune force externe, les charges électriques se rangent dans une certaine symétrie cristalline, si bien qu'elles se neutralisent. Par l'effet d'une pression externe, l'épaisseur de la plaquette change, et avec elle la symétrie des charges. Il se crée un champ électrique et la tension peut se mesurer aux deux surfaces argentées du transducteur. Cet effet s'appelle effet piézo-électrique direct. Par cet effet direct, les variations de pression, et donc les ondes sonores, se transforment en variations de tension électrique : la plaquette agit comme récepteur.

L'effet piézo-électrique est réversible (effet piézo-électrique réciproque). Si l'on soumet les surfaces de contact de la plaquette à une tension, son épaisseur change. La plaquette devient plus épaisse ou plus mince suivant que la tension est positive ou négative. Si l'on la soumet à une tension alternative à haute fréquence, le transducteur vibre à la fréquence de la tension alternative. Une impulsion électrique courte de moins d'une microseconde et d'une tension de 300 à 1000 V incite le transducteur à vibrer dans sa propre fréquence de résonance. Celle-ci dépend de l'épaisseur du matériau de la plaquette. Plus la plaquette est mince, plus sa fréquence de résonance est élevée. Pour ce faire, on peut émettre un signal ultrasonique ayant une fréquence principale bien déterminée.

Un cristal piézo-électrique que l'on rencontre dans la nature est le quartz (cristal de roche). Il était fréquemment utilisé dans les premières années des contrôles par ultrasons.

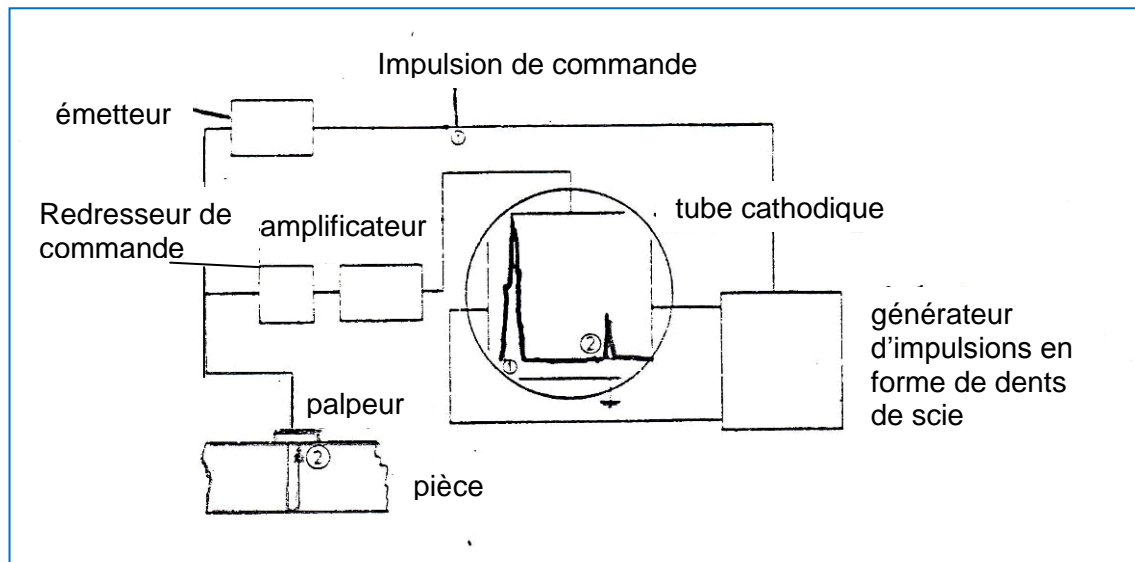
Dans les palpeurs modernes, le quartz est remplacé par des céramiques polarisées ou des cristaux cultivés artificiellement.

Les principaux matériaux utilisés sont : le zirconate-titanate de plomb, le titanate de baryum (80 % des palpeurs), le metaniobate de plomb, le sulfate de lithium, le quartz, le niobate de lithium.

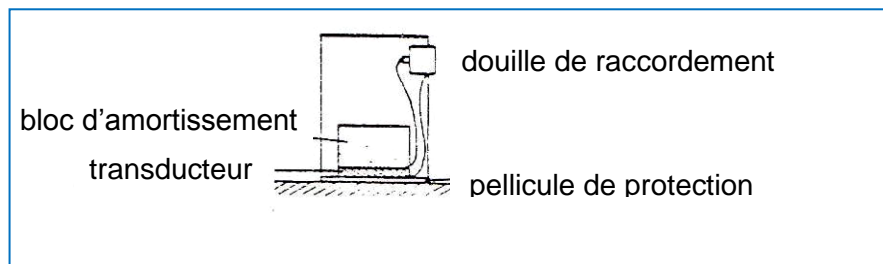
### L'équipement pour le contrôle par ultrasons

L'équipement comprend :

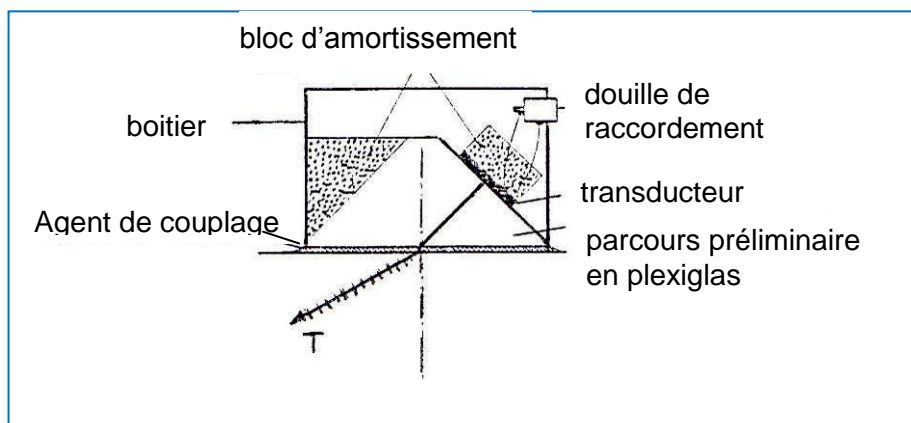
- un appareil portable avec un tube cathodique, un générateur d'impulsions, un amplificateur, un redresseur de commande et un émetteur ;
- un palpeur..



Dans la pratique on utilise des palpeurs pourvus de transducteurs piézo-électriques. Ceux-ci sont collés sur un parcours préliminaire plan parallèle ou cunéiforme en plastique, suivant qu'il s'agit d'une émission perpendiculaire ou oblique. La partie supérieure du transducteur est solidement fixée à un bloc d'amortissement destiné à atténuer le plus vite possible les vibrations de résonance du transducteur.



Palpeur normal ou palpeur droit

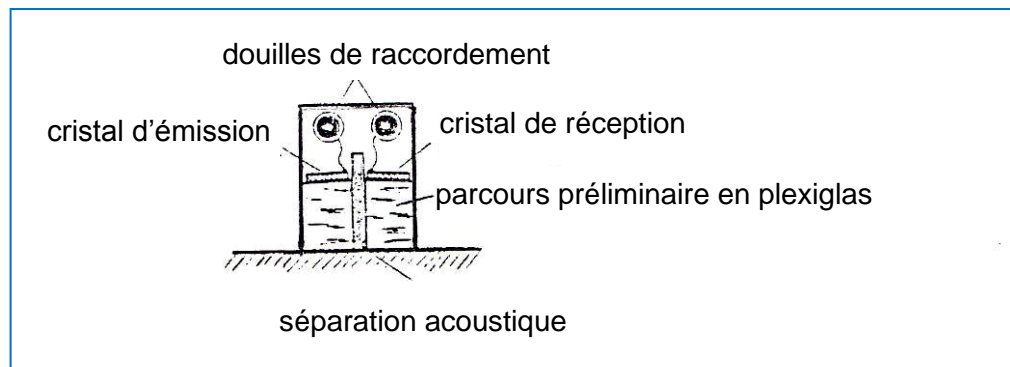


Palpeur d'angle ou palpeur oblique

Le palpeur doit toujours émettre ou recevoir des impulsions sonores sous un angle d'incidence fixe par rapport à la perpendiculaire dans la pièce en examen, ce qui justifie parfois l'utilisation de palpeurs d'angle.

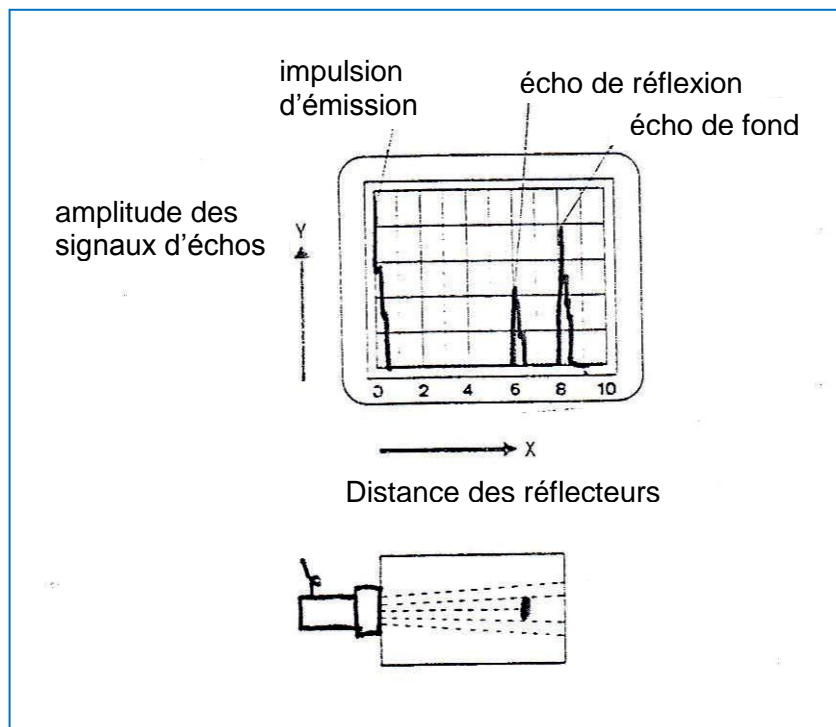


Un troisième type de palpeur se compose de deux transducteurs acoustiques électriques, séparés l'un de l'autre, le premier agissant comme émetteur et le deuxième comme récepteur. Ce type de palpeur est utilisé pour examiner des objets minces ou pour détecter des défauts sous-jacents.

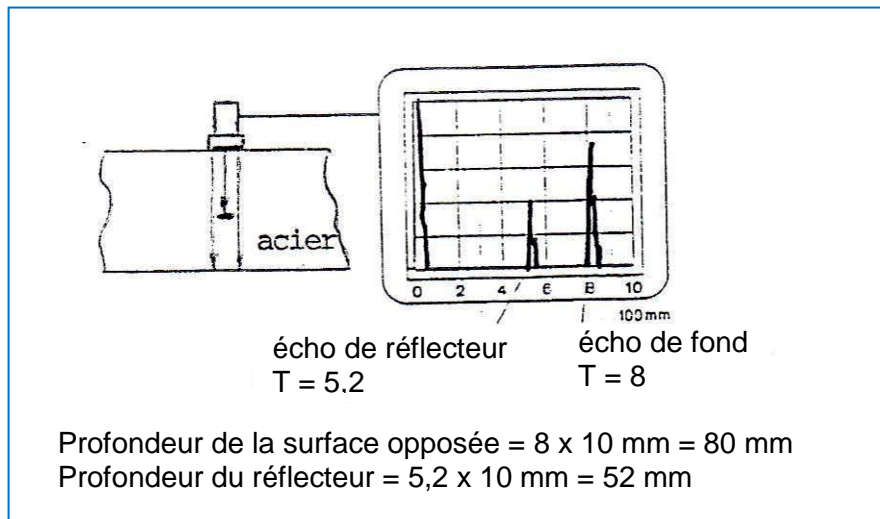


### Les contrôles réalisés

Généralement on peut connaître d'une part l'épaisseur de la pièce ( par l'écho de fond ) et la présence de défauts ( par l'écho de réflexion )



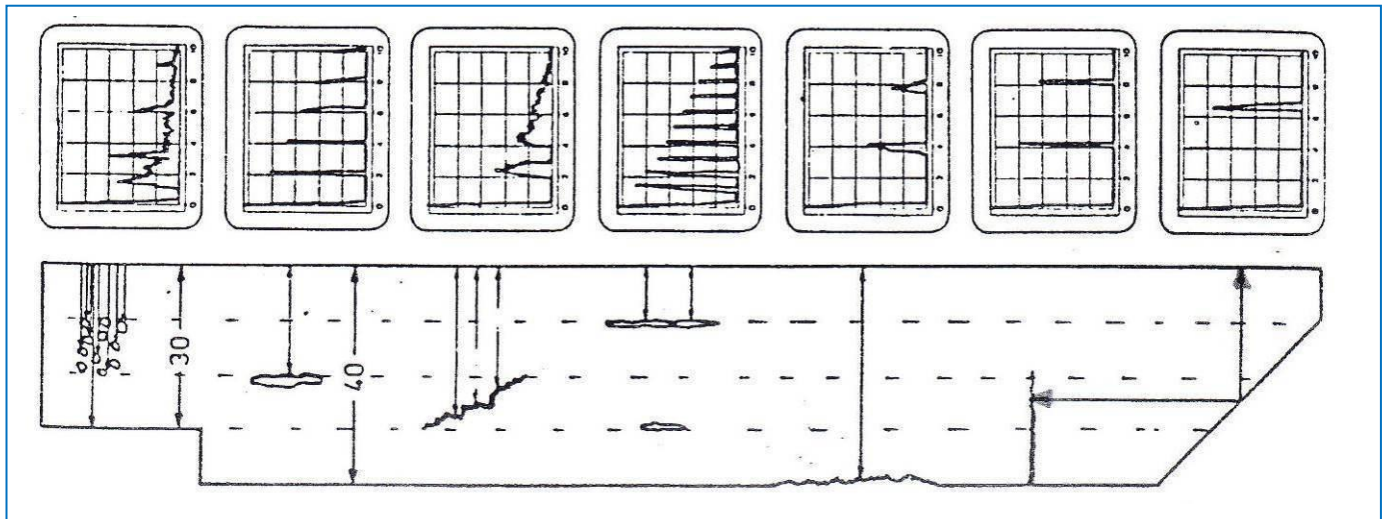
Pour cela, on réalise un calibrage. Le calibrage permet de faire correspondre la largeur Le calibrage permet de faire correspondre la largeur entière de l'écran à une certaine distance dans le matériau à contrôler. Pour le calibrage on utilise un bloc de calibrage plan-parallèle d'une épaisseur connue et composé du même matériau que la pièce à examiner.



Le contrôle par ultrason révèle que l'image de l'écran est indispensable à l'interprétation du contrôle.

En effet, la forme et l'emplacement des échos fournissent d'importantes informations concernant la nature des réflexions correspondantes. L'interprétation demande néanmoins une grande expérience et des exercices pratiques.

La figure suivante montre schématiquement quelques défauts avec les images de l'écran correspondantes.

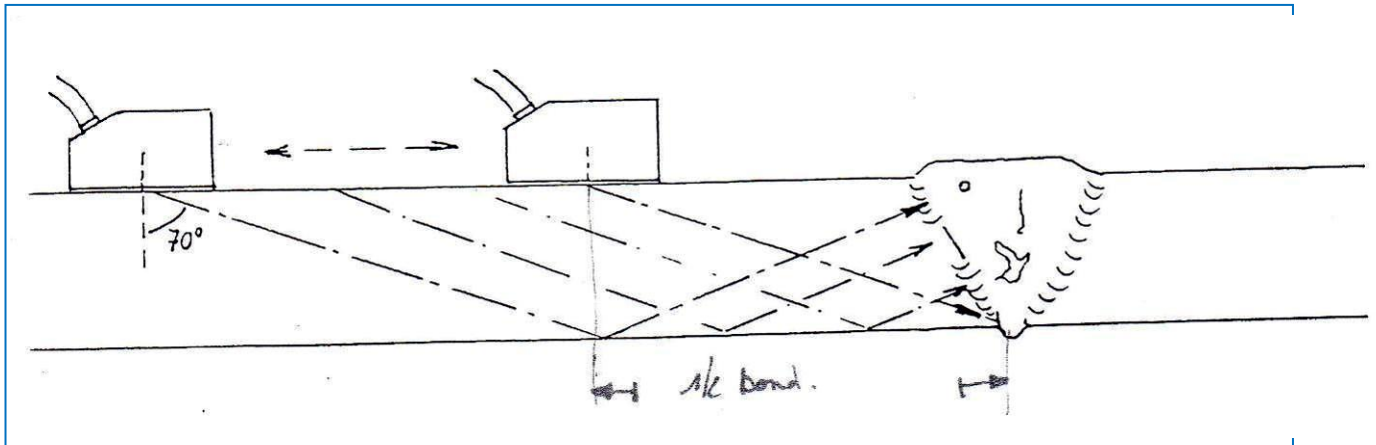


Les deux réflecteurs de l'extrême droite ne peuvent pas se détecter au moyen de palpeurs droits, puisqu'ils ne sont pas atteints d'une manière perpendiculaire. Une des règles de base les plus importantes dans la détection de réflecteurs est la « règle d'or du contrôle ultrasonique » : **Il faut atteindre les réflecteurs le plus perpendiculairement possible.** Uniquement dans ce cas on obtient un écho maximal.

Si l'on utilise des palpeurs à émission perpendiculaire, des défauts obliques ou perpendiculaires à la surface de contact ne peuvent pas être détectés, étant donné que le son ne réfléchit pas directement au palpeur. Afin de détecter et d'interpréter de tels défauts, on utilise des palpeurs à émission oblique.

Des palpeurs d'angle standard se fabriquent avec les angles d'émission suivants des ondes transversales dans l'acier : 35°, 45°, 60°, 70° et 80°.

Pour le contrôle de soudures, les palpeurs de 70° sont le plus en usage pour les épaisseurs de tôles jusqu'à 35-40 mm. Pour les épaisseurs supérieures on a recours aux angles de 60°, 45° et même parfois 35°.



Note : bien entendu on utilise toujours un agent de couplage plus ou moins épais qui peut être de l'eau, l'huile, la glycérine, la colle à tapisser, etc .

### Maintenance

Les remarques sont identiques à celles que nous avons formulées pour la magnétoscopie. L'achat d'un matériel de contrôle US et la formation d'un personnel ne se justifie que pour l'industrie lourde : sidérurgie, cimenteries, etc.

Généralement on fait appel à un contrôle US dans les cas suivants :

- examen plus approfondi suite à un ressuage ;
- examens systématiques lors de grands entretiens, pour des mesures d'épaisseurs ou la recherche de fissures éventuelles ;
- examens complets lorsqu'il y a des doutes sur des équipements.

Par rapport à la magnétoscopie, le contrôle US permet d'examiner la qualité des soudures, ou des fissurations transversables dans un arbre.

On peut facilement faire appel à un prestataire pour des contrôles US. D'ailleurs toute société de maintenance devrait avoir ce moyen.

Pour les soudures critiques réalisées à l'extérieur, il est souvent nécessaire d'imposer un contrôle par ultrasons. Malheureusement trop d'entreprises réalisent ces travaux sans avoir ce moyen de contrôle.

## Contrôle des vannes

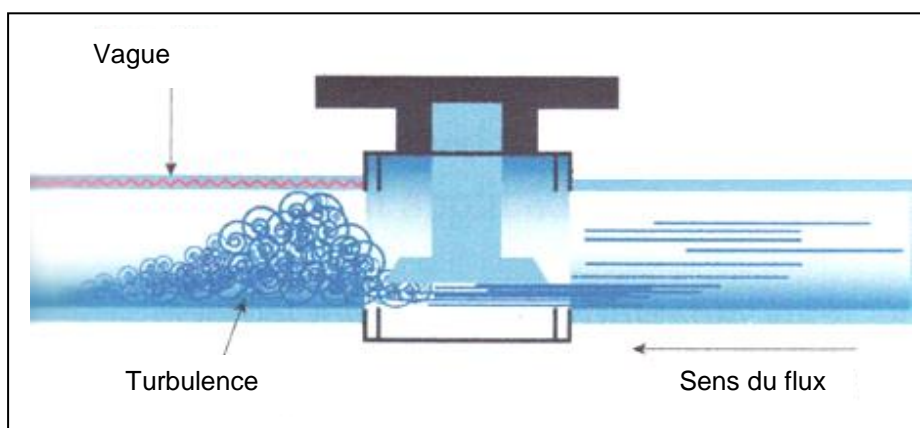
### Méthode acoustique

#### Principe de base de la méthode

Le principe de base de la méthode acoustique, est d'identifier les signaux de fuites par l'intermédiaire des ultrasons au niveau de l'obturateur d'un organe de robinetterie **SANS PERTE DE PRODUCTION**.

Les signaux ultrasonores émis peuvent avoir plusieurs origines :

- ✓ l'écoulement variable présentant des turbulences,
- ✓ la cavitation,
- ✓ le passage d'un liquide en vapeur,
- ✓ les mouvements de pièces mécaniques.



Plusieurs facteurs vont influencer la propagation et l'atténuation du signal de fuite, donc l'amplitude et la distribution spectrale dans les organes et les tuyauteries :

- ✓ la différence de pression de part et d'autre de l'organe,
- ✓ la nature du matériau constituant la vanne et les tuyauteries,
- ✓ la géométrie de la vanne et des tuyauteries associées,
- ✓ la présence de brides avec joints d'étanchéité,
- ✓ la nature du fluide,
- ✓ la température du fluide véhiculé,
- ✓ la présence de gaz dissous dans le fluide,
- ✓ la sensibilité des capteurs utilisés et leur position sur la vanne ou sur les tuyauteries,
- ✓ le bruit de fond ambiant.

Pour déterminer la non étanchéité d'un organe de robinetterie, on utilise un analyseur numérique équipé de capteurs.

### Modes opératoires

Différentes modes opératoires de contrôle acoustique sont mis en application en fonction de la configuration du circuit sur lequel sont disposés les organes à tester.

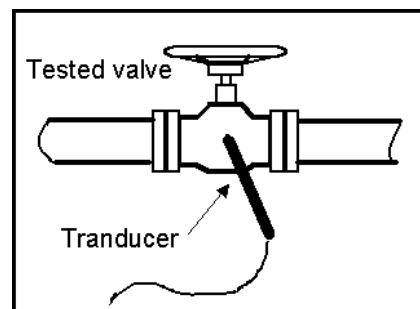
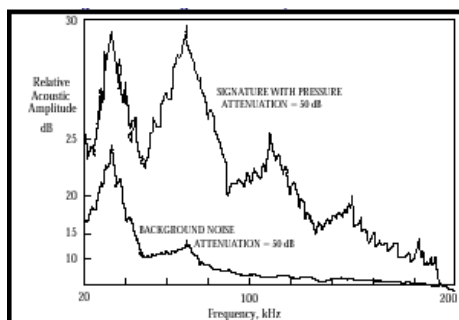
Pour détecter une fuite, une ou plusieurs signatures sont enregistrées dans différentes conditions de fonctionnement du circuit, à l'aide de capteurs positionnés à des emplacements différents.

C'est la comparaison finale des signatures qui permet de déterminer le degré d'inétanchéité de l'organe testé.

### Sélection du mode opératoire

#### Comparaison des signatures :

Ce mode opératoire est utilisé lorsqu'il est possible d'éliminer la pression au niveau de l'obturateur. La différence entre les deux signatures traduit le niveau de fuite. La première mesure est effectuée avec la vanne fermée (signature de pression) ; ensuite la vanne est ouverte et une seconde mesure est prise (signature bruit de fond). La vanne ne fuit pas quand les signatures de pression et de bruit de fond sont sensiblement égales.



#### Mode différentiel :

Ce mode opératoire est utilisé lorsqu'il n'est pas possible d'ouvrir la vanne testée. Dans ce cas, trois mesures sont nécessaires. Les signatures sont mesurées sur la vanne au plus proche du siège, en amont (sur la vanne ou sur la tuyauterie) et en aval à égale distance.

#### Comparaison directe :

Quand l'objectif est de déterminer rapidement quelles sont les vannes non-étanches dans un groupe de vannes identiques (tailles identiques et mêmes technologies) à la même pression, il est possible de n'enregistrer que les signatures sous pression et de les comparer les unes aux autres en les classant selon la sévérité de la fuite.

### Mise en application de la méthode acoustique

La méthode acoustique de détection de fuite permet de répondre à plusieurs objectifs :

- **Réduction des pertes énergétiques :**

Les organes testés actuellement sont principalement des soupapes de protection, des vannes d'isolement de purges installées sur la tranche et dont les fuites en service ne sont pas détectables (lignes non instrumentées). La révision des organes est programmée en fonction du résultat des tests.

- **Dans le cadre de la maintenance préventive :**

Déterminer la priorité de visite interne des organes pendant un arrêt de tranche,  
Reporter la visite interne d'un organe dans le cas d'une visite programmée pour lequel le taux de fuite s'avère faible après test acoustique.

A partir de cette méthode, d'autres objectifs peuvent être définis :

### - **Réduction des effluents :**

Un contrôle des organes en limite d'un circuit véhiculant des effluents ou des produits chimiques permet de réduire le volume d'effluents à traiter.

### - **Contrôle des organes frontière à la réalisation d'une épreuve hydraulique :**

La réalisation d'un test préalable permet de détecter les organes non-étanches et de ne visiter que le strict nécessaire.

### - **Dans le cadre de la maintenance fortuite :**

S'assurer du bien fondé d'une demande d'intervention sur un organe qualifié non-étanche, localiser un organe non-étanche parmi un groupe.

### - **Contrôle de l'instrumentation des vannes réglantes :**

La méthode acoustique permet de vérifier en temps réel le bon réglage de l'Instrumentation d'une vanne réglante, normalement fermée.

Il suffit de réaliser le test et de se placer sur la fréquence ou le niveau acoustique le plus important. En agissant sur l'instrumentation, on constate directement la variation du niveau acoustique et de ce fait, l'évolution du taux de fuite.

## **Evaluation qualitative et quantitative de la sévérité des fuites**

Deux types d'évaluations peuvent être envisagés :

- Dans le cadre de la maintenance, la sévérité des fuites est estimée en fonction de la différence entre les signatures de pression et de bruit de fond comme suit :  
Fuite importante    Différence au-dessus de 24 dB  
Fuite moyenne      Différence entre 10 dB et 24 dB  
Fuite minime        Différence en dessous de 10 dB
- Dans le cadre d'une étude énergétique, un modèle de calcul permet d'estimer les pertes énergétiques résultantes des fuites constatées. La synthèse des résultats permet d'estimer directement l'énergie perdue par le fait de ces fuites.

## **Conditions requises pour l'application de la méthode**

Vanne en position fermée,  
Pression différentielle minimale de 0.5 bar.

### **Maintenance**

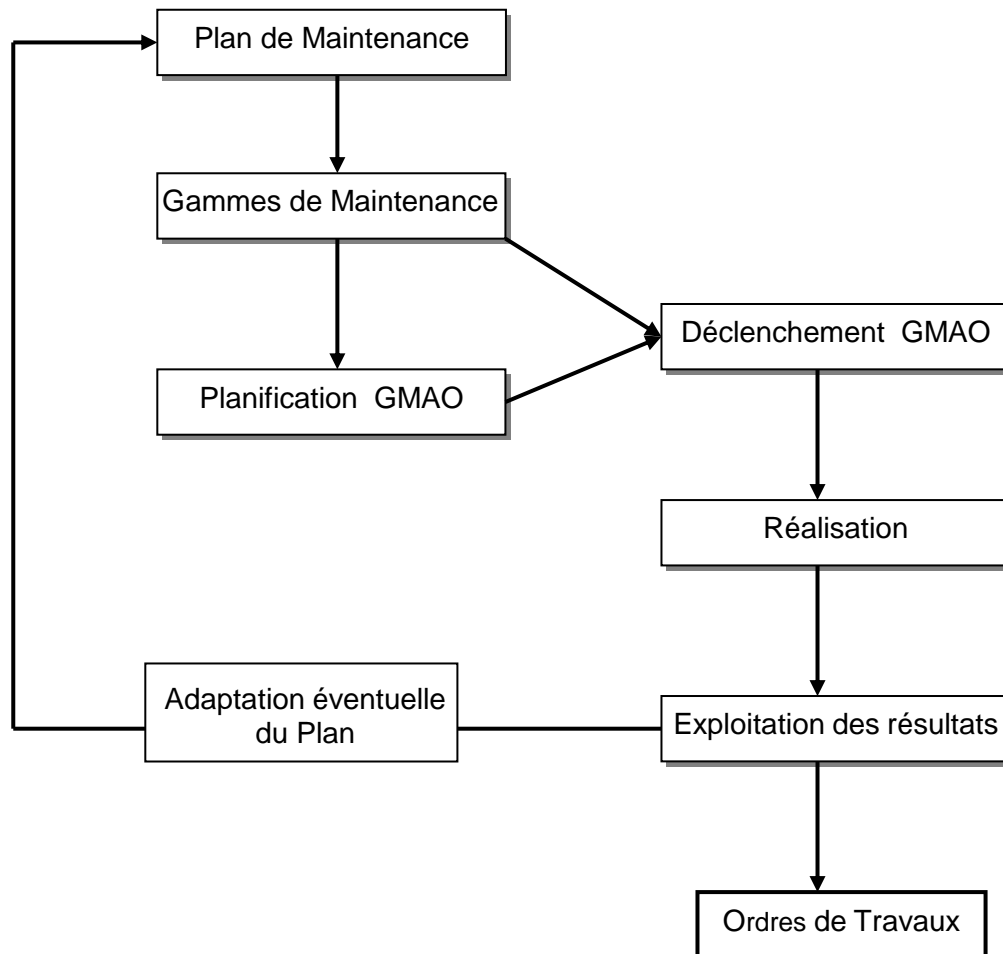
A l'heure actuelle peu de vannes « repassent ».

Donc ce type de contrôle devrait être réservé à des vannes critiques, d'autant plus qu'il nécessite des appareils de mesure assez sensibles.

# Standards de maintenance préventive

	Page
Introduction.....	314
Organes de transmission.....	317
Roulements.....	324
Pompes.....	327
Soupapes, tuyauteries, filtres.....	330 ..
Vérins.....	333
Matériels divers.....	336
Convoyeurs.....	338
Compresseurs et sécheurs d'air.....	347
Hydraulique.....	350 ..
Brouillard d'huile.....	351
Groupe Diesel.....	353
Ventilateurs.....	355
Ponts roulants, palans et treuils.....	356

## Introduction



Dans la définition de la maintenance préventive, nous incluons des contrôles, visites et interventions de maintenance effectuées préventivement.

La maintenance préventive s'oppose en cela à la maintenance corrective déclenchée par des perturbations ou par les événements, et donc subie par la Maintenance.

La maintenance préventive comprend :

- les contrôles ou visites,
- les expertises, les opérations et les remplacements effectués à la suite des contrôles, visites, surveillances.
- les remplacements systématiques,
- la maintenance conditionnelle,
- la lubrification-graissage,
- le nettoyage.

La maintenance préventive ne doit pas consister à dire à un agent de maintenance : « allez voir si l'état de tel organe est bon » (à travers une procédure quelconque). Dans ce cas, si l'état est bon, on ne dit rien ; s'il n'est pas bon, il faut intervenir de suite, ce qui nécessite forcément une disponibilité en pièce de rechange. Il s'agit d'une détection d'anomalie et non de maintenance préventive.

Au contraire, la maintenance préventive doit consister à suivre l'évolution d'un état, de manière à prévoir une intervention dans un délai raisonnable ( 1 à 2 mois par ex.) et l'achat de la pièce de remplacement nécessaire ( que l'on n'a pas besoin de tenir en stock, si le délai normal le permet ) Par ailleurs, comme pour sa propre voiture, il faut déterminer la fréquence de visite ou intervention de maintenance préventive suivant le taux d'usure ou d'utilisation ( heures de marche, tonnes produites...), quitte à reconvertir les fréquences en déclenchements calendaires si l'on est assuré d'une utilisation régulière du matériel concerné.



Objectifs visés par la maintenance préventive :

- Augmenter la fiabilité d'un matériel pour réduire les temps d'arrêt dus aux défaillances.
- Diminuer les défaillances et imprévus pour réduire le coût direct de maintenance (réduction des « casses »)
- Améliorer la qualité des produits.
- Assurer la sécurité ( moins d'improvisations dangereuses )
- Augmenter la durée de vie efficace d'un matériel.
- Améliorer l'ordonnancement des travaux, et par conséquent les relations avec la fabrication
- Améliorer les prévisions et la programmation pour diminuer les coûts.
- Améliorer le climat des relations humaines ( une panne imprévue est toujours génératrice de tension )

## ***Plan de maintenance préventive***

Le Plan de Maintenance Préventive est à la fois :

- Un document de travail : c'est l'outil qui permet de lister les opérations de maintenance préventive en passant en revue systématiquement tous les organes concernés.
- Un document de synthèse, car il rassemble d'une manière permanente toutes opérations de maintenance préventive, indépendamment des documents de réalisation.

Dans l'ordre de la nomenclature du matériel, le plan de maintenance définit par unité maintenable ( organe ou ensemble d'organes ) les opérations à réaliser :

- ✓ Descriptif de chaque opération ( mesurer – contrôler – évaluer – faire ) ; dans les opérations sont compris le graissage, les nettoyages.
- ✓ Valeur de référence éventuellement
- ✓ Situation du matériel ( Marche – Arrêt )
- ✓ Périodicité ou Intervalle calendaire
- ✓ Durée
- ✓ Corps de métier (dont les opérateurs)
- ✓ Nombre d'intervenants
- ✓ Consignes de sécurité
- ✓ Mode opératoire éventuellement

Pour l'organisation il est souhaitable que :

Chaque périodicité soit un multiple de la périodicité inférieure ( ex : 600 – 1800 – 3600 – 7200 h ) dans l'année.

Ou mieux que chaque intervalle calendaire soit multiple de l'intervalle inférieur ( ex : 1 jour, 1 sem, 2 sem. 1 mois, 3 mois, 6 mois, 12 mois )

Nous proposons des standards de maintenance préventive pour des organes types, ce qui permet de gagner beaucoup de temps dans l'établissement du Plan.

## ***Gammes de maintenance préventive***

Une gamme de maintenance regroupe des opérations :

- de même périodicité ou intervalle calendaire,
- à faire dans la même situation du matériel ( marche ou arrêt )
- par un même corps de métier,
- avec un même nombre de personnes.

Elle peut être accompagnée de modes opératoires pour la réalisation par du personnel de maintenance.

## Standards de maintenance préventive : introduction

Elle est souvent sous forme de modes opératoires imagés pour la réalisation par du personnel de fabrication (maintenance dite de premier niveau).

En général, on fait en sorte que la durée d'une gamme corresponde à celle d'un arrêt programmé, ou à la journée de travail, ou demi-journée de travail ( afin de bien occuper le personnel ) pour une réalisation par du personnel de maintenance.

-----

Nous vous proposons ci-après des standards de maintenance préventive pour des organes types.

- ✓ Ces standards sont établis pour une dureté de service moyenne ; si elle était élevée il faudrait alors diminuer les périodicités.
- ✓ Les périodicités sont calendaires ; elles pourraient être converties en taux d'usure ( heures de marche ou nombres d'unités produites) an considérant que 1 an équivaut à 7 000 heures ( avec un taux de 20 % d'arrêts divers par an).
- ✓ Les significations des différentes abréviations sont les suivantes :

**I** : .....c'est le type d'intervention (visite ), soit :

**V** : mesurer d'une valeur (jeu, dB, vibration, T°C,...)

**E** : estimation d'un état, soit : 1 = RAS

2 = début de dégradation

3 = dégradation avancée

4 = danger

**C** : contrôle ; exemple contrôle d'un accouplement : on démonte et on vérifie l'état des tampons que l'on remplace immédiatement si nécessaire.

**F** : il s'agit de « faire » ; exemples : graisser, vidanger, remplacer, etc.

**Csg** : .....cela concerne la consignation nécessaire, soit :

**E** : consignation électrique ;

**H** : consignation hydraulique (en plus de la consignation électrique)

**M** : consignation mécanique (en plus de la consignation électrique)

**P** : consignation pneumatique (en plus de la consignation électrique)

**Min** : .....temps net en minutes pour l'opération ; une majoration pour déplacements est ajoutée quand toutes les opérations sont entrées dans la gamme.

**Nb** : .....nombre d'intervenants.

**Mét.** : ....corps de métiers, soit pour les gammes suivantes :

**ME** ou **EM** : mécanicien ou électromécanicien

**VS** : technicien spécialisé pour certains CND comme mesures de vibrations, suivis des analyses d'huile, mesures avec appareils US, etc.

**FA** : opérateur ou rondier de fabrication

**GR** : graisseur

**SP** : spécialiste

**RE** : technicien de régulation (instrumentiste)

**AG** : organisme agréé

**EL** : électricien

**APM** : intervention à l'Arrêt, en **Marche** ou en **Arrêt Partiel** (pendant un changement d'outillage par exemple)

**Périod.** : nombre de semaines, mois ou années (toujours sous-multiples ou multiples de 12 mois, pour pouvoir reconduire les plannings annuels.

**U** : .....semaine, mois, ou année.

## Organes de transmission

Accouplement à chaîne										
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U	
Démonter coquilles, évaluer l'usure de la chaîne.		E	E	15	1	ME	A	2	A	
Evaluer l'usure des pignons.		E	E	3	1	ME	A	2	A	
Contrôler le serrage des boulons.		C	E	5	1	ME	A	6	M	
Remplacer la graisse de la chaîne et des pignons.		F	E	10	1	ME	A	2	A	

Accouplement à tampons										
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U	
Démonter le carter de protection et évaluer l'usure des tampons,		E	E	15	1	ME	A	2	A	
Contrôler le serrage des boulons accessibles.		C	E	3	1	ME	A	6	M	

Accouplement à dentures										
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U	
Désaccoupler cloches et évaluer usure dentures mâles.		E	E	90	2	ME	A	2	A	
Evaluer usure dentures femelles.		E	E	1	2	ME	A	2	A	
Contrôler le serrage des boulons.		C	E	5	1	ME	A	6	M	
Remplacer la graisse des dentures.		F	E	60	1	ME	A	2	A	

**Note** : les valeurs sont données pour des accouplements moyens. Quand l'accouplement est important et difficile à démonter, il faut revoir le temps imparti. (on peut aller jusqu'à 180 voire 240 min dans certains cas, et 2 hommes sont nécessaires pour les gros accouplements) et même la périodicité : 3 ou même 4 ans au lieu de deux; ce n'est pas grave car les accouplements plus gros s'usent moins vite en général.

Accouplement à ressort										
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U	
Démonter coquilles et évaluer l'usure du ressort.		E	E	15	1	ME	A	2	A	
Evaluer l'usure des encoches.		E	E	3	1	ME	A	2	A	
Contrôler le serrage des boulons.		C	E	5	1	ME	A	6	M	
Nettoyer et graisser.		F	E	10	1	ME	A	2	A	

Accouplement multidisques										
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U	
Démonter coquilles et évaluer l'état des disques.		E	E	8	1	ME	A	2	A	
Contrôler le serrage des boulons.		C	E	2	1	ME	A	6	M	

Accouplement à bandage										
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U	
Evaluer l'état et le vieillissement du bandage.		E	E	5	1	ME	A	6	M	
Contrôler le serrage des boulons.		C	E	3	1	ME	A	6	M	

Cardan de transmission										
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U	
Contrôler le serrage des boulons.		C	E	3	1	ME	A	3	M	
Evaluer le jeu dans les croisillons et cannelures.		E	E	4	1	ME	A	3	M	
Graisser.		F	E	4	1	GR	A	3	M	

Accouplement magnétique										
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U	
Contrôler l'alignement ( les aimants ne doivent pas se toucher)		C	E	15	1	ME	A	3	M	

Accouplement petit										
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U	
Evaluer le jeu sans démontage.		E	E	6	1	ME	A	6	M	
Contrôler le serrage des boulons.		C	E	2	1	ME	A	6	M	

Accouplement rigide										
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U	
Contrôler le serrage des boulons.		C	E	5	1	ME	A	6	M	


Frein électromagnétique à courant direct										
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U	
Contrôler l'usure des garnitures.		C	E	10	1	ME	A	6	M	
Mesurer et régler l'entrefer.		V	E	15	1	ME	A	6	M	
Contrôler l'absence de projections d'huile sur le frein		C		2	1	ME	M	1	M	

Frein electromagnétique à courant d'opposition										
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U	
Contrôler l'usure des garnitures.		C	E	10	1	ME	A	6	M	
Contrôler l'absence de projections d'huile/graisse sur frein		C		2	1	ME	M	1	M	

Frein à mâchoires										
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U	
Contrôler l'absence de corps gras au tambour.		C	E	2	1	ME	A	6	M	
Contrôler pivotement articulations et absence jeu excessif.		C	E	3	1	ME	A	6	M	
Mesurer l'épaisseur des garnitures.	2mm Mini	V	E	3	1	ME	A	6	M	
Contrôler l'état de la bobine, le serrage des connexions.		C	E	5	1	EL	A	6	M	

Frein à disque										
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U	
Contrôler l'absence de corps gras sur disque.		C	E	2	1	ME	A	6	M	
Mesurer l'épaisseur des garnitures.	2mm Mini	V	E	3	1	ME	A	6	M	
Evaluer l'état du disque.		E	E	2	1	ME	A	6	M	
Evaluer état tiges-guides du flasque freinage, des ressorts.		E	E	3	1	ME	A	6	M	
Contrôler état de la bobine, serrage des connexions.		C	E	5	1	EL	A	6	M	

Chaine de transmission et tourteaux										
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U	
Evaluer l'usure de la chaine.		E	E	15	1	ME	A	6	M	
Contrôler la tension de chaine.		C	E	3	1	ME	A	6	M	
Evaluer l'état des pignons.		E	E	3	1	ME	A	6	M	
Graisser la chaine.		F	E	5	1	GR	A	6	M	
Contrôler visuellement la tension de chaine et le bon fonctionnement de la transmission		C		2	1	ME	M	1	M	
<b>Note</b> : Voir la règle de l'art. L'usure de la chaine peut être déterminée à l'aide d'une règle de mesure fournie par le fabricant de chaines, lorsque les pas sont peu importants. Sinon, on peut fixer une distance limite pour un nombre de pas déterminé.  Par ailleurs, il est utile de réaliser des gabarits de contrôle des dentures de tourteaux.										

Courroie trapézoïdale 1 brin et poulies (hors paliers)									
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Contrôler visuellement en marche l'état de la courroie		C		1	1	FA	M	1	S
Contrôler visuellement en marche l'état des poulies (corps étrangers...)		C		1	1	FA	M	1	S
Evaluer l'usure de courroie.		E	E	6	1	ME	A	3	M
Contrôler la tension de courroie et régler si nécessaire.		C	E	4	1	ME	A	3	M
Evaluer l'usure des gorges de poulies.		E	E	4	1	ME	A	3	M
Contrôler l'état des poulies ( liaisons avec arbres ).		C	E	3	1	ME	A	3	M
<p><b>Note</b> : Voir la règle de l'art. La solution moderne consiste à utiliser un tensiomètre fourni par tous les fabricants de courroies. De même pour des gabarits de contrôle des gorges de poulies.</p> 									

Courroie crantée et poulies (hors paliers)									
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Evaluer l'état de la courroie.		E	E	3	1	ME	A	3	M
Contrôler et régler la tension si nécessaire.	Nulle	F	E	4	1	ME	A	3	M
Evaluer l'usure des gorges de poulies.		E	E	4	1	ME	A	3	M
Contrôler l'état des poulies (liaisons avec arbres).		C	E	3	1	ME	A	3	M
Contrôler visuellement en marche l'état des poulies (corps étrangers...)		C		1	1	FA	M	1	S
Contrôler visuellement en marche la tension et l'état de la courroie	Tens.nulle	C		1	1	FA	M	1	S
<b>Note</b> : Idem à la remarque précédente.									

Crémaillère									
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Evaluer l'état de la crémaillère.		E	E	0	1	ME	A	1	A
Evaluer l'état du pignon.		E	E	0	1	ME	A	1	A
Contrôler fixations et resserrer si nécessaire.		C	E	0	1	ME	A	1	A
Evaluer le jeu dans le pignon.		E	E	0	1	ME	A	1	A
Graisser légèrement.		F	E	0	1	ME	A	1	A

Coupleur à écope										
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U	
Noter la température de l'huile		V		1	1	ME	M	1	M	
Contrôler l'étanchéité du corps		C		3	1	ME	M	1	M	
Contrôler le lignage.		C	E	60	1	ME	A	1	A	
Contrôler l'étanchéité et l'état des flexibles hydrauliques		C		3	1	ME	M	1	M	
Contrôler la température des flexibles hydrauliques		C		1	1	ME	M	1	M	
Contrôler le niveau (point zéro).Faire un ajout si nécessaire		C	E	10	1	GR	AP	1	M	

Coupleur de démarrage										
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U	
Contrôler le niveau; faire l'appoint si nécessaire.		F	E	20	1	GR	A	6	M	
Contrôler l'étanchéité du corps.		C		3	1	ME	M	1	M	

Goupille de cisaillement										
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U	
Contrôler la goupille : état, position, origine.		C	E	5	1	ME	A	6	M	

Limiteur de couple mécanique										
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U	
Evaluer l'usure des garnitures.		E	E	30	1	ME	A	1	A	
Contrôler le réglage.		C	E	10	1	ME	A	6	M	

Limiteur de couple hydraulique										
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U	
Contrôler le niveau d'huile ( voit M.O. et valeur ). Faire l'appoint si nécessaire.		C	E	5	1	ME	AP	6	M	

Note : le réglage du limiteur est donné par la position du trou de remplissage. Si la valeur de cette position est perdue, on peut procéder comme suit. Faites un repère sur le manchon amont et sur le manchon aval, puis faites une mesure de vitesse au stroboscope. La valeur de glissement doit être de 2 à 3 %. Sinon il faut ajouter ou enlever de l'huile. Bien sûr quand le bon volume d'huile est trouvé il faut noter la position du trou d'entrée d'huile sur la gamme.

Tendeur de chaîne										
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U	
Contrôler la fixation et le bon fonctionnement.		C	E	5	1	ME	A	6	M	

Engrenage										
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U	
Graisser l'engrenage.		F	E	5	1	GR	A	3	M	
Evaluer l'état et la fixation des pignons.		E	E	8	1	ME	A	6	M	

Réducteur critique à bain d'huile										
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U	
Contrôler le serrage des fixations, resserrer si nécessaire.		C		5	1	ME	M	2	A	
Prise d'échantillon d'huile		F		20	1	VS	M	6	M	
Réaliser une analyse vibratoire, avec le moteur : 9 points		V		60	1	VS	M	6	M	
Contrôler le niveau d'huile, faire un ajout si nécessaire		C		5	1	GR	M	1	S	
Vérifier en marche si vibrations ou bruits anormaux.		C		1	1	GR	M	1	M	
Contrôler l'état du reniflard.		C		1	1	GR	M	1	S	
<b>Note</b> : l'analyse d'huile est la solution la plus efficace pour adapter le moment de la vidange d'huile à la dégradation de celle-ci. Si on ne fait pas d'analyse d'huile, il faut prévoir des vidanges : 1 fois/an pour les huiles classiques, 1 fois/3 ans pour les huiles de synthèse.										

Réducteur à circulation d'huile										
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U	
Contrôler l'étanchéité du carter		C		2	1	GR	M	1	S	
Réaliser une analyse vibratoire, avec le moteur : 9 points		V		60	1	VS	M	6	M	
<b>Lubrification du réducteur</b>										
Contrôler le niveau d'huile		C		1	1	GR	M	1	S	
Démontage et nettoyage du filtre		F		30	1	GR	M	3	M	
Contrôler le Delta P du filtre et agir si nécessaire		C		1	1	GR	M	1	S	
Contrôler l'étanchéité de la pompe		C		1	1	GR	M	1	S	
Prise d'échantillon d'huile pour analyse		F		20	1	VS	M	6	M	
Contrôler la température de sortie si elle n'est pas suivie par le superviseur		V		1	1	GR	M	1	M	
Contrôler le débit s'il n'est pas suivi par le superviseur		V		1	1	GR	M	1	M	
<b>Réfrigérant réducteur</b>										
Contrôler débit eau		C		1	1	GR	M	1	S	
Contrôler différence de T° entrée/sortie		C		1	1	GR	M	1	S	



**Remarque :** très souvent les réducteurs de moyenne importance ne permettent pas de contrôler le niveau d'huile. Par ailleurs l'analyse d'huile nécessite du temps et de l'argent, ce qui ne se justifie généralement pas dans le cas de réducteurs de moyenne importance.

De ce fait on ne contrôle pas le niveau d'une part, et par sécurité des vidanges sont prévues à périodicité de 3 (voire 4 ans). Si cependant on estime qu'il y a un risque on peut rajouter de l'huile jusqu'au trop plein 1 fois/6 mois.

#### Réducteur de moyenne importance

Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Vérifier en marche si vibrations ou bruits anormaux		C		1	1	GR	M	1	M
Contrôler le serrage des fixations, resserrer si nécessaire		C		3	1	ME	M	6	M
Vidanger et remplacer l'huile		C	E	60	1	GR	A	3	A

#### Réducteur vertical

Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Vidange d'huile.		F	E	0	1	GR	A	1	A
Contrôler les fixations, resserrer si nécessaire		C		4	1	ME	M	3	M
Vérifier en fonctionnement si vibrations ou bruits anormaux		C		1	1	FA	M	1	S
Prélèvement d'huile pour analyse		F		10	1	VS	M	6	M
Contrôle de niveau, faire un ajout si nécessaire		C	E	5	1	GR	AP	1	M
Graisser les roulements		F		6	1	GR	M	2	M
Contrôler l'état du reniflard		C		1	1	ME	M	3	M

#### Motoréducteur

Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Vidanger et remplacer l'huile		C	E	45	1	GR	A	3	A
Contrôler le serrage du boulon de fixation du bras de réaction		C		1	1	ME	M	6	M
Contrôler l'état du reniflard.		C	E	1	1	GR	M	1	S
Vérifier en fonctionnement si vibrations ou bruits anormaux		C		1	1	FA	M	1	S

#### Note pour l'inspection des réducteurs et réservoirs :

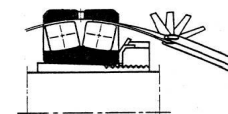
- Il est important de prendre note des modifications du lubrifiant : odeur, couleur.
- Si le réservoir est de faible dimension et qu'une fuite est détectée, vérifiez immédiatement le niveau car la fuite peut vider rapidement le réservoir.
- Maintenez les niveaux corrects. Le manque d'huile dégrade rapidement les équipements.
- Recherchez la raison d'une augmentation de niveau; de l'eau peut entrer dans le système. Un simple test est de verser du lubrifiant sur un tissu ou un buvard. L'huile sera absorbée par le tissu ou le papier mais l'eau perlera en surface. On peut éviter de remplacer l'huile en vidangeant partiellement car la plus grande quantité d'eau se trouve au fond du réservoir.

## Roulements

2 Paliers avec roulements, graissage, brouillard d'huile, accès direct en fonctionnement									
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Contrôler la température et l'absence de bruits anormaux		E		1	1	GR	M	2	S
Mesurer le niveau de bruit des roulements, avec appareil de mesure ondes de chocs, ou niveau global de vibrations, ou ultrasons	Maxi 65 db	V		2	1	ME	M	3	M
Graisser		F		6	1	GR	M	2	M
Vérifier les points de graissage (si grais. central.) ( ou )		C		6	1	GR	M	2	M
Remplacer les graisseurs automatiques ( ou )		F		8	1	GR	M		
Voir le niveau des graisseurs programmés. Remplacer si nécessaire ( ou )		C		4	1	GR	M	1	M
<b>Note</b> : le niveau de bruit relevé est la valeur la plus haute; en effet dans tous les cas ce seront les deux roulements qui seront remplacés ensemble. La mesure de bruit peut être faite avec un collecteur de données (vibrations) ou un appareil SPM, SKF, SDT, etc...									

2 Paliers avec roulements, graissage, brouillard d'huile, accès indirect en fonctionnement									
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Mesurer le niveau de bruit des roulements, avec appareil de mesure ondes de chocs, ou niveau global de vibrations, ou ultrasons	Maxi 65 db	V		2	1	ME	M	3	M
Graisser		F	E	6	1	GR	A	2	M
Vérifier les points de graissage (si grais.central.) ( ou )		C	E	6	1	GR	A	2	M
Remplacer les graisseurs automatiques ( ou )		F	E	8	1	GR	A		
Voir les niveaux des graisseurs programmés. Remplacer si nécessaire ( ou )		C	E	6	1	GR	A	1	M
<b>Note</b> : le niveau de bruit relevé est la valeur la plus haute; en effet dans tous les cas ce seront les deux roulements qui seront remplacés ensemble. La mesure de bruit peut être faite avec un collecteur de données (vibrations) ou un appareil SPM, SKF, SDT, etc...									

2 Paliers avec roulements, graissage, brouillard d'huile, aucun accès									
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Démonter partiellement. Mesurer le jeu des 2 roulements		E	E		1	ME	A	1	A
Graisser		F	E	6	1	GR	A	2	M
Vérifier les points de graissage (si grais.central.) ( ou )		C	E	6	1	GR	A	2	M
Remplacer les graisseurs automatiques ( ou )		F	E	8	1	GR	A		
Voir les niveaux des graisseurs programmés. Remplacer si nécessaire ( ou )		C	E	6	1	GR	A	1	M
<p>Sur la gamme il est nécessaire d'indiquer la valeur de jeu de référence.</p> <p>Pour mesurer le jeu, 2 méthodes sont possibles</p> <p><u>1ère méthode</u> : on mesure avec une jauge</p> <p>1. Si les roulements tournent lentement on peut passer à des périodicités de 2 ans.</p> <p>2. Les temps nécessaires pour la mesure sont très variables, souvent de l'ordre de 60 min.</p> <p><u>2ème méthode</u> : on utilise la pince à talons pour bouger le roulement et un comparateur</p>									



2 Paliers avec roulements, bain d'huile, accès direct en fonctionnement									
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Contrôler la température et l'absence de bruits anormaux		E		1	1	GR	M	2	S
Mesurer le niveau de bruit des roulements, avec appareil de mesure ondes de chocs, ou niveau global de vibrations, ou ultrasons	Maxi 65 db	V		2	1	ME	M	3	M
Contrôler le niveau d'huile, faire un ajout si nécessaire		C	E	5	1	GR	AP	1	M
Vidange d'huile.		F	E	0	1	GR	A	1	A
<p><b>Note</b> : l'analyse d'huile est la solution la plus efficace pour adapter le moment de la vidange d'huile à la dégradation de celle-ci.</p> <p>Si on ne fait pas d'analyse d'huile, il faut prévoir des vidanges : 1 fois/an pour les huiles classiques, 1 fois/3 ans pour les huiles de synthèse.</p> <p>Note : le niveau de bruit relevé est la valeur la plus haute; en effet dans tous les cas ce seront les deux roulements qui seront remplacés ensemble.</p> <p>La mesure de bruit peut être faite avec un collecteur de données (vibrations) ou un appareil SPM, SKF, SDT, etc...</p>									

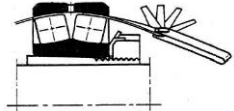
2 Paliers avec roulements, bain d'huile, accès indirect en fonctionnement									
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Mesurer le niveau de bruit des roulements, avec appareil de mesure ondes de chocs, ou niveau global de vibrations, ou ultrasons	Maxi 65 db	V		2	1	ME	M	3	M
Contrôler le niveau d'huile. Faire un ajout si nécessaire		C	E	5	1	GR	A	1	M
Vidange d'huile		F	E	0	1	GR	A	1	A
<p><b>Note</b> : l'analyse d'huile est la solution la plus efficace pour adapter le moment de la vidange d'huile à la dégradation de celle-ci.</p> <p>Si on ne fait pas d'analyse d'huile, il faut prévoir des vidanges : 1 fois/an pour les huiles classiques, 1 fois/3 ans pour les huiles de synthèse.</p> <p>Note : le niveau de bruit relevé est la valeur la plus haute; en effet dans tous les cas ce seront les deux roulements qui seront remplacés ensemble.</p> <p>La mesure de bruit peut être faite avec un collecteur de données (vibrations) ou un appareil SPM, SKF, SDT, etc...</p>									

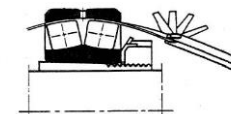
2 Paliers avec roulements, bain d'huile, aucun accès										
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U	
Démonter partiellement. Mesurer le jeu des 2 roulements		E	E		1	ME	A	1	A	
Contrôler le niveau d'huile, faire un ajout si nécessaire		C	E	5	1	GR	A	1	M	
Vidange d'huile		F	E	0	1	GR	A	1	A	
<p><b>Note</b> : l'analyse d'huile est la solution la plus efficace pour adapter le moment de la vidange d'huile à la dégradation de celle-ci.</p> <p>Si on ne fait pas d'analyse d'huile, il faut prévoir des vidanges : 1 fois/an pour les huiles classiques, 1 fois/3 ans pour les huiles de synthèse.</p> <p>Note : le niveau de bruit relevé est la valeur la plus haute; en effet dans tous les cas ce seront les deux roulements qui seront remplacés ensemble.</p> <p>La mesure de bruit peut être faite avec un collecteur de données (vibrations) ou un appareil SPM, SKF, SDT, etc...</p>										

2 Paliers avec roulements, circulation d'huile, accès direct en fonctionnement										
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U	
Contrôler la T°C et l'absence de bruits anormaux		E		1	1	GR	M	2	S	
Mesurer le niveau de bruit des roulements, avec appareil de mesure ondes de chocs, ou niveau global de vibrations, ou ultrasons	Maxi 65 db	V		2	1	ME	M	3	M	
Contrôler les buses de circulation d'huile		C	E		2	ME	A	1	A	
<b>Note</b> : le niveau de bruit relevé est la valeur la plus haute; en effet dans tous les cas ce seront les deux roulements qui seront remplacés ensemble. La mesure de bruit peut être faite avec un collecteur de données (vibrations) ou un appareil SPM, SKF, SDT, etc...										

2 Paliers avec roulements, circulation d'huile, accès indirect en fonctionnement										
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U	
Mesurer le niveau de bruit des roulements, avec appareil de mesure ondes de chocs, ou niveau global de vibrations, ou ultrasons	Maxi 65 db	V		2	1	ME	M	3	M	
Contrôler les buses de circulation d'huile		C	E		2	ME	A	1	A	
<b>Note</b> : le niveau de bruit relevé est la valeur la plus haute; en effet dans tous les cas ce seront les deux roulements qui seront remplacés ensemble. La mesure de bruit peut être faite avec un collecteur de données (vibrations) ou un appareil SPM, SKF, SDT, etc...										

2 Paliers avec roulements, circulation d'huile, sans accès en fonctionnement										
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U	
Démonter partiellement. Mesurer le jeu des 2 roulements		E	E		1	ME	A	1	A	
Contrôler les buses de circulation d'huile		C	E		2	ME	A	1	A	
<p>Sur la gamme il est nécessaire d'indiquer la valeur de jeu de référence.</p> <p>Pour mesurer le jeu, 2 méthodes sont possibles</p> <p><u>1ère méthode</u> : on mesure avec une jauge</p> <p>1. Si les roulements tournent lentement on peut passer à des périodicités de 2 ans.</p> <p>2. Les temps nécessaires pour la mesure sont très variables, souvent de l'ordre de 60 min.</p> <p><u>2ème méthode</u> : on utilise la pince à talons pour bouger le roulement et un comparateur</p>										





## Pompes

Pompe centrifuge avec garniture à tresse									
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Contrôler les fixations		C		3	1	ME	M	3	M
Contrôler la fuite normale au presse-étoupe. Resserrer si nécessaire	15/30 g/min	C		4	1	ME	M	1	M
Contrôler l'étanchéité du corps et des brides		C		2	1	ME	M	1	M
Graisser les roulements (ou)		F		6	1	GR	M	2	M
Remplacer les graisseurs automatiques (ou)		F		8	1	GR	M	0	h
Contrôler l'absence de bruit,vibrations en marche		C		1	1	GR	M	1	S
Contrôler débit et pression		C		2	1	GR	M	1	S
Mesurer le niveau de bruit des roulements	Maxi 65 db	V		2	1	ME	M	3	M
<b>Note</b> : le niveau de bruit relevé est la valeur la plus haute; en effet dans tous les cas ce seront les deux roulements qui seront remplacés ensemble. La mesure de bruit peut être faite avec un collecteur de données (vibrations) ou un appareil SPM, SKF, SDT, etc...									

Pompe centrifuge avec garniture mécanique simple effet									
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Contrôler les fixations		C		3	1	ME	M	3	M
Contrôler l'étanchéité du corps et des brides		C		2	1	ME	M	1	M
Contrôler l'absence de fuite due à la garniture		C		2	1	ME	M	1	M
Contrôler l'absence de bruits,vibrations en marche		C		1	1	FA	M	1	S
Contrôler débit et pression		C		2	1	FA	M	1	S
Graisser les roulements (ou)		F		6	1	GR	M	2	M
Remplacer les graisseurs automatiques (ou)		F		8	1	GR	M		
Mesurer le niveau de bruit des roulements	Maxi 65 db	V		2	1	ME	M	3	M
<b>Note</b> : le niveau de bruit relevé est la valeur la plus haute; en effet dans tous les cas ce seront les deux roulements qui seront remplacés ensemble. La mesure de bruit peut être faite avec un collecteur de données (vibrations) ou un appareil SPM, SKF, SDT, etc...									

Pompe centrifuge avec garniture mécanique double effet									
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Contrôler les fixations		C		3	1	ME	M	3	M
Contrôler l'étanchéité du corps et des brides		C		2	1	ME	M	1	M
Contrôler l'absence de fuite due à la garniture		C		2	1	ME	M	1	M
Contrôler le Delta P entre fluide de barrage et refoulement	1,5 bar	C		2	1	ME	M	1	M
Noter valeur température fluide de barrage	< 65°C	V		2	1	ME	M	1	M
Actionner purge d'air		F		4	1	ME	M	3	M
Contrôler l'absence de bruit,vibrations en marche		C		1	1	FA	M	1	S
Contrôler débit et pression		C		2	1	FA	M	1	S
Graisser les roulements (ou)		F		6	1	GR	M	2	M
Remplacer les graisseurs automatiques (ou)		F		8	1	GR	M		
Mesurer le niveau de bruit des roulements	Maxi 65 db	V		2	1	ME	M	3	M
<b>Note</b> : le niveau de bruit relevé est la valeur la plus haute; en effet dans tous les cas ce seront les deux roulements qui seront remplacés ensemble. La mesure de bruit peut être faite avec un collecteur de données (vibrations) ou un appareil SPM, SKF, SDT, etc...									

Pompe hydraulique à palettes									
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Contrôler les fixations		C		3	1	ME	M	3	M
Contrôler l'étanchéité du corps et des brides		C		2	1	ME	M	1	M
Contrôler l'absence de fuite due à la garniture		C		1	1	ME	M	1	M
Contrôler l'absence de bruit et vibrations en marche		C		1	1	FA	M	1	S
Contrôler débit et pression de refoulement		C		2	1	FA	M	1	S
Graisser les roulements (ou)		F		6	1	GR	M	2	M
Remplacer les graisseurs automatiques (ou)		F		8	1	GR	M		
Mesurer le niveau de bruit des roulements	Maxi 65 db	V		2	1	ME	M	3	M
<b>Note</b> : le niveau de bruit relevé est la valeur la plus haute; en effet dans tous les cas ce seront les deux roulements qui seront remplacés ensemble. La mesure de bruit peut être faite avec un collecteur de données (vibrations) ou un appareil SPM, SKF, SDT, etc...									

Pompe hydraulique à pistons									
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Contrôler position plateau/consigne		C	E	30	1	EL	A	1	A
Contrôler les fixations		C		3	1	ME	M	3	M
Contrôler l'étanchéité du corps et des brides		C		3	1	ME	M	1	M
Contrôler l'absence de fuite due à la garniture		C		2	1	ME	M	1	M
Contrôler l'absence de bruit et vibrations en marche		C		1	1	FA	M	1	S
Contrôler débit et pression de refoulement		C		2	1	FA	M	1	S
Graisser les roulements (ou)		F		6	1	GR	M	2	M
Remplacer les graisseurs automatiques (ou)		F		8	1	GR	M	0	
Mesurer le niveau de bruit des roulements	Maxi 65 db	V		2	1	ME	M	3	M
<b>Note</b> : le niveau de bruit relevé est la valeur la plus haute; en effet dans tous les cas ce seront les deux roulements qui seront remplacés ensemble. La mesure de bruit peut être faite avec un collecteur de données (vibrations) ou un appareil SPM, SKF, SDT, etc...									

Pompe type "Fuller"									
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
<b>Moteur</b>									
Graisser les roulements		F		5	1	GR	M	3	M
<b>Accouplement GV</b>									
Démonter carter de protection et évaluer l'usure des tampons.		E	E	15	1	ME	A	2	A
Contrôler le serrage des boulons.		C	E	3	1	ME	A	6	M
<b>Roulements</b>									
Graisser les roulements		F		5	1	GR	M	3	M
Contrôler l'absence de bruits,vibrations en marche		C		1	1	ME	M	1	S
<b>Pression d'air</b>									
Relever la pression d'air [bar]	0,8<p<1,8	V		1	1	ME	M	1	M
<b>Structure générale</b>									
Contrôler la position Centrale Vis		C		1	1	ME	M	1	M
Contrôler le clapet anti-retour (vérifier qu'il flotte librement)		C		1	1	ME	M	1	M
Estimer l'état du soufflet compensateur métallique		C		1	1	ME	M	1	M
Contrôler l'étanchéité des tresses au passage d'arbre		C		1	1	ME	M	1	M
<b>Graissage centralisé</b>									
Contrôler le niveau de graisse du graissage centralisé		F		5	1	GR	M	0,5	S
Contrôler l'état des durites de graissage		F		5	1	GR	M	1	M

## Soupapes, Tuyauteries, Filtres

Bâche à huile hydraulique									
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Contrôler la température		C		2	1	GR	M	1	M
Remplacer la cartouche du reniflard		F		10	1	GR	M	1	A
Faire un prélèvement d'huile pour analyse		F		5	1	GR	M	6	M
Vidange périodique en l'absence d'analyse.		F	H		1	GR	A	2	A
Noter la valeur du niveau, si lecteur existant (ou)		V		2	1	GR	M	1	M
Evaluer la valeur du niveau (ou)		E		2	1	GR	M	1	M
<b>Note</b> : l'analyse d'huile est la solution la plus efficace pour adapter le moment de la vidange d'huile à la dégradation de celle-ci. Si on ne fait pas d'analyse d'huile, il faut prévoir des vidanges : 1 fois/2 ans, de tout le circuit et pas seulement du réservoir.									

Ballon d'air fixe									
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Contrôler le fonctionnement du manomètre		C		3	1	RE	M	3	M
Contrôler le fonctionnement du purgeur automatique (électrov.autom.)		C		5	1	RE	M	3	M
Réaliser la visite réglementaire.		F	E		1	AG	A	3	A
Dépose des soupapes.		F	E	60	2	ME	A	3	A
Tarage des soupapes.		F	E		1	SP	A	3	A
Préparer une réépreuve (nettoyage...).		F	E	30	2	ME	A	10	A
Réaliser une réépreuve.		F	E	0	1	AG	A	10	A
Préparer la visite réglementaire (nettoyage...).		F	E	30	2	ME	A	3	A

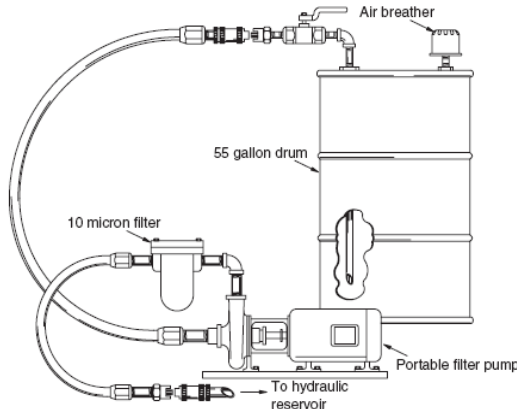
Ballon d'air mobile									
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Préparer la visite réglementaire (nettoyage...).		F	E	30	2	ME	A	3	A
Contrôler le fonctionnement du manomètre		C		3	1	RE	M	3	M
Contrôler le fonct. du purgeur autom.( électrov. temporisée)		C		5	1	RE	M	3	A
Réaliser la visite réglementaire.		F	E		1	AG	A	3	A
Dépose des soupapes.		F	E	60	2	ME	A	3	A
Tarage des soupapes.		F	E		1	SP	A	3	A
Préparer une réépreuve (nettoyage...).		F	E	30	2	ME	A	3	A
Réaliser une réépreuve.		F	E	0	1	AG	A	3	A



Filtration circuit hydraulique									
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Remplacement des cartouches de filtres sur circuit. Consignation H !		F	H		1	ME	A	6	M
Contrôler les indicateurs de colmatage		C			1	ME	M	1	M
Nettoyer les bouchons d'épuration magnétique. Consignation H !		F	H		1	ME	A	6	M

**Note :** Un bon fonctionnement de l'**hydraulique proportionnelle** nécessite une filtration de 3 à 10µ, ce qui est très très peu. Sinon les servo valves ou autres distributeurs proportionnels fonctionnent très mal.

Tous les 3 mois il faut faire des **recyclages** avec des appareils similaires à celui figurant ci-après. Ces recyclages doivent se faire par circuit quand les vérins sont petits et éloignés du Les fabricants de matériels hydrauliques fournissent ce genre d'appareils.



Filtre - Lubrificateur - Régulateur d'air comprimé										
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U	
Contrôler la pression au régulateur	bar	C		2	1	GR	M	1	S	
Purger le filtre		F		3	1	GR	M	1	M	
Nettoyer cuve et filtre.		F	E	10	1	GR	A	6	M	
Contrôler le débit d'huile au lubrificateur		C		1	1	GR	M	1	M	
Cont. le niveau d'huile. Faire l'appoint si néces.(march/arr.)		C		3	1	GR	M	1	M	

Accumulateur hydraulique à azote										
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U	
Contrôler la pression avec un vérificateur-gonfleur		C		15	1	ME	M	6	M	
Contrôle réglementaire du corps.		C	H	60	1	ME	A	3	A	

Soupape de sureté										
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U	
Contrôler l'état et le bon fonctionnement.		C	E	10	1	ME	A	1	A	
Contrôler le tarage.		C	E	90	2	ME	A	1	A	

Tuyauterie de graissage centralisé										
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U	
Contrôler les fixations, resserrer si nécessaire		C		0	1	GR	M	3	M	
Evaluer l'état de la tuyauterie		E		0	1	GR	M	3	M	
Contrôler l'absence de fuites raccords/brides.Ress. si néc.		C		0	1	GR	M	3	M	
Contrôler l'inversion des répartiteurs		C		0	1	GR	M	3	M	

Tuyauterie, fluide neutre										
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U	
Contrôler les fixations. Resserrer si nécessaire		C		0	1	GR	M	3	M	
Evaluer l'état de la tuyauterie		E		0	1	GR	M	3	M	
Contrôler l'absence de fuites raccords/brides.Ress. si néc.		C		0	1	GR	M	3	M	

Circuit d'air régulé										
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U	
Contrôler le fonctionnement du purgeur automatique		C		3	1	RE	M	1	M	
<b>Note</b> : il existe des appareils CND permettant de contrôler ce fonctionnement										

Circuit d'air industriel										
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U	
Contrôler le fonctionnement des purgeurs automatiques		C			1	RE	M	1	M	
Purger les chambres des transmetteurs des pts mes.débit		F			1	RE	M	1	M	

## Vérins

Vérin hydraulique simple effet									
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Faire movt.complet et contrôler l'étanchéité (joint,tuyaut.). Consignation partielle		C		3	2	ME	A	1	A
Evaluer l'état des tuyauteries de raccordement.		E	H	3	2	ME	A	1	A
Evaluer l'état de la fixation.		E	H	1	2	ME	A	1	A
Evaluer l'état de la chape.		E	H	1	2	ME	A	1	A
Evaluer l'état de la tige.		E	H	1	2	ME	A	1	A
Régler l'amortisseur si nécessaire.		F	H	5	2	ME	A	1	A
<b>Note</b> : une ou deux semaines avant le contrôle à l'arrêt, il est utile d'écouter le vérin en marche pour savoir si l'amortisseur doit être réglé.									

Vérin hydraulique simple effet critique									
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Faire movt.complet et contrôler l'étanchéité (joint,tuyaut.). Consignation partielle		C		3	2	ME	A	6	M
Evaluer l'état des tuyauteries de raccordement.		E	H	3	2	ME	A	6	M
Evaluer l'état de la fixation.		E	H	1	2	ME	A	6	M
Evaluer l'état de la chape.		E	H	1	2	ME	A	6	M
Evaluer l'état de la tige. Consignation H !		E	H	1	2	ME	A	6	M
Régler l'amortisseur si nécessaire. Consignation H !		F		5	2	ME	A	6	M
<b>Note</b> : une ou deux semaines avant le contrôle à l'arrêt, il est utile d'écouter le vérin en marche pour savoir si l'amortisseur doit être réglé.									

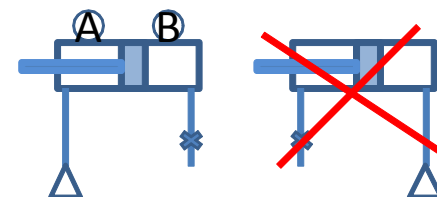
Vérin hydraulique double effet									
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Faire movt.complet et contrôler l'étanchéité (joint,tuyaut.). Consignation partielle		C		3	2	ME	A	1	A
Contrôler l'absence de fuite interne ( joint piston ). Consignation partielle		C		6	2	ME	A	1	A
Evaluer l'état des tuyauteries de .		E	H	3	2	ME	A	1	A
Evaluer l'état de la fixation.		E	H	1	2	ME	A	1	A
Evaluer l'état de la chape.		E	H	1	2	ME	A	1	A
Evaluer l'état de la tige.		E	H	1	2	ME	A	1	A
Régler l'amortisseur si nécessaire.		F	H	5	2	ME	A	1	A
Contrôler le système de pilotage		C		5	1	RE	M	6	M

**Note 1** : une ou deux semaines avant le contrôle à l'arrêt, il est utile d'écouter le vérin en marche pour savoir si l'amortisseur doit être réglé.

**Note 2** : Pour la contrôle de la fuite interne, 2 méthodes sont possibles.

1ère méthode : on mesure la vitesse de déplacement du vérin.

2ème méthode : c'est la méthode "Pascal". Sur le vérin représenté, en A la surface de vérin est la plus faible mais la pression est la plus forte; en B c'est l'inverse. On amène le piston en position médiane et on bloque la sortie B. S'il y a une fuite interne, cette fuite se fait de la haute pression (A) vers la basse pression (B) et en conséquence entraîne la sortie de tige vers la gauche. Il est conseillé de faire une marque au niveau de la chape, et d'attendre une heure pour observer le mouvement.



Vérin hydraulique double effet critique									
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Faire movt.complet et contrôler l'étanchéité (joint, tuyaut.) Consignation partielle		C		3	2	ME	A	6	M
Contrôler l'absence de fuite interne ( joint piston ). Consignation partielle		C		6	2	ME	A	6	M
Evaluer l'état des tuyauteries de raccordement.		E	H	3	2	ME	A	6	M
Evaluer l'état de la fixation.		E	H	1	2	ME	A	6	M
Evaluer l'état de la chape.		E	H	1	2	ME	A	6	M
Evaluer l'état de la tige.		E	H	1	2	ME	A	6	M
Régler l'amortisseur si nécessaire.		F	H	5	2	ME	A	6	M
Contrôler le système de pilotage		C		5	1	RE	M	3	M
<b>Note 1</b> : une ou deux semaines avant le contrôle à l'arrêt, il est utile d'écouter le vérin en marche pour savoir si l'amortisseur doit être réglé.									
<b>Note 2</b> : voir méthode "Pascal" expliquée ci-dessus									

Vérin pneumatique									
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Chronométriser le temps de déplacement	V	V	E	4	1	EM	AP	6	M
Contôler l'ensemble du mécanisme		C	E	3	1	EM	A	6	M
Contrôler le fonctionnement et l'état général des détecteurs		C	E	15	1	EM	AP	6	M
Contrôler l'état des régulateurs de débit (RDU) : voir mode opératoire		C	E	2	1	ME	AP	1	M
<b>Note</b> : la mesure du temps de déplacement a pour but de vérifier s'il n'y a pas de fuite interne. Une autre méthode consiste à plonger l'embout d'une tuyauterie dans un seau d'eau et à amener le piston de ce côté, puis d'observer s'il y a ou non des bulles d'air.									

Vérin électrique									
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Evaluer l'état des axes de fixation.		E	E	3	1	ME	A	1	A
Contrôler le serrage des fixations.		C	E	2	1	ME	A	1	A
Contrôler l'état du joint racleur.		C	E	2	1	ME	A	1	A
Contrôler l'absence de fuites de graisse		C		2	1	ME	M	3	M
Contrôler le réglage des fins de course incorporés (si exist.)		C		5	1	EL	M	6	M
Contrôler l'alignement de la partie entraînée.		C	E	5	1	ME	A	1	A

Vérin mécanique à vis									
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Contrôler le serrage des fixations.		C	E	2	1	ME	A	6	M
Nettoyer la vis de levage.		F	E	10	1	ME	A	3	M
Mesurer le jeu vis-écrou (doit être <50% profondeur filets).		V	E	5	1	ME	A	1	A
S'assurer que le vérin travaille dans l'axe (alignement).		C	E	3	1	ME	A	1	A

Vis de translation									
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Graisser.		F	E	5	1	ME	A	3	M
Evaluer l'usure des paliers. Mentionner les usures particulières.		E	E	10	1	ME	A	3	M
Evaluer l'état et jeu vis-écrou. Mentionner les usures particulières.		E	E	10	1	ME	A	3	M

## Matériels divers

Amortisseur à piston										
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U	
Evaluer l'état général.		E	E	3	1	ME	A	6	M	
Contrôler la fixation et le positionnement.		C	E	5	1	ME	A	6	M	
Evaluer l'efficacité		E		10	1	ME	M	3	M	

Chaine porte-cables ou flexibles										
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U	
Avec movts lents évaluer l'état des fixations&articulations		E		0	1	ME	M	1	A	
Evaluer l'état des fixations d'extr.&articulations(mvts lents)		E		0	1	ME	M	6	M	

Cable de levage										
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U	
Evaluer l'usure du cable.		E	E	0	1	ME	A	6	M	
Contrôler l'absence de fils cassés.		C	E	0	1	ME	A	6	M	

Chaine de levage de matériel										
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U	
Contrôler l'état des maillons : usure,criques,entailles,pliage.		C	E	0	1	ME	A	6	M	

Chaine de levage avec personnel										
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U	
Contrôler l'état des maillons : usure,criques,entailles,pliage.		C	E	0	1	ME	A	3	M	

Galet de translation										
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U	
Evaluer l'état du chemin de roulement.		E	E	8	1	ME	A	1	A	
Evaluer l'état du galet.		E	E	2	1	ME	A	1	A	
Contrôler fixations et resserrer si nécessaire.		C	E	3	1	ME	A	1	A	
Evaluer le jeu dans le galet.		E	E	4	1	ME	A	1	A	
Graisser.		F	E	3	1	GR	A	3	M	

Graissage centralisé									
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Contrôler le niveau et ré-alimenter si nécessaire		C		10	1	GR	M	1	S
Contrôler le fonctionnement de la pompe		C		3	1	GR	M	1	S
Nettoyer le filtre de départ		F	E	6	1	GR	A	3	M
Contrôler la position des tiges indicatrices des doseurs		C		10	1	GR	M	3	M

Pulvérisation d'huile									
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Contrôler le fonctionnement, débit d'huile & pression d'air		C		2	1	FA	M	1	S

Rail de roulement									
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Contrôler planéité et bon état du rail, à l'aide d'une règle. Consignation E !		C	E	0	2	ME	A	1	A
Contrôler les fixations		C		4	1	ME	M	3	M

Trémie									
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Contrôler et évaluer l'état de la trémie.		E	E	10	1	ME	A	6	M

Fixation élastique trémie									
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Contrôler l'état de la fixation.		C	E	3	1	ME	A	6	M

Volet à commande électrique									
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Contrôler le bon fonctionnement en faisant une ouverture / fermeture		C		5	1	ME	M	1	A
Vérifier le bon état des lamelles		C		1	1	ME	M	1	A
Contrôler la présence du moyen de manœuvre manuelle		C		3	1	ME	M	1	A

## Convoyeurs

Ensemble									
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Contrôler l'état et la propreté		C		2	1	FA	M	1	S
Contrôler la protection grillagée		C		6	1	ME	M	3	M
Arrêt d'urgence : voir Electricité									

Tambour moteur (moteur dans le tambour)									
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Vidanger et remplir d'huile. Consignation E !		F		15	1	GR	A	1	A
Démonter et remettre en état. Consignation E !		C	E	480	2	ME	A	2	A
Contrôler l'absence de fuite d'huile		C		1	1	ME	M	6	M
Evaluer l'usure du revêtement et contrôler l'état de surface. Consignation E !		E	E	8	1	ME	A	6	M
Contrôler visuellement l'état du revêtement ou état de surface		C		2	1	ME	M	1	M
Contrôler les fixations du tambour		C		1	1	ME	M	1	M

Tambour de tête ou de queue									
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Contrôler T°C et absence de bruits anormaux des paliers		C		1	1	FA	M	1	S
Graisser les paliers (ou)		F		6	1	GR	M	2	M
Remplacer les graisseurs automatiques (ou)		F		8	1	GR	M		
Evaluer l'état de surface.		C	E	6	1	ME	A	6	M
Mesurer le niveau de bruit des roulements, avec appareil de mesure ondes de chocs, ou niveau global de vibrations, ou ultrasons	Maxi 65 db	V		1	1	ME	M	3	M
Contrôler visuellement l'état du revêtement, la surface du tambour		C		2	1	ME	M	1	M

**Note** : le niveau de bruit relevé est la valeur la plus haute; en effet dans tous les cas ce seront les deux roulements qui seront remplacés ensemble.

Sur la gamme il est nécessaire d'indiquer la valeur de jeu de référence.

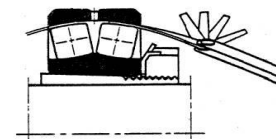
Si les roulements tournent lentement (moins de 200 rpm) pour mesurer le jeu, 2 méthodes sont possibles

1ère méthode : on mesure avec une jauge

1. On peut passer à des périodicités de 2 ans.

2. Les temps nécessaires pour la mesure sont très variables, souvent de l'ordre de 60 min.

2ème méthode : on utilise la pince à talons pour bouger le roulement et un comparateur





Rouleaux sans paliers										
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U	
Contrôler et signaler les rouleaux qui ne tournent pas librement		C			1	FA	M	1	S	
Contrôler l'état d'usure des rouleaux.		C	E		1	ME	A	3	M	

Bavette										
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U	
Evaluer l'état d'usure.		E	E	3	1	ME	A	3	M	
Contrôler l'efficacité de la bavette		C		1	1	FA	M	1	S	

Racleur										
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U	
Evaluer l'état d'usure.		E	E	3	1	ME	A	1	M	
Contrôler l'efficacité du racleur		C		1	1	FA	M	1	S	

Station autocentreuse										
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U	
Contrôle du pivotement.		C	E	3	1	ME	A	3	M	
Contrôle des diabolos latéraux.		C	E	3	1	ME	A	3	M	
Contrôler visuellement le centrage de bande		C		1	1	FA	M	1	S	
Evaluer l'état d'usure des rouleaux.		E	E	3	1	ME	A	3	M	
Contrôler visuellement les rouleaux qui ne tournent pas ou manquent		C		1	1	FA	M	1	S	

Dispositif de tension										
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U	
Contrôler le système de tension.		C	E	5	1	ME	A	3	M	
Contrôler visuellement la tension de bande		C		1	1	FA	M	1	S	

Bande transporteuse										
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U	
Evaluer l'usure face porteuse, et roulante + talon.		E	E	5	1	ME	A	3	M	
Contrôler l'épaisseur.		C	E	5	1	ME	A	3	M	
Contrôler l'état de la jonction.		C	E	3	1	ME	A	3	M	
Contrôler le centrage		C		1	1	FA	M	1	S	
Contrôler visuellement l'état général		C		1	1	FA	M	1	S	

Transporteur avec tambours de contrainte : exemple									
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
<b>Tambour de tête</b>									
Contrôler T°C et absence de bruits anormaux des paliers		C		1	1	GR	M	1	S
Graisser les paliers		F		6	1	GR	M	2	M
Roulements : contrôler l'état et mesurer le jeu	max: 0,08 mm	V	E	60	1	ME	A	2	A
Evaluer visuellement l'état du revêtement, la surface du tambour		E		2	1	ME	A	3	M
<b>Tambour de contrainte de tête</b>									
Contrôler T°C et absence de bruits anormaux des paliers		C		1	1	GR	M	1	S
Graisser les paliers		F		6	1	GR	M	2	M
Roulements : contrôler l'état et mesurer le jeu	max: 0,05 mm	V	E	60	1	ME	A	2	A
Evaluer visuellement l'état du revêtement, la surface du tambour		E	E	2	1	ME	A	3	M
<b>Tambour de queue</b>									
Contrôler T°C et absence de bruits anormaux des paliers		C		1	1	GR	M	1	S
Graisser les paliers		F		6	1	GR	M	2	M
Roulements : contrôler l'état et mesurer le jeu	max: 0,07 mm	V	E	60	1	ME	A	2	A
Evaluer visuellement l'état du revêtement, la surface du tambour		E	E	2	1	ME	A	3	M
<b>Tambour de contrainte de queue</b>									
Contrôler T°C et absence de bruits anormaux des paliers		C		1	1	GR	M	1	S
Graisser les paliers		F		6	1	GR	M	2	M
Roulements : contrôler l'état et mesurer le jeu	max: 0,05 mm	V	E	60	1	ME	A	2	A
Evaluer visuellement l'état du revêtement, la surface du tambour		E	E	2	1	ME	A	3	M
<b>Rouleaux</b>									
Contrôler et remplacer les rouleaux qui ne tournent pas librement		C	E	60	2	ME	A	3	M
<b>Bande transporteuse</b>									
Evaluer l'usure face porteuse, et roulante		E	E	5	1	ME	A	3	M
Contrôler l'épaisseur.		C	E	5	1	ME	A	3	M
Evaluer l'état de la jonction.		E	E	3	1	ME	A	3	M
Contrôler la tension de la bande		C		1	1	FA	M	1	S
Contrôler le centrage de la bande		C		1	1	FA	M	1	S
Evaluer visuellement l'état général		E		1	1	FA	M	1	S
Contrôler le système de tension.		C	E	5	1	ME	A	3	M

<b>Accouplement PV</b>									
Démonter carter de protection et évaluer l'usure des tampons.		E	E	15	1	ME	A	2	A
Contrôler le serrage des boulons.		C	E	3	1	ME	A	2	A
<b>Motoréducteur</b>									
Vérifier en marche si vibrations ou bruits anormaux		C		1	1	GR	M	1	S
Réaliser une mesure du bruit		V		3	1	ME	M	6	M
Contrôler le serrage des fixations, resserrer si nécessaire		C		3	1	ME	M	6	M
Vidanger et remplacer l'huile		C	E	45	1	GR	A	3	A
Contrôler l'état du reniflard.		C	E	1	1	GR	M	1	S
<b>Note</b> : ici, plusieurs contrôles se font en marche car la vitesse est faible.									

Elevateur à chaîne et godets									
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
<b>Chaîne à godets</b>									
Mesurer l'allongement de chaîne sur une longueur de 20 pas, 1er secteur.	Max :	V	E	13	2	ME	A	1	A
Mesurer le diamètre d'une douille de la chaîne, 1er secteur.	Min :	V	E	1	2	ME	A	1	A
Mesurer l'allongement de chaîne sur une longueur de 20 pas, 1er secteur.	Max :	V	E	13	2	ME	A	1	A
Mesurer le diamètre d'une douille de la chaîne 2ème secteur	Min :	V	E	1	2	ME	A	1	A
Mesurer l'allongement de chaîne sur une longueur de 20 pas, 1er secteur.	Max :	V	E	13	2	ME	A	1	A
Mesurer le diamètre d'une douille de la chaîne, 3ème secteur.	Min :	V	E	1	2	ME	A	1	A
Evaluer l'état général des maillons (alignement des poulies)		E	E	30	2	ME	A	1	A
Evaluer l'état et les fixations des godets		E	E	30	2	ME	A	1	A
Evaluer l'état de la bavette de chute à la tête		E	E	5	2	ME	A	1	A
Mesurer l'épaisseur de la bande de roulement de la poulie de tête.	Min :	V	E	15	2	ME	A	1	A
Contrôler la fixation sur l'arbre de la poulie de tête.		C	E	2	2	ME	A	1	A
Graisser les roulements de la poulie de tête		F	E	10	1	GR	A	2	M
Mesurer le jeu des roulements de la poulie de tête	Max :	V	E	180	2	ME	A	2	A
Mesurer l'épaisseur des bandes de roulement des secteurs de la poulie de pied.	Min :	V	E	5	2	ME	A	6	M
Contrôler la fixation sur l'arbre de la poulie de pied.		C	E	2	2	ME	A	6	M
Mesurer le jeu entre palier et douille de l'axe de la poulie de pied.	Max :	V	E	2	2	ME	A	6	M
Contrôler l'étanchéité des passages d'arbres de la poulie de pied		V	E	1	2	ME	A	6	M
Evaluer l'état des glissières du contre-poids.		E	E	2	2	ME	A	6	M

<b>Réducteur</b>									
Contrôler le serrage des fixations, resserrer si nécessaire.		C		5	1	ME	M	2	A
Réaliser une analyse vibratoire		V		45	1	VS	M	6	M
Vidanger et remplacer l'huile		C	E	45	1	GR	A	5	A
Vérifier en marche si vibrations ou bruits anormaux.		C	E	1	1	GR	M	1	M
Contrôler l'état du reniflard.		C	E	1	1	GR	M	1	S
<b>Accouplement GV</b>									
Démonter le carter de protection et évaluer l'usure des tampons.		E	E	15	1	ME	A	6	M
Contrôler le serrage des boulons.		C	E	3	1	ME	A	6	M
<b>Entrainement par vireur</b>									
Vidanger et remplacer l'huile		C		45	1	GR	A	5	A
Démonter le carter de protection et évaluer l'usure des tampons.		E	E	15	1	ME	A	6	M
Contrôler le serrage des boulons.		C	E	3	1	ME	A	6	M
Vérification du bon fonctionnement de l'anti-retour.		C	E	1	1	ME	A	2	A
Contrôler le niveau d'huile de l'anti-retour et faire appoint si nécessaire		C	E	1	1	GR	A	2	A
Vérification du bon fonctionnement de la roue libre.		C	E	2	1	ME	A	2	A

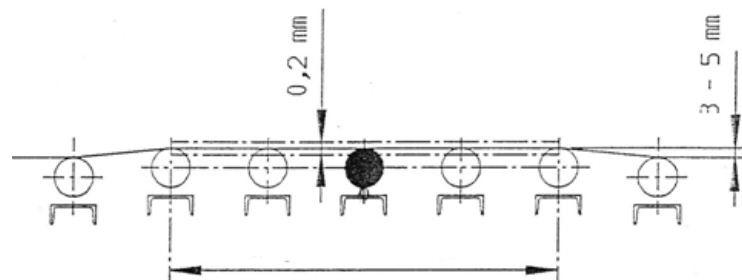
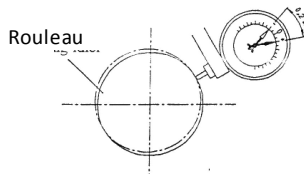
Chaine à raclettes									
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
<b>Chaine à raclettes</b>									
Evaluer l'état des raclettes (usure, cintrage)		E	E	5	1	ME	A	6	M
Mesurer l'allongement de la chaine, pas 6 maillons	Max 1520 mm	V	E	60	2	ME	A	1	A
<b>Tourteau de pied</b>									
Evaluer l'état du tourteau		E	E	10	2	ME	A	1	A
Graisser les roulements		F		5	1	GR	M	3	M
Mesurer le jeux des roulements	Max : 0,4mm	V	E	90	2	ME	A	2	A
Contrôler le tourteau et retendre la chaine si nécessaire		C		5	1	ME	M	1	S
Vérifier le centrage de la chaine		C	E	10	2	ME	A	1	A
<b>Tourteau de tête</b>									
Evaluer l'état du tourteau		E	E	10	2	ME	A	1	A
Graisser les roulements		F		5	1	GR	M	3	M
Mesurer le jeux des roulements	Max : 0,4mm	V	E	90	2	ME	A	2	A
Contrôler le tourteau		C		5	1	ME	M	1	S

<b>Motoréducteur</b>									
Vidanger et remplacer l'huile		C	E	45	1	GR	A	5	A
Contrôler en marche si vibration, T° ou bruit anormaux		C		1	1	GR	M	1	S
Contrôler le serrage des boulons de fixation		C		1	1	ME	M	6	M
Contrôler l'absence de fuites d'huile		C		1	1	GR	M	1	S
Mesurer le niveau de bruit des roulements, avec appareil de mesure ondes de chocs, ou niveau global de vibrations, ou ultrasons		V		5	1	VS	M	6	M

Bande doseuse									
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
<b>Structure générale de la trémie</b>									
Contrôler l'état général de la trémie (fuite)		C		4	1	GR	M	1	S
<b>Motoréducteur</b>									
Vidanger et remplacer l'huile		C		45	1	GR	A	5	A
Contrôler en marche si vibration, T° ou bruit anormaux		C		1	1	GR	M	1	S
Contrôler le serrage des boulons de fixation		C		1	1	ME	M	6	M
Contrôler l'absence de fuites d'huile		C	E	1	1	GR	M	1	S
Mesurer le niveau de bruit des roulements, avec appareil de mesure ondes de chocs, ou niveau global de vibrations, ou ultrasons		V		5	1	VS	M	6	M
<b>Bande transporteuse</b>									
Contrôler la tension de la bande		C		1	1	FA	M	1	S
Contrôler le centrage de la bande		C		1	1	FA	M	1	S
Evaluer l'état général de la bande		E	E	10	1	ME	A	3	M
Evaluer l'état de la jonction		E	E	2	1	ME	A	3	M
Evaluer l'état des bavettes latérales		E	E	2	1	ME	A	3	M
<b>Tambours et rouleaux</b>									
Evaluer l'état du tambour de tête		E	E	2	1	ME	A	6	M
Graisser les roulements du tambour de tête		F		5	1	GR	M	3	M
Evaluer l'état du tambour de queue		E		2	1	ME	A	6	M
Graisser les roulements du tambour de queue		F		5	1	GR	M	3	M
Evaluer l'état du racleur		E	E	2	1	ME	A	6	M
Evaluer l'état des rouleaux des batteries inférieurs		E	E	5	1	ME	A	6	M
Evaluer l'état des rouleaux des batteries supérieurs		E	E	60	2	ME	A	6	M
Contrôler la géométrie des rouleaux peseur (voir schéma en annexe)		C	E	30	2	ME	A	6	M
Nettoyer et contrôler le voile des rouleaux peseur	max: 0,2 mm	C	E	60	2	ME	A	1	A

**Note :** Le rouleau de mesure doit être aligné par rapport aux rouleaux limiteurs.  
En aucun cas le rouleau de mesure ne doit se trouver en dessous du niveau des rouleaux limiteurs.

Les rouleaux de mesure et limiteurs doivent être surtordus avec une tolérance de faux-rond < 0,2 mm, afin d'obtenir la tolérance d'alignement. Règlez la même tolérance d'alignement du côté gauche et du côté droit des rouleaux, afin de garantir le parallélisme par rapport aux tambours du convoyeur.



Grand convoyeur à écailles avec galets ("reedler")										
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U	
Motoréducteur et accouplements										
Vidanger et remplacer l'huile		C	E	45	1	GR	A	5	A	
Contrôler en marche si vibration, T° ou bruit anormaux		C		1	1	GR	M	1	S	
Contrôler le serrage des boulons de fixation		C		1	1	ME	M	6	M	
Contrôler l'absence de fuites d'huile		C		1	1	GR	M	1	S	
Mesurer le niveau de bruit des roulements, avec appareil de mesure ondes de chocs, ou niveau global de vibrations, ou ultrasons		V		5	1	VS	M	6	M	
Contrôler le bras de couple		C	E	3	1	GR	A	3	M	
Remplir et contrôler le limiteur de couple à huile		C	E	15	1	GR	A	3	M	
Chaîne côté canal										
Mesurer l'allongement de la chaîne, pas 6 maillons		V	E	60	2	ME	A	1	A	
Remplir d'huile le pulvérisateur, et contrôler son fonctionnement		F		20	1	GR	M	1	S	
Chaîne côté haine										
Mesurer l'allongement de la chaîne, pas 6 maillons		V	E	60	2	ME	A	1	A	
Ecailles										
Evaluer l'état des écailles		E	E	5	1	ME	A	6	M	
Contrôler les fixations		C	E	60	1	ME	A	1	A	
Contrôler l'état des galets		C	E	30	1	ME	A	1	A	
Contrôler l'état des rails		C	E	15	1	ME	A	1	A	

<b>Tourteau de pied côté haine</b>									
Evaluer l'état du tourteau		E	E	10	1	ME	A	1	A
Graisser les roulements		F		5	1	GR	M	3	M
Mesurer le jeux des roulements	Max : 0,4mm	V	E	90	2	ME	A	2	A
Contrôler le tourteau et retendre la chaine si nécessaire		C		5	1	ME	M	1	S
Vérifier le centrage de la chaine		C	E	10	1	ME	A	1	A
<b>Tourteau de tête côté haine</b>									
Evaluer l'état du tourteau		E	E	10	1	ME	A	1	A
Graisser les roulements		F		5	1	GR	M	3	M
Mesurer le jeux des roulements	Max : 0,4mm	V	E	90	2	ME	A	2	A
Contrôler le tourteau		C		5	1	ME	M	1	S
<b>Tourteau de pied côté canal</b>									
Evaluer l'état du tourteau		E	E	10	1	ME	A	1	A
Graisser les roulements		F		5	1	GR	M	3	M
Mesurer le jeux des roulements	Max : 0,4mm	V	E	90	2	ME	A	2	A
Contrôler le tourteau et retendre la chaine si nécessaire		C		5	1	ME	M	1	S
Vérifier le centrage de la chaine		C	E	10	1	ME	A	1	A
<b>Tourteau de tête côté canal</b>									
Evaluer l'état du tourteau		E	E	10	1	ME	A	1	A
Graisser les roulements		F		5	1	GR	M	3	M
Mesurer le jeux des roulements	Max : 0,4mm	V	E	90	2	ME	A	2	A
Contrôler le tourteau		C		5	1	ME	M	1	S

Vis transporteuse de matières en poudre ou granulats									
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
<b>Motoréducteur</b>									
Vidanger et remplacer l'huile		C	E	45	1	GR	A	5	A
Contrôler en marche si vibration, T° ou bruit anormaux		C		1	1	GR	M	1	S
Contrôler le serrage des boulons de fixation		C		1	1	ME	M	6	M
Contrôler l'absence de fuites d'huile		C		1	1	GR	M	1	S
Mesurer le niveau de bruit des roulements, avec appareil de mesure ondes de chocs, ou niveau global de vibrations, ou ultrasons		V		5	1	VS	M	6	M
<b>Vis</b>									
Graisser les roulements		F		5	1	GR	M	3	M
Contrôler en marche si vibration, T° ou bruit anormaux		C		1	1	GR	M	1	S
Evaluer l'état des spires		E	E	30	1	ME	A	1	A
Contrôler l'étanchéité des tresses		C		1	1	GR	M	1	S
Vérifier le jeu des roulements		V		90	1	ME	A	2	A

Chaîne et balancelles									
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Evaluer l'usure de la chaîne, avec règle appropriée.		E	E		1	ME	A	3	M
Contrôler la tension de chaîne.		C	E		1	ME	A	3	M
Evaluer l'état des pignons.		E	E		1	ME	A	3	M
Graisser la chaîne.		F	E		1	ME	A	3	M
Contrôler visuellement la tension de chaîne et le bon fonctionnement de transmission		C			1	ME	M	3	M
Contrôler l'état des balancelles		B			1	ME	A	3	M
Contrôler les galets et les axes		B			1	ME	A	3	M



## Compresseurs et sécheurs d'air

Compresseur alternatif									
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
<b>Alimentation d'air</b>									
Nettoyer le filtre d'aspiration		F		5	1	ME	M	1	M
Contrôler l'efficacité du silencieux d'admission		C		3	1	ME	M	1	M
Contrôler l'absence de fuites sur le circuit		C			1	ME	M	1	S
<b>Drains</b>									
Purger drains : compresseur, refroidissement intermédiaire, réservoir		F		15	1	ME	M	1	J
<b>Alimentation en huile</b>									
Noter la température		V		0	1	ME	M	1	M
Noter la pression		V			1	ME	M	1	M
Contrôler le bon fonctionnement de la pompe à huile		C		3	1	ME	M	1	J
Contrôler la température	< 65°C	C		2	1	ME	M	1	J
Contrôler la pression		C		2	1	ME	M	1	J
<b>Refroidissement par eau</b>									
Contrôler la circulation d'eau		C		2	1	ME	M	1	J
<b>Ailettes de refroidissement</b>									
Nettoyer.		F	E	15	1	ME	A	3	M
<b>Clapets</b>									
Nettoyer les clapets.		F	E	15	1	ME	A	6	M
Contrôler les clapets et remplacer ceux d'usure avancée.		C	E	60	1	ME	A	6	M
<b>Courroies</b> : voir Transmission									
<b>Régulation</b>									
Contrôler le bon fonctionnement de la régulation		C		5	1	ME	M	1	S
<b>Soupapes de sûreté</b>									
Contrôler l'ouverture		C		15	1	ME	M	1	M
Contrôler le tarage.		C	E	60	1	ME	A	1	A
Contrôler l'état, nettoyer.		C	E	30	1	ME	A	1	A
<b>Organes mécaniques</b>									
Contrôler les serrages.		C	E	15	1	ME	A	6	M
<b>Ensemble compresseur</b>									
Contrôler le débit		C		5	1	ME	M	1	M

Compresseur à vis									
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
<b>Contrôles journaliers</b>									
Vérifier le niveau de coolant, en remettre si nécessaire		C			1	ME	M	1	J
Contrôler l'absence d'alarme		C			1	ME	M	1	J
Contrôler l'absence de fuite		C			1	ME	M	1	J
Contrôler l'absence de bruit anormal		C			1	ME	M	1	J
Contrôler l'indicateur de colmatage huile		C			1	ME	M	1	J
Contrôler l'indicateur de colmatage air		C			1	ME	M	1	J
Lorsque la lampe témoin de l'élément séparateur clignote, vérifier la différence de pression. Si la perte de charge est 0 ou supérieure à 0,7 bar, changer l'élément séparateur.		C			1	ME	M	1	J
<b>Total</b>				12					
<b>Roulements moteur</b>									
Graisser les roulements du moteur		F		12	1	GR	M	3	M
<b>Huile</b>									
Vérifier l'absence de corps étrangers dans les nids d'abeille pour l'huile 3 mois ou 6 mois		C	E	120	1	ME	A	6	M
<b>Coolant</b>									
Remplacer le coolant, l'élément séparateur et le filtre coolant		F	E	120	1	ME	A	2	A
<b>Ventilateur</b>									
Démonter le ventilateur pour remplacer les roulements du moteur		F	E	150	1	ME	A	2	A
<b>Protection haute température</b>									
Vérifier le fonctionnement de la protection haute température		C		10	1	ME	M	3	M
TOTAL : 10 min - 1 an									
<b>Tamis de retour</b>									
Vérifier que le tamis de retour n'est pas bouché, nettoyer si nécessaire		C	E	45	1	ME	A	6	M
<b>Soupape de sécurité</b>									
Remplacer la soupape de sécurité		F	E	60	1	ME	A	4	A
<b>Note</b> : en général le constructeur recommande de remplacer le jeu vis au bout de 4 ans									

Sécheur d'air par absorption (ou déliquescence)									
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Contrôler la pression dans le réservoir		C		2	1	FA	M	1	J
Purger les condensats dont ceux du réservoir amont		F		15	1	ME	M	1	J
Faire l'appoint de charge au dessicateur (dépressur. réserv.)		F	E	30	1	ME	A	3	M
Réaliser la visite réglementaire du réservoir.		F	E	60	1	AG	A	3	A
Réaliser une ré-épreuve du réservoir.		F	E	120	1	AG	A	10	A

Sécheur d'air par réfrigération									
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Contrôler la pression d'alimentation air	bar	C		3	1	FA	M	1	J
Contrôler la charge en liquide frigorigène.		C	E	10	1	ME	A	3	M
Nettoyage extérieur du condenseur frigo.Soufflage < 2bars.		F	E	10	1	ME	A	3	M
Contrôler l'état des ailettes. Peigner si besoin.		C	E	10	1	ME	A	3	M
Nettoyer le ventilateur.		F	E	10	1	ME	A	3	M
Contrôler le fonctionnement du purgeur auto		C		5	1	ME	M	1	M
Contrôler le fonctionnement des vannes de régulation		C		30	1	RE	M	3	M
Contrôler le fonctionnement des sécurités		C		15	1	RE	M	3	M
Contrôler le fonctionnement du ventilateur		C		2	1	FA	M	1	J
Contrôler le point de rosée à l'évaporateur	°C	C		2	1	FA	M	1	J

Sécheur d'air par adsorption (ou régénération)									
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Contrôler la pression des réservoirs		C		2	1	FA	M	1	J
Contrôler programmeur, résistances thermostat, by-pass.		C	E	60	1	RE	A	6	M
Remplacer la charge de billes d'alumine.		F	E	30	2	ME	A	1	A
Purger les cyclones		F		6	1	ME	M	1	M
Contrôler le colmatage des cartouches filtrantes		C		6	1	ME	M	1	M
Réaliser la visite réglementaire des réservoirs.		F	E	60	1	AG	A	3	A
Préparer une ré-épreuve des réservoirs.		F	E	60	2	ME	A	10	A
Réaliser une ré-épreuve des réservoirs.		F	E	120	1	AG	A	10	A
Dépose et tarage des soupapes.		F	E	120	2	ME	A	3	A
Réaliser la visite réglementaire des cyclones.		F	E	60	1	AG	A	3	A
Réaliser la ré-épreuve des cyclones ( entrée/sortie ).		F	E	120	1	AG	A	10	A

La consommation d'air comprimé coûte cher en consommation électrique et en maintenance des compresseurs. deux mesures sont conseillées :

1. placer des compteurs aux endroits stratégiques pour suivre la consommation mensuellement ;
2. si la consommation augmente, rechercher l'origine des fuites avec un appareil ultrasons.



## Hydraulique

Moteur hydraulique										
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U	
Vérifier l'absence de fuite		C	H	1	1	ME	A	1	M	
Contrôler les fixations		C	H	4	1	ME	A	1	M	
Tuyauteries et flexibles : Contrôler l'état et l'absence de fuite		C	H	2	1	ME	A	1	M	
Evaluer l'usure du pignon		E	H	15	1	ME	A	1	A	
Contrôler le frein ( voir mode opératoire )		C	H	30	2	ME	A	6	M	

Groupe hydraulique										
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U	
<b>Groupes moto-pompes, en marche</b>										
Contrôler l'absence de fuite		C		2	1	ME	M	3	M	
Contrôler le bruit des moteur et des pompes		C		4	1	ME	M	3	M	
Remplacer les filtres d'huile		F	H	45	1	ME	A	3	M	
Vérifier la plaque à bornes et les connexions. Consignation E !		C	E	10	1	EL	A	1	A	
<b>Accouplement</b>										
Démonter coquilles et évaluer l'usure des tampons. Consignation E !		E	H	45	1	ME	AP	2	A	
<b>Réservoir d'huile</b>										
Vidange et remplacer l'huile		F	H	60	1	ME	A	1	A	
<b>Accumulateur d'huile</b>										
Contrôler la pression d'azote		V	H	15	1	ME	A	6	M	
<b>Tuyauteries et flexibles</b>										
Contrôler		C	H	150	1	ME	A	3	M	
<b>Ensemble du groupe</b>										
Contrôler la température de l'huile		C		3	1	ME	M	1	S	

Ensemble hydraulique dans le cas d'une hydraulique proportionnelle										
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U	
Faire un recyclage de chaque circuit, pour filtration avec appareillage dédié et mobile				240				3	M	

## Brouillard d'huile

Générateur de brouillard d'huile									
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
<b>Alimentation d'air comprimé</b>									
Contrôler la pression d'alimentation	bar	C		3	1	FA	M	1	S
Contrôler la pression au régulateur	bar	C		3	1	FA	M	1	S
Noter la valeur de la pression d'alimentation	bar	C		0	1	ME	M	1	M
Nettoyer ou remplacer la cartouche filtrante.		F	E	10	1	GR	A	3	M
Purger		F		10	1	GR	M	1	M
<b>Pompe d'alimentation en huile</b>									
Contrôler la pression de sortie	bar	C		1	1	FA	M	1	J
Noter la valeur de la pression (1 fois/mois)	bar	V		0	1	ME	M	1	M
Contrôler l'absence de bruit, vibrations en fonctionnement		C		1	1	FA	M	1	J
Remplacer la cartouche filtrante.		F		20	1	GR	A	3	M
Roulement moteur : mesurer le niveau de bruit	Max : 65 db	V		2	1	ME	M	3	M
Contrôler l'absence de fuite autre que fonctionnelle		C		3	1	ME	M	1	M
Roults moteur et pompe: graisser ou vérifier le point graissage (si gr.central)		F		10	1	GR	M	3	M
Remplacer les graisseurs automatiques (ou)		F		8	1	GR	M	6	M
<b>Réchauffeur</b>									
Contrôler la température sortie réchauffeur	°C	C		1	1	FA	M	1	J
Noter la température (1 fois/mois)	°C	V		1	1	FA	M	1	M
<b>Générateur</b>									
Nettoyer crépine d'aspiration.		F	E	15	1	ME	A	3	M
Nettoyer tête d'atomisation.		F	E	15	1	ME	A	3	M
Nettoyer cuve.		F	E	90	1	ME	A	6	M
Contrôler l'état du détecteur de brouillard.		C	E	10	1	ME	A	6	M
Contrôler le niveau d'huile à la cuve. Faire l'appoint si nécessaire		C		3	1	GR	M	1	J
Contrôler la pression du brouillard d'huile(+/- 10 bars)		C		2	1	FA	M	1	J
Noter la valeur de la pression du brouillard d'huile (1 fois/mois)		V		0	1	MA	M	1	M
<b>Ajutages/événements</b>									
Nettoyer les gicleurs.		F	E	0	1	ME	A	1	A
Contrôler les seuils de défaut ( réglage du pressostat ).		C	E	15	1	ME	A	3	M
Contrôler la circulation, présence d'huile.		C	E	0	1	GR	A	1	M

<b>Connectique</b>									
Contrôler l'état de la connectique.		C	E	30	1	EL	A	6	M
<b>Raccords, tuyauterie, appareils en ligne</b>									
Détecter fuites		C		0	1	ME	M	3	M
<b>Récupérations condensats</b>									
Purger (si non automatique)		F		0	1	ME	M	1	J

## Groupe Diesel

Groupe Diesel									
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
<b>Moteur</b>									
Vérifier, régler les régimes moteur		C	E	15	1	ME	A	3	M
Régler le jeu des soupapes.		F	E	75	1	ME	A	3	M
Evaluer l'état de l'amortisseur de vibrations du vilebrequin		E	E	30	1	ME	A	1	A
Vidanger l'huile		F	E	30	1	GR	A	1	M
Contrôler l'état du turbo-compresseur, si existant		C	E	10	1	ME	A	1	M
Contrôler la tuyauterie et le serrage colliers de l'adm. d'air		C	E	15	1	ME	A	1	A
Contrôler le niveau d'huile. Faire l'appoint si nécessaire		C		5	1	GR	M	1	S
<b>Système de refroidissement</b>									
Contrôler les flexibles, serrages brides, colliers			E	10	1	ME	A	1	A
Nettoyer/ Veiller à chasser l'air du circuit		F	E	60	1	ME	A	2	A
Evaluer l'état du ventilateur		E	E	15	1	ME	A	1	A
Contrôler la tension courroie		C	E	3	1	ME	A	1	M
Graisser les paliers du ventilateur		F	E	5	1	GR	A	1	M
Contrôler le niveau du liquide. Faire l'appoint si nécessaire		C		3	1	ME	M	1	J
<b>Filtres</b>									
Purger le filtre de la pompe carburant s'il y a présence d'eau ou dépôts		F	E	3	1	ME	A	1	J
Nettoyer le filtre de la pompe carburant		F	E	3	1	ME	A	1	S
Purger le filtre à air, ou vérifier l'indicateur de colmatage		F	E	3	1	ME	A	1	J
Remplacer le filtre à huile		F	E	5	1	ME	A	1	J
Remplacer le tamis du filtre alimentation carburant		F	E	10	1	ME	A	1	M
Remplacer l'élément filtrant du filtre à air		F	E	10	1	ME	A	1	A
<b>Tube de ventilation du carter moteur</b>									
Nettoyer		F	E	5	1	ME	A	1	M
<b>Alternateur</b>									
Contrôler la tension courroie		C	E	3	1	ME	A	1	M
Graisser les paliers de l'alternateur		F	E	5	1	GR	A	1	M
Evaluer l'état de l'alternateur		E	E	15	1	ME	A	1	A

<b>Batteries</b>									
Mesurer la concentration de l'électrolyte av.un pèse acide	> 18° Baumé	C	E	10	1	ME	A	1	M
Renouveler l'électrolyte		F	E	60	1	ME	A	2	A
Contrôler le serrage des cosses, nettoyer et graisser		C	E	10	1	ME	A	6	M
Contrôler le niveau d'électrolyte. Appoint si nécessaire		C	E	4	1	ME	A	1	S
<b>Thermostats</b>									
Contrôler la température d'ouv/ferm. des org. commandes		C	E	5	1	ME	A	1	A



## Ventilateur

Ventilateur										
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U	
<b>Chaise</b>										
Contrôler les fixations		C		3	1	ME	M	3	M	
<b>Canon/Paliers</b>										
Contrôle auditif et de température		C		3	1	ME	M	1	M	
Graisser les roulements		F		3	1	GR	M	3	M	
Remplacer les graisseurs automatiques (ou)		F		8	1	GR	M	6	M	
Contrôler la fixation des paliers		C		2	1	ME	M	1	M	
<b>Corps/Volute</b>										
Contrôler l'état du soufflet /liaison souple/joints		C		3	1	ME	M	3	M	
Evaluer l'état de la volute.		E	E	10	1	ME	A	6	M	
<b>Turbine</b>										
Evaluer l'état de la turbine.		E	E	5	1	ME	A	6	M	
<b>Ensemble</b>										
Mesure d'intensité avec pince ampèremétrique		V		5	1	EL	M	1	M	
Contrôle de pression et/ou dépression		C		3	1	FA	M	1	J	
Mesure de vibrations avec analyse spectrale		V		45	1	VS	M	3	M	
<b>Filtre</b>										
Contrôle de l'encrassement et de l'état.		C	E	10	1	ME	AP	1	M	

Surpresseur centrifuge										
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U	
Réaliser analyse vibratoire		V		45	1	VS	M	6	M	
Contrôler le niveau d'huile, faire un ajout si nécessaire		C		10	1	GR	A	1	M	
Vérifier en marche si vibrations ou bruits anormaux.		V		5	1	ME	M	3	M	
Vérifier l'état du filtre à l'aspiration		V		1	1	GR	M	1	M	
Vérifier l'état du clapet anti retour		V		30	1	ME	A	6	M	
Estimer l'état du soufflet compensateur c/c tuyauterie de refoulement		C		1	1	ME	M	3	M	
Vérifier le bon fonctionnement de la soupape de surpression		V		5	1	ME	M	3	M	
Contrôle des jeux interne du supresseur		C		60	2	ME	A	2	A	
Contrôler visuellement en marche l'état des courroies		C		10	1	ME	M	3	M	
Evaluer l'usure des courroies.		E		6	1	ME	A	6	M	
Contrôler la tension des courroies et régler si nécessaire.		C		15	1	ME	A	6	M	
Evaluer l'usure des gorges des poulies.		E		4	1	ME	A	6	M	
Contrôler l'état des poulies ( liaisons avec arbres ).		C		3	1	ME	A	6	M	

## Ponts roulants, palans et treuil

Pont roulant de production									
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
<b>Levage</b>									
<b>Moteur</b>									
<b>Frein</b>									
Mesurer l'entrefer du frein et le régler si nécessaire		C			2	EM	A	6	M
Evaluer l'état du disque frein		E			2	EM	A	6	M
<b>Réducteur</b>									
Contrôler le niveau d'huile		C			2	EM	A	6	M
Vidanger et remplacer l'huile		F			2	EM	A	2	A
Soulever la moitié supérieure et vérifier l'état général mécanique		C			2	EM	A	2	A
<b>Tambour</b>									
Graisser les paliers		F			2	EM	A	6	M
<b>Guide cable</b>									
Graissage		F			2	EM	A	6	M
Evaluer l'état du guide cable		E			2	EM	A	6	M
Evaluer l'état du ressort du guide cable		E			2	EM	A	6	M
Graissage au pinceau		F			2	EM	A	6	M
<b>Cable</b>									
Graissage au pinceau		F			2	EM	A	6	M
Vérifier l'état		C			2	EM	A	6	M
<b>Mouflage</b>									
Vérifier le crochet et sa rotation ainsi que le linguet de sécurité		C			2	EM	A	6	M
Evaluer l'état de la poulie de mouflage		E			2	EM	A	6	M
Graisser les poulies de mouflr et les poulies de renvoi		F			2	EM	A	6	M
<b>Fin de course</b>									
<b>Limiteur de charge</b>									
Contrôler son bon fonctionnement		C			2	EM	A	6	M
<b>Déplacement</b>									
<b>Moteur</b>									
<b>Frein</b>									
Mesurer l'entrefer du frein et le régler si nécessaire		C			2	EM	A	6	M
Evaluer l'état du disque frein		E			2	EM	A	6	M

<b>Réducteur</b>								
Contrôler le niveau d'huile	C			2	EM	A	6	M
Vidanger et remplacer l'huile	F			2	EM	A	2	A
Soulever la moitié supérieure et vérifier l'état général mécanique	C			2	EM	A	2	A
<b>Galets de roulement</b>								
Contrôler leur état	C			2	EM	A	6	M
Mesurer le jeu des roulements de galets	V			2	EM	A	1	A
<b>Galets guide</b>								
Contrôler leur état	C			2	EM	A	1	A
Mesurer le jeu des roulements de galets	V			2	EM	A	2	A
<b>Translation</b>								
<b>Moteur</b>								
<b>Frein</b>								
Mesurer l'entrefer du frein et le régler si nécessaire	C			2	EM	A	6	M
Evaluer l'état du disque frein	E			2	EM	A	6	M
<b>Réducteur</b>								
Contrôler le niveau d'huile	C			2	EM	A	6	M
Vidanger et remplacer l'huile	F			2	EM	A	2	A
Soulever la moitié supérieure et vérifier l'état général mécanique	C			2	EM	A	2	A
<b>Galets du chariot</b>								
Contrôler l'état des galets				2	EM	A		
Mesurer le jeu des roulements de galets	V			2	EM	A	1	A
<b>Rails de roulement</b>								
Contrôler l'état des rails	C			2	EM	A	1	A
Contrôler l'état des butoirs	C			2	EM	A	1	A
<b>Partie électrique</b>								
<b>Câbles plats d'alimentation et chariot porte câbles</b>								
Vérifier l'état de l'ensemble	C			2	EM	A	6	M
<b>Borniers et branchements</b>								
Vérifier leurs états	C			2	EM	A	6	M
<b>Bruits</b>								
Vérifier l'absence de bruits parasites durant le fonctionnement des moteurs, des réducteurs et des divers éléments du palan et du chariot. Par sécurité la nacelle doit être en dessous du pont, le contrôle se fait à deux.	C			2	EM	A	6	M
<b>Temps Total opérations à 6 mois</b>				180				
<b>Note</b> : pour contrôler le jeu des roulements de galets on monte ceux-ci de quelques millimètres à l'aide d'un vérin manuel, puis on utilise la pince à talons pour bouger chaque roulement et un comparateur								

Pont roulant de maintenance									
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
<b>Levage</b>									
<b>Moteur</b>									
<b>Frein</b>									
Mesurer l'entrefer du frein et le régler si nécessaire		C			2	EM	A	2	A
Evaluer l'état du disque frein		E			2	EM	A	2	A
<b>Réducteur</b>									
Contrôler le niveau d'huile		C			2	EM	A	2	A
Vidanger et remplacer l'huile		F			2	EM	A	5	A
Soulever la moitié supérieure et vérifier l'état général mécanique		C			2	EM	A	5	A
<b>Tambour</b>									
Graisser les paliers		F			2	EM	A	2	A
<b>Guide cable</b>									
Graissage		F			2	EM	A	2	A
Evaluer l'état du guide cable		E			2	EM	A	2	A
Evaluer l'état du ressort du guide cable		E			2	EM	A	2	A
Graissage au pinceau		F			2	EM	A	2	A
<b>Cable</b>									
Graissage au pinceau		F			2	EM	A	2	A
Vérifier l'état		C			2	EM	A	2	A
<b>Mouflage</b>									
Vérifier le crochet et sa rotation ainsi que le linguet de sécurité		C			2	EM	A	2	A
Evaluer l'état de la poulie de mouflage		E			2	EM	A	2	A
Graisser les poulies de moufler et les poulies de renvoi		F			2	EM	A	2	A
<b>Fin de course</b>									
<b>Limiteur de charge</b>									
Contrôler son bon fonctionnement		C			2	EM	A	2	A
<b>Déplacement</b>									
<b>Moteur</b>									
<b>Frein</b>									
Mesurer l'entrefer du frein et le régler si nécessaire		C			2	EM	A	2	A
Evaluer l'état du disque frein		E			2	EM	A	2	A

<b>Réducteur</b>								
Contrôler le niveau d'huile	C			2	EM	A	2	A
Vidanger et remplacer l'huile	F			2	EM	A	5	A
Soulever la moitié supérieure et vérifier l'état général mécanique	C			2	EM	A	5	A
<b>Galets de roulement</b>								
Contrôler leur état	C			2	EM	A	5	A
Mesurer le jeu des roulements de galets	V			2	EM	A	5	A
<b>Galets guide</b>								
Contrôler leur état	C			2	EM	A	5	A
Mesurer le jeu des roulements de galets	V			2	EM	A	5	A
<b>Translation</b>								
<b>Moteur</b>								
<b>Frein</b>								
Mesurer l'entrefer du frein et le régler si nécessaire	C			2	EM	A	2	A
Evaluer l'état du disque frein	E			2	EM	A	2	A
<b>Réducteur</b>								
Contrôler le niveau d'huile	C			2	EM	A	2	A
Vidanger et remplacer l'huile	F			2	EM	A	2	A
Soulever la moitié supérieure et vérifier l'état général mécanique	C			2	EM	A	2	A
<b>Galets du chariot</b>								
Contrôler l'état des galets				2	EM	A		
Mesurer le jeu des roulements de galets	V			2	EM	A	5	A
<b>Rails de roulement</b>								
Contrôler l'état des rails	C			2	EM	A	5	A
Contrôler l'état des butoirs	C			2	EM	A	5	A
<b>Partie électrique</b>								
<b>Câbles plats d'alimentation et chariot porte câbles</b>								
Vérifier l'état de l'ensemble	C			2	EM	A	2	A
<b>Borniers et branchements</b>								
Vérifier leurs états	C			2	EM	A	2	A
<b>Bruits</b>								
Vérifier l'absence de bruits parasites durant le fonctionnement des moteurs, des réducteurs et des divers éléments du palan et du chariot. Par sécurité la nacelle doit être en dessous du pont, le contrôle se fait à deux.	C			2	EM	A	2	A
<b>Temps Total opérations à 2 ans</b>			180					
<b>Note</b> : pour contrôler le jeu des roulements de galets on monte ceux-ci de quelques millimètres à l'aide d'un vérin manuel, puis on utilise la pince à talons pour bouger chaque roulement et un comparateur								

Palan électrique avec frein à mâchoires									
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
<b>Organes de suspension</b>									
Contrôler leur état.		C	E	5	1	ME	A	1	A
<b>Cable</b>									
Contrôler l'état sur toute la longueur et au point fixe.		C	E	15	1	ME	A	1	A
Contrôler le serrage des fixations sur tambour.		C	E	5	1	ME	A	1	A
<b>Point fixe</b>									
Contrôler le serrage des fixations.		C	E	5	1	ME	A	1	A
<b>Frein à mâchoires</b>									
Contrôler l'absence de corps gras à la poulie.		C	E	2	1	ME	A	6	M
Contrôler le pivotement des articulations et leur jeu.		C	E	4	1	ME	A	6	M
Mesurer l'épaisseur des garnitures.	2mm Mini	V	E	5	1	ME	A	6	M
Contrôler l'état de la bobine, le serrage des connexions.		C	E	5	1	EL	A	6	M
<b>Fins de course</b>									
S'assurer du bon fonct. tige de commande. Graisser légèrement.		C	E	4	1	EL	A	6	M
Contrôler le réglage des butées: 10cm tambour, 10cm sol.		C	E	15	1	EL	A	6	M
<b>Guide cable</b>									
Evaluer l'état de la partie engagée dans la rainure tambour.	usur.50%max	E	E	5	1	ME	A	1	A
Contrôler libre coulissement sur tige com. fin de course.		C	E	4	1	ME	A	6	M
<b>Moufle</b>									
Evaluer l'état de la poulie.		E	E	4	1	ME	A	1	A
Evaluer l'état du crochet (pas de déformation, présence du linguet de sécurité).		E	E	3	1	ME	A	1	A
Evaluer l'état des axes.		E	E	4	1	ME	A	1	A
Graisser les axes.		F	E	5	1	GR	A	6	M

Palan électrique avec frein à disque									
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
<b>Organes de suspension</b>									
Contrôler leur état.		C	E	5	1	ME	A	1	A
<b>Cable</b>									
Contrôler l'état sur toute la longueur et au point fixe.		C	E	15	1	ME	A	1	A
Contrôler le serrage des fixations sur tambour.		C	E	5	1	ME	A	1	A
<b>Point fixe</b>									
Contrôler le serrage des fixations.		C	E	5	1	ME	A	1	A
<b>Frein à disque</b>									
Contrôler l'absence de corps gras sur disque.		C	E	3	1	ME	A	6	M
Mesurer l'épaisseur des garnitures.	2mm Mini	V	E	5	1	ME	A	6	M
Evaluer l'état du disque.		E	E	4	1	ME	A	6	M
Evaluer l'état des tiges-guides du flasque de frein.+ressorts.		E	E	5	1	ME	A	6	M
Contrôler la bobine, le serrage des connexions.		C	E	5	1	EL	A	6	M
<b>Fins de course</b>									
S'assurer du bon fonct. tige de commande. Graisser légèrement.		C	E	4	1	EL	A	6	M
Contrôler le réglage des butées: 10cm tambour, 10cm sol.		C	E	15	1	EL	A	6	M
<b>Guide cable</b>									
Evaluer l'état de la partie engagée dans la rainure tambour.	usur.50%max	E	E	5	1	ME	A	1	A
Contrôler libre coulissement sur tige com. fin de course.		C	E	4	1	ME	A	6	M
<b>Moufle</b>									
Evaluer l'état de la poulie.		E	E	4	1	ME	A	1	A
Evaluer l'état du crochet (pas de déformation, présence du linguer de sécurité).		E	E	3	1	ME	A	1	A
Evaluer l'état des axes.		E	E	4	1	ME	A	1	A
Graisser les axes.		F	E	5	1	GR	A	6	M

Treuil									
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
<b>Câbles</b>									
Estimer l'état des câbles		E		5	1	ME	M	6	M
Contrôler le bon positionnement des câbles dans les rainures du tambour		C		1	1	ME	M	6	M
Contrôler le bon serrage de la clame de fixation des câbles		C		1	1	ME	M	6	M
<b>Motoréducteur</b>									
Vérifier en marche si vibrations ou bruits anormaux		C		1	1	ME	M	1	M
Réaliser une mesure de bruit		V		3	1	ME	M	6	M
Contrôler le serrage des fixations, resserrer si nécessaire		C		3	1	ME	M	3	M
Vidanger et remplacer l'huile		C		20	1	GR	A	3	A
<b>Système de cable mou et poulies</b>									
Contrôler la libre rotation des poulies		C		5	1	ME	M	1	M
Evaluer l'état des poulies		E		3	1	GR	M	3	M
Evaluer l'état des galets de câble mou		E		1	1	GR	M	3	M
Contrôler la libre rotation des galets		C		1	1	GR	M	1	M

Pour tous ces équipements, il est recommandé de graisser les câbles régulièrement, sauf dans les endroits où de la poussière est générée par le produit (cimenterie par exemple)



## *Deuxième partie*

### *Documentation pratique*

	Page
Sécurité.....	365
Techniques spéciales.....	401
Codification, symboles et normes.....	479
Lois et valeurs physiques.....	519
Matériels courants.....	559



# Sécurité

	Page
<b>Principes généraux de prévention.....</b>	<b>366</b>
<b>Consignations et déconsignations.....</b>	<b>368</b>
<b>Plan de prévention.....</b>	<b>371</b>
<b>Visites réglementaires.....</b>	<b>374 ...</b>
<b>Formations obligatoires.....</b>	<b>394</b>
<b>Evaluation des risques.....</b>	<b>398</b>

# Principes généraux de prévention

**Ci-après figurent les principes généraux de prévention mis à la charge du Chef d'entreprise en matière de sécurité et santé, suivant le Code du Travail Français.**

## Article L4121-1

- L'employeur prend les mesures nécessaires pour assurer la sécurité et protéger la santé physique et mentale des travailleurs.  
Ces mesures comprennent :
  - Des actions de prévention des risques professionnels ;
  - Des actions d'information et de formation ;
  - La mise en place d'une organisation et de moyens adaptés.L'employeur veille à l'adaptation de ces mesures pour tenir compte du changement des circonstances et tendre à l'amélioration des situations existantes.

## Article L4121-2

- L'employeur met en œuvre les mesures prévues à l'Article L4121-1 sur le fondement des principes généraux de prévention suivants :
  - Éviter les risques ;
  - Évaluer les risques qui ne peuvent pas être évités ;
  - Combattre les risques à la source ;
  - Adapter le travail à l'homme, en particulier en ce qui concerne la conception des postes de travail ainsi que le choix des équipements de travail et des méthodes de travail et de production, en vue notamment de limiter le travail monotone et le travail cadencé et de réduire les effets de ceux-ci sur la santé ;
  - Tenir compte de l'évolution de la technique ;
  - Remplacer ce qui est dangereux par ce qui n'est pas dangereux ou par ce qui est moins dangereux ;
  - Planifier la prévention en y intégrant, dans un ensemble cohérent, la technique, l'organisation du travail, les conditions de travail, les relations sociales et l'influence des facteurs ambiants, notamment les risques liés au harcèlement moral, tel qu'il est défini à l'Article L1152-1 ;
  - Prendre des mesures de protection collective en leur donnant la priorité sur les mesures de protection individuelle ;
  - Donner les instructions appropriées aux travailleurs.

## Article L4121-3

- L'employeur, compte-tenu de la nature des activités de l'établissement, évalue les risques pour la santé et la sécurité des travailleurs, y compris dans le choix des procédés de fabrication, des équipements de travail, des substances ou préparations chimiques, dans l'aménagement ou le réaménagement des lieux de travail ou des installations et dans la définition des postes de travail. À la suite de cette évaluation, l'employeur met en œuvre les actions de prévention ainsi que les méthodes de travail et de production garantissant un meilleur niveau de protection de la santé et de la sécurité des travailleurs. Il intègre ces actions et ces méthodes dans l'ensemble des activités de l'établissement et à tous les niveaux de l'encadrement.

## Article L4121-4

- Lorsqu'il confie des tâches à un travailleur, l'employeur, compte-tenu de la nature des activités de l'établissement, prend en considération les capacités de l'intéressé à mettre en œuvre les précautions nécessaires pour la santé et la sécurité.

### **Article L4121-5**

- Lorsque dans un même lieu de travail les travailleurs de plusieurs entreprises sont présents, les employeurs coopèrent à la mise en œuvre des dispositions relatives à la santé et à la sécurité au travail.

### **Article L4522-1**

- Lorsqu'un travailleur ou le chef d'une entreprise extérieure ou un travailleur indépendant est appelé à réaliser une intervention pouvant présenter des risques particuliers en raison de sa nature ou de la proximité de cette installation, le chef d'établissement de l'entreprise utilisatrice et le chef de l'entreprise extérieure définissent conjointement les mesures de prévention prévues aux articles L4121-1 à L4121-4. Le chef d'établissement de l'entreprise utilisatrice veille au respect par l'entreprise extérieure des mesures que celle-ci a la responsabilité d'appliquer, compte-tenu de la spécificité de l'établissement, préalablement à l'exécution de l'opération, durant son déroulement et à son issue.

# Consignations et déconsignations

## Définitions

### Consignation

C'est l'ensemble des dispositions permettant de mettre et de maintenir en sécurité (si possible par un moyen physique) une machine, un appareil ou une installation de façon qu'un changement d'état (remise en état de marche d'une machine, fermeture d'un circuit électrique, ouverture d'une vanne...) soit impossible sans l'action volontaire de tous les intervenants.

Il existe, en outre, d'autres définitions plus spécifiques : consignation d'ordre électrique, consignation d'arrêt machine...

### Déconsignation

C'est l'ensemble des dispositions permettant de remettre en état de fonctionnement une machine, un appareil ou une installation préalablement consigné, en assurant la sécurité des intervenants et des exploitants.

### Intervenant

Un intervenant est chargé de réaliser des travaux prédéfinis. Ce peut être :

- soit une personne,
- soit une équipe réduite, comprenant un chef d'équipe ou un chargé de travaux présent en permanence sur le chantier.

### Chargé de consignation

Un chargé de consignation est une personne compétente désignée par le chef d'entreprise pour effectuer la consignation et la déconsignation d'une installation et qui est chargée de prendre ou de faire prendre les mesures de sécurité qui en découlent.

## Procédures

Phase de consignation	Nature du risque		
	Electrique	Chimique	Mécanique
<b>Séparation</b>	Mise hors tension de tous les circuits de puissance et de commande de façon pleinement apparente (1) y compris les alimentations de secours	Suppression des arrivées de tous les fluides ou solides de façon pleinement apparente (1) y compris les circuits auxiliaires.	Coupure de la transmission de toutes les formes d'énergie de façon pleinement apparente (1) y compris secours et accumulation d'énergie.
<b>Condamnation</b>	Verrouillage par un dispositif matériel difficilement neutralisable, dont l'état est visible de l'extérieur, réversible uniquement par un outil spécifique personnalisé pour chaque intervenant.		
<b>Signalisation</b>	Information claire et permanente de la réalisation de la condamnation.		
<b>Purge</b>	Mise à la terre et en court-circuit des conducteurs (opération à réaliser après la vérification). Décharge des condensateurs.	Vidange, nettoyage (décroûtage...) Elimination d'une atmosphère inerte ou dangereuse. Ventilation	Mise au niveau d'énergie le plus bas par : - arrêt des mécanismes y compris volants d'inertie, - mise en équilibre mécanique stable (point mort bas) ou, à défaut, calage mécanique, - mise à la pression atmosphérique.
<b>Vérification</b>	Absence de tension entre tous les conducteurs (y compris le neutre) et entre eux et la terre.	Absence de : - pression, - écoulement. Contrôle spécifique éventuel (atmosphère, pH...)	Absence d'énergie : - tension, - pression, - mouvement.
<b>Identification</b>	Eventuellement balisage des zones dangereuses résiduelles. Elle a pour but de s'assurer que les travaux seront effectués sur l'installation ou l'équipement consigné. Pour cela, les schémas et le repérage des éléments devront être lisibles,		

(1) c'est-à-dire, soit par la vue directe du dispositif de séparation, soit par un asservissement fiable entre la position de ce dispositif et celle de l'organe extérieur de manœuvre reflétant cette position.

L'ordre d'arrêt maintenu peut être introduit à plusieurs niveaux différents :

- verrouillage appliqué du système de commande par exemple au niveau des entrées d'un automate programmable ou au niveau des préactionneurs,
- verrouillage appliqué aux éléments de puissance,
- séparation mécanique, par exemple à l'aide d'un embrayage,
- immobilisation des éléments mobiles à l'aide d'un dispositif de retenue mécanique, par exemple une cale, un sabot d'arrêt, etc.

L'analyse des risques doit permettre de déterminer le contenu et l'ordre des opérations de déconsignation.

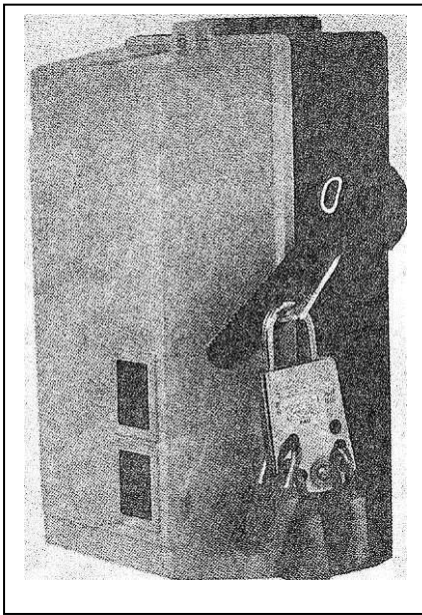
Par exemple :

- la dépose ou l'arrêt du dispositif de purge ou la réalimentation en énergie peuvent entraîner des risques spécifiques (mouvements de vérins, démarrage à vide de pompes),

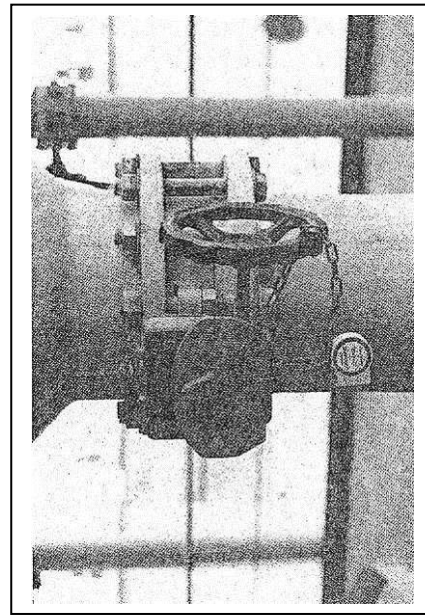
- une initialisation des équipements commandés par certains automatismes (microprocesseurs...) devra être effectuée avant toute remise en service afin d'éviter des commandes intempestives.

Une attention particulière sera apportée à l'identification des circuits pour limiter les risques de confusion d'installation et donc de déconsignation intempestive. En particulier, c'est le chargé de déconsignation qui a pour rôle de recevoir les dispositifs de condamnation restitués par les différents intervenants à la fin de leur travail.

Note : avant la phase de redémarrage normal une phase transitoire est souvent nécessaire : la phase d'essai, pour laquelle les sécurités mises en place pour l'exploitation doivent être parfois partiellement neutralisées ; des procédures compensatrices spécifiques et rigoureuses doivent alors être mises en place pour cette phase d'essai.



Coffret électrique :  
- verrouillage par multicadenas,  
- position visible du sectionneur.



Vanne :  
- condamnation par cadenas,  
- signalisation

### Documents de référence

- NF EN 954-1 : Sécurité des machines – Parties des systèmes de commande relatives à la sécurité.
- NF EN 1037 : Sécurité des machines – Prévention de la mise en marche intempestive (consignation et autres mesures)
- NF EN 1050 : Sécurité des machines – Principes pour l'appréciation du risque.
- NF EN 60204-1 : Sécurité des machines, équipements électriques des machines.



## Plan de prévention

Avant le début des travaux, un **Plan de Prévention** doit être établi dans les 2 cas suivants :

- le nombre total d'heures de travail prévu pour réaliser les travaux est au moins de 400 heures sur 12 mois ;
- les travaux concernés figurent sur la liste des travaux dangereux fixés par l'arrêté du 19 mars 1993.

### **Article R.4512-6** du Code du Travail : Plan de prévention

Cet article précise que **dans tous les cas d'intervention d'entreprises extérieures au sein d'une entreprise utilisatrice**, et ce quel que soit le nombre d'heures travaillées et la nature des travaux effectués, à la charge de l'entreprise utilisatrice il faut, préalablement aux travaux, organiser une inspection des lieux d'interventions avec toutes les entreprises extérieures qui seront appelées à intervenir. Cette concertation doit permettre d'identifier et d'analyser les risques d'interférence entre les activités, les installations, et de mettre en place des mesures de prévention.

L'article R.4512-6 dit explicitement :

«Au vu de ces informations et des éléments recueillis au cours de l'inspection, les chefs d'entreprises procèdent en commun à une analyse des risques pouvant résulter de l'interférence entre les activités, les installations et matériels. Lorsque ces risques existent, les employeurs arrêtent d'un commun accord, avant le début des travaux le plan de prévention définissant les mesures qui doivent être prises par chaque entreprise en vue de prévenir ces risques...»

### **Article R.4512-7** du Code du Travail : Plan de prévention écrit

Par cet Article le législateur détermine les **deux cas** pour lesquels le plan de prévention doit nécessairement être établi **par écrit** avant le commencement des travaux :

1. Dès lors que l'opération à réaliser par les entreprises extérieures, y compris les entreprises sous-traitantes auxquelles elles peuvent faire appel, représente un **nombre total d'heures de travail prévisible égal au moins à 400 heures** sur une période inférieure ou égale à douze mois, que les travaux soient continus ou discontinus. Il en est de même dès lors qu'il apparaît, en cours d'exécution des travaux, que le nombre d'heures de travail doit atteindre 400 heures ;
2. **Quelle que soit la durée prévisible de l'opération**, lorsque les travaux à accomplir sont au nombre des travaux dangereux figurant sur une liste fixée, respectivement, par arrêté du ministre chargé du travail et par arrêté du ministre chargé de l'agriculture.

### **Travaux dangereux imposant un plan de prévention écrit**

Cette liste est établie par l'arrêté du 19 mars 1993 (JO du 27 mars 1993). Il s'agit des travaux dangereux pour lesquels doit être établi un plan de prévention écrit quel que soit le nombre d'heures travaillées.

- travaux exposant à des **rayonnements ionisants**;
- travaux exposant à des substances et préparations **explosives, comburantes**, extrêmement **inflammables**, facilement inflammables, très toxiques, toxiques, nocives, cancérogènes, mutagènes, toxiques vis-à-vis de la reproduction, au sens de l'article R.4111-3 du code du travail ;
- travaux exposant à des **agents biologiques pathogènes**;
- travaux effectués sur une **installation classée** faisant l'objet d'un plan d'opération interne;
- travaux de **maintenance sur les équipements de travail**, autres que les appareils et accessoires de levage qui doivent faire l'objet de vérification périodique;
- travaux de transformation sur les **ascenseurs, monte-charge, escaliers mécaniques, trottoirs roulants** et installations de parage automatique de voitures;

- travaux de maintenance sur des installations à **très haute** ou **très basse température**;
- travaux comportant le recours à des **ponts roulants** ou grues ou transtockeurs;
- travaux comportant le recours aux **treuils** et appareils assimilés mus à la main, installés temporairement au dessus d'une zone de travail ou de circulation;
- travaux exposant au contact avec des **pièces nues sous tension** supérieure à la T.B.T : Très basse tension;
- travaux nécessitant l'utilisation d'équipements de travail auxquels est applicables l'article R. 4323-17 du code du travail, ( seuls les travailleurs désignés utilisent l'équipement de travail en question, la maintenance et la modification de cet équipement de travail ne peuvent être réalisés que par les seuls travailleurs affectés à ce type de tâche );
- travaux du bâtiment et des travaux publics exposant les travailleurs à des **risques de chute de hauteur de plus de 3 mètres**;
- travaux exposant à un niveau d'**exposition sonore quotidienne supérieure à 90 dB (A)** ou à un niveau de pression acoustique de crête supérieure à 140 dB;
- travaux exposant à des risques de **noyade**;
- travaux exposant à un risque d'**ensevelissement**;
- travaux de montage , démontage d'éléments préfabriqués **lourds**;
- travaux de démolition;
- travaux dans ou sur des cuves et accumulateurs de matière en atmosphère confinée;
- travaux en milieu **hyperbare**;
- travaux nécessitant l'utilisation d'un appareil à **laser d'une classe supérieure à la classe 3 A**;
- travaux de soudage oxyacétylénique exigeant le recours à un **permis de feu**.

### Contenu du Plan de prévention

Le Plan doit contenir les éléments suivants :

- définition des **phases d'activité dangereuses**, moyens de **prévention** spécifiques;
- **adaptation des matériels**, installations et dispositifs, à la nature des opérations à effectuer,
- définition des conditions d'entretien;
- **instructions** à donner aux **salariés**;
- organisation mise en place pour assurer les premiers secours, description du dispositif mis en place par l'entreprise utilisatrice;
- conditions de la participation des salariés d'une entreprise aux travaux réalisés par une autre pour assurer la coordination nécessaire au **maintien de la sécurité**.
- La liste des postes occupés par les salariés susceptibles de relever de la **surveillance médicale renforcée** doit être fournie par chaque entreprise concernée et figurer dans le plan de prévention.

Les dossiers techniques regroupant les informations relatives à la recherche et à l'identification des matériaux contenant de l'amiante sont joints au plan de prévention.

### Note complémentaire

#### **Article R.4323-17**

Lorsque les mesures prises en application des articles R. 4321-1 et R. 4321-2 ne peuvent pas être suffisantes pour préserver la santé et assurer la sécurité des travailleurs, l'employeur prend les mesures nécessaires pour que :

- 1 Seuls les travailleurs désignés à cet effet utilisent l'équipement de travail ;
- 2 La maintenance et la modification de cet équipement de travail ne soient réalisées que par les seuls travailleurs affectés à ce type de tâche.

#### **Article R.4321-1**

L'employeur met à la disposition des travailleurs les équipements de travail nécessaires, appropriés au travail à réaliser ou convenablement adaptés à cet effet, en vue de préserver leur santé et leur sécurité.

#### **Article R.4321-2**

L'employeur choisit les équipements de travail en fonction des conditions et des caractéristiques particulières du travail. Il tient compte des caractéristiques de l'établissement susceptibles d'être à l'origine de risques lors de l'utilisation de ces équipements.

## Visites réglementaires

Il y a quatre types de vérifications réglementaires :

- les **vérifications initiales**,
- les **essais fonctionnels**,
- les **vérifications périodiques**,
- les **vérifications à la demande de l'administration**

### Vérifications initiales

Pour un nouvel équipement, la remise d'un certificat de conformité et le marquage CE par le constructeur ne sont pas suffisants pour déresponsabiliser l'utilisateur en cas d'accident.

Des vérifications initiales sont imposées lors de la mise en service d'une nouvelle installation ou d'un nouvel équipement. Elles doivent garantir que les installations et équipements neufs, modifiés ou réparés ont bien été conçus, réalisés, installés, modifiés ou réparés conformément aux règles qui leur sont propres. Certaines sont imposées par la réglementation ; d'autres sont à la libre initiative du chef d'établissement.

Dans le domaine **mécanique**, les termes suivants sont utilisés.

#### **Appareils sous pression**

- Contrôle préalable à la mise en service : il concerne certains appareils sous pression : récipients à couvercles amovibles et générateurs soumis à déclaration. Ce contrôle est imposé par l'Arrêté 15.03.2000 modifié par l'Arrêté 30.03.2005.
- Requalification périodique : pour les appareils à pression soumis, elle consiste à une inspection extérieure et intérieure, au contrôle des accessoires de sécurité, et à une réépreuve hydraulique. Celle-ci consiste à soumettre l'appareil à une pression hydraulique supérieure à la pression maximale de service. Cette inspection donne lieu à l'établissement d'un PV de requalification et au poinçonnage de l'appareil.

#### **Appareils de levage**

- Vérification lors de la mise ou remise en service d'un appareil de levage : pour les appareils de levage et leurs supports, il s'agit d'une vérification, d'épreuves statiques, éventuellement dynamiques, et d'essais de fonctionnement. C'est dans le cas où le responsable de leurs mises sur le marché ne s'est pas assuré de l'aptitude à l'emploi dans leurs configurations. Cette vérification est imposée par l'Arrêté du 1 mars 2004.
- Examen de montage et d'installation d'un appareil de levage : il s'agit de s'assurer que l'appareil de levage a bien été monté et installé suivant les conditions prévues par le fabricant, ces dispositions étant requises par l'Arrêté du 1 mars 2004.
- Examen d'adéquation d'un appareil de levage : il s'agit toujours de dispositions requises par l'Arrêté du 1 mars 2004. Cet examen vérifie que
  - l'appareil est approprié aux travaux à effectuer ;
  - l'appareil est approprié aux risques auxquels les travailleurs sont exposés ;
  - l'appareil est utilisé conformément à la notice d'instruction établie par le constructeur.

### Essais fonctionnels

Ces essais doivent avoir lieu chaque jour, ou à chaque démarrage pour les installations fonctionnant en continu. Ils ont pour but de vérifier que l'installation fonctionne normalement et que les dispositifs de sécurité remplissent bien leur rôle.

La formation à la réalisation de ces essais doit être comprise dans la formation au poste de travail de l'opérateur.

### Vérifications périodiques

Elles ont pour objet de vérifier l'état de l'installation et des dispositifs de sécurité, pour identifier toute dégradation qui pourrait entraîner un danger afin de déterminer :

- si une réparation ou un échange est nécessaire dans les meilleurs délais ;

- et si les dispositifs de sécurité peuvent remplir correctement leur fonction jusqu'à la prochaine vérification.

Les textes réglementaires ne précisent pas toujours quelle est la personne qui doit effectuer ces vérifications. Mais la circulaire DRT N°93-22 du 22.09.1993 précise que les vérifications doivent être effectuées par des personnes ayant la compétence requise, ce qui implique, outre la qualification, l'expérience du métier de vérificateur et, en particulier, une pratique habituelle de celui-ci. La réalisation des vérifications par l'utilisateur habituel du matériel est à déconseiller car il peut s'être adapté à un fonctionnement dégradé.

D'une manière générale, il paraît plus prudent de s'adresser à un organisme agréé car il a une connaissance approfondie des risques liés aux installations, des textes réglementaires, et il dispose des appareils de contrôle adéquats

### **Vérification à la demande ou mise en demeure notifiée par l'Administration**

A la demande expresse de l'Inspection du Travail...des vérifications peuvent être demandées. Elles doivent alors être faites par une société ou un organisme reconnu par l'Administration.

Les pages qui suivent sont une synthèse des visites périodiques à faire en application des différents textes réglementaires. Elles ne prétendent pas être exhaustives d'une part, et d'autres part elles peuvent être soumises à modifications.

Elles ne comprennent pas les thèmes suivants : Electricité, éclairage, appareils de bronzage, milieu hyperbare, navires, transport routier.

Les informations concernant ces visites réglementaires peuvent être obtenues auprès de : l'Institut National de Recherche et de Sécurité, l'Inspection du Travail, et tout Organisme agréé.

Les principaux sigles utilisés dans les pages ci-après sont :

RC : Registre des contrôles techniques.

Il ne comprend pas de mesures techniques, mais la date des vérifications, l'identité des vérificateurs et la liste des installations vérifiées. On peut avoir qu'un seul registre pour l'ensemble des installations et il peut être informatisé.

RV : Rapport de vérification ;

Il doit révéler :

- les points d'écart avec la réglementation et les normes obligatoires ;
- les défauts et lacunes pouvant affecter la sécurité d'utilisation des installations.

Les travaux réalisés pour la mise en conformité doivent être justifiés par factures ou annotations portées sur le rapport.

PQC : Personne qualifiée et compétente

OA : Organisme agréé

EC : Entreprise chargée de l'entretien

SIR : Service d'inspection reconnu

Objet de la vérification	Fréquence	Type de vérification	Document	Qualification	Ref
<b>Machines</b>					
<b><u>Machines particulières dont le chargement ou le déchargement est effectué manuellement en phase de production</u></b>	3 mois	Vérification. Essai de fonctionnement, réglages et jeux. Contrôle de l'état des indicateurs	RC	PQC	64
* Presse mécanique et presse hydraulique pour le travail à froid des métaux					
* Presse à vis					
* Presse à mouler par injection ou compression des matières plastiques ou du caoutchouc					
* Presse à mouler les métaux					
* Massicot pour la découpe du papier, du carton, du bois ou des matières plastiques en feuille					
* Presse à façonner les cuirs, peaux, papiers, cartons ou matières plastiques en feuille					
* Presse à platines telles que presse à dorer, à gaufrer, à découper					
* Machines à cylindres pour l'industrie du caoutchouc					
* Presse à balles					
* Compacteur à déchets					
* Système de compactage des véhicules de collecte d'ordures ou de déchets					
<b><u>Autres machines désignées ci-après</u></b>	12 mois	Vérification. Essai de fonctionnement, réglages et jeux. Contrôle de l'état des indicateurs	RC	PQC	64
* Centrifugeuse					
* Machine mobile d'extraction, de terrassement, d'excavation ou de forage du sol à conducteur porté et machine à battre les palplanches					
* Moto houes, motoculteurs sur lesquels peuvent être montés des outils de travail du sol rotatifs					
* Arbres à cardans de transmission de puissance, amovibles entre une machine automotrice ou un tracteur et une machine réceptrice et dispositifs de protection des dits arbres à cardan					
<b><u>Machines à meuler</u></b>					
* Meules	Après montage et avant mise en service	Vérification du montage. Contrôle de la vitesse de rotation	RV	PQC	65
* Broches, flasques, supports de pièces et dispositifs de réglage en position	Périodique	Visite générale	RV	PQC	65
* Vitesse normale d'utilisation	Périodique	Vérification	RC	PQC	65
<b><u>Machines fixes à tronçonner les métaux à fraise scie</u></b>	3 mois ou 500 heures de travail	Visite générale des dispositifs de sécurité	RC	PQC	66

Objet de la vérification	Fréquence	Type de vérification	Document	Qualification	Ref
<b>Machines fixes à tronçonner les métaux à meule</b>	3 mois ou 500 heures de travail	Visite générale des dispositifs de sécurité	RC	PQC	67
<b>Machines à imprimer sur support métallique à feuille par "offset"</b>	Journalière	Fonctionnement des dispositifs de sécurité	RV	PQC	68
	1 mois si travail en équipe. 3 mois autres cas	Etat des différents organes de sécurité			
<b>Machines à imprimer à rouleaux sur tissu</b>	Journalière	Fonctionnement des dispositifs de sécurité	RV	PQC	69
	1 mois si travail en équipe. 3 mois autres cas	Etat des différents organes de sécurité			
<b>Machines à conditionner</b>	Périodique Mise en route des installations Changements de postes	Fonctionnement et état des dispositifs de sécurité	PQC	Registre	70
<b>Installations de traitement des ordures ménagères</b>	Périodique	Vérification du fonctionnement des dispositifs de sécurité	PQC	Livret technique	71
<b>Stations d'épuration</b> * Dispositifs de sécurité (détecteurs de position d'écran, détecteurs de gaz, limiteurs de pression, clapets anti-retour de flamme) * Capacités et canalisations contenant ou véhiculant des produits toxiques, corrosifs, nocifs, explosibles ou inflammables	Périodique	Vérification du fonctionnement et de l'état. Vérification de l'étanchéité	RV	PQC	72
<b>Machines utilisant le chauffage par pertes électriques</b>	A chaque début de poste. Mise en route de la	Essai de fonctionnement des dispositifs de sécurité		Conducteur de la machine	73
	3 mois ou 500 heures de travail	Visite générale des dispositifs de sécurité	RV	PQC	
<b>Tonneaux tournants dans les tanneries et mégisseries</b>	A la prise de chaque poste	Vérification des dispositifs de sécurité	RV	PQC	74
	Périodique	Contrôle général des dispositifs de sécurité			
<b>Pistolets de scellement</b>	Chaque jour avant emploi	Vérification des dispositifs de sécurité		PQC	75
<b>Extraction de matières grasses par un un solvant inflammable</b>					
* Appareils, canalisations et organes de sûreté fonctionnant sous pression de vapeur de solvant inflammable et non assujetti aux dispositions relatives aux appareils sous pression de gaz	Avant mise en service Annuelle	Epreuve Vérification	Consigne	PQC ou OA	76
* Variation de température des matières stockées et teneur résiduelle en solvant inflammable des tourteaux	Périodicité fixée par la consigne de sécurité	Contrôle	Consigne		76
* Tous les appareils	Annuelle	Vérification	RV	PQC	76
* Prises de terre	Semestrielle	Contrôle de la résistance			76
* Installations électriques	Semestrielle	Vérification	RV	OA	76

Objet de la vérification	Fréquence	Type de vérification	Document	Qualification	Ref
<b>Equipements et appareils de Levage</b>					
<b>Appareils de levage</b> y compris ceux mus par la force humaine :  Treuils, palans, vérins - Monorails, portiques, poutres, potence - Ponts roulants - Tables élévatrices - Monte-matériaux, monte-meubles, skip accompagnant - Manipulateurs mus mécaniquement et plans inclinés	Avant mise en service	Examen d'adéquation de montage et d'installation	RV et RC	PQC ou OA	1
	Lors de la remise en service	Examen de l'état de conservation	RV et RC	PQC ou OA	1
	Annuelle	Examen de l'état de fonctionnement et Essai de fonctionnement	RV et RC	PQC ou OA	1
<b>Appareils de levage</b> y compris ceux mus par la force humaine, à déplacement fréquent :  Engins de terrassement lorsqu'ils sont équipés pour le levage - Gerbeurs ou chariots à conducteur - Grues d'atelier - Grues hydrauliques auxiliaires - Grues mobiles automotrices ou sur véhicule porteur - Hayons élévateurs - Monte-matériaux, monte-meubles, skip accompagnant - Palans non installés à demeure	Lors de la remise en service	Essai de fonctionnement (sauf pour les appareils en location)	RV et RC	PQC ou OA	1
	Semestrielle	Examen de l'état de fonctionnement et Essai de fonctionnement	RV et RC	PQC ou OA	1
<b>Chariot automoteur à conducteur porté</b>	Lors de la remise en service	Essai de fonctionnement (sauf pour les appareils en location)	RV et RC	PQC ou OA	1
	Semestrielle	Examen de l'état de fonctionnement et Essai de fonctionnement	RV et RC	PQC ou OA	1
<b>Appareils motorisés conçus pour le transport de personnes ou pour l'élévation de postes de travail :</b>  Elévateurs à nacelles automoteurs ou non ou installés sur véhicules porteurs - Appareil de manutention à poste de conduite éleable - Elévateurs de postes de travail tels qu'échafaudages volant motorisés ou non - Plates-formes s'élevant le long des mâtes verticaux - Ascenseurs de chantier	Lors de la remise en service	Essai de fonctionnement (sauf pour les appareils en location)	RV et RC	PQC ou OA	1
	Semestrielle	Examen de l'état de fonctionnement et Essai de fonctionnement	RV et RC,	PQC ou OA	1
<b>Appareils pour l'élévation de postes de travail mus à la main</b>	Lors de la remise en service	Essai de fonctionnement (sauf pour les appareils en location)	RV et RC	PQC ou OA	1
	Trimestrielle	Examen de l'état de fonctionnement et Essai de fonctionnement	RV et RC	PQC ou OA	1



## Sécurité : visites réglementaires

Objet de la vérification	Fréquence	Type de vérification	Document	Qualification	Ref
<b><u>Ponts élévateurs de véhicules :</u></b>	Lors de la remise en service	Essai de fonctionnement (sauf pour les appareils en location)	RV et RC	PQC ou OA	1
Type à plate-forme suspendue - Type ascenseur hydraulique	Trimestrielle	Contrôle suspente	RV	PQC ou OA	2
	Hebdomad.	Contrôle niveau d'huile	RV	PQC ou OA	2
<b><u>Accessoires de levage :</u></b>	Avant mise en service	Examen d'adéquation	RV et RC	PQC ou OA	1
Elingues - Palonnier - Pince auto-serrante - Aimant - Ventouse et cé de levage	Annuelle	Examen de l'état de conservation	RV et RC	PQC ou OA	1
<b><u>Ascenseurs et monte-charges</u></b>					
<b><u>Etablissements assujettis au Code du travail :</u></b>					
Portes et dispositifs de sécurité	Journalière	Essai de verrouillage	RC	PQC ou OA	3
Organes mécaniques	Mensuelle	Entretien préventif	RV	EC	4
Organes de levage (câbles, chaînes)	Semestrielle	Vérification	RC et RV	EC ou OA	3
Organes de sécurité (y compris les dispositifs parachute)	Annuelle	Examen et essai	RC et RV	EC ou OA	3
<b><u>Etablissements recevant du public</u></b>					
<b><u>Etablissement du 1er groupe</u></b>	Après transformat. importante	Examen de conformité aux normes et règlements ERP et Essai	RV	OA	5 6
Installation	5 ans	Examen de conformité aux normes et à la réglementation et Vérification	RV	OA	5 6
Dispositifs de sécurité et de vitesse	Annuelle	Essai	RV	EC ou OA	5 6
Câbles et chaînes de suspension	Semestrielle	Epreuve	RV	EC ou OA	5 6
<b><u>Etablissement de 5ème catégorie</u></b>	Semestrielle	Vérification de bon fonctionnement	RV	EC ou OA	7
<b><u>Immeubles de grande hauteur</u></b>					
Installation	Avant occupation des locaux et après modification	Examen de conformité aux normes et règlements IGH	RC	EC ou OA	8
	Semestrielle	Vérification de bon fonctionnement	RC	EC ou OA	8

Pour les appareils de levage, l'article L.620-6 du Code du Travail impose un **registre de sécurité**. L'Arrêté du 2 mars 2004 impose par ailleurs l'existence d'un **carnet de maintenance** tenu à jour pour chaque appareil de levage.  
Le registre de sécurité peut remplacer le registre des contrôles techniques.

## Sécurité : visites réglementaires

Objet de la vérification	Fréquence	Type de vérification	Document	Qualification	Ref
<b><u>Tous les ascenseurs</u></b>	6 semaines	Surveillance générale de l'équipement et efficacité des serrures portes palières...	RV	EC	9
	Semestrielle	Bon état des câbles	RV	EC	10
	Annuelle	Vérification annuelle du parachute, nettoyage,...	RV et RC	EC	
	5 ans	Contrôle technique	RV	Contrôleur agréé, organisme notifié ou accrédité	10 et 11
<b>Cuves, Réservoirs et Tuyauteries</b>					
<b><u>Cuves</u></b>					
* Cuves, bassins, réservoirs contenant des produits corrosifs	Annuelle	Vérification	RC	PQC	41
* Cuves de brasserie des tanneries	Semestrielle	Vidange, nettoyage			42
* Réservoir enterré contenant des liquides inflammables	A la mise en service. Au plus tard 25 ans après la mise en service puis tous les 5 ans	Epreuve	Registre de contrôle des nettoyages et vidanges	OA	43
* Réservoir simple enveloppe avant le 19.07.1998	Au plus tard 25 ans après la mise en service puis tous les 5 ans	Réépreuve		OA	44
* Réservoir simple enveloppe en fosse	Au plus tard 25 ans après la mise en service puis tous les 5 ans	Réépreuve		OA	45
<b><u>Silos</u></b>					
* Installations soumises à autorisation	Annuelle	Vérification de l'état de conformité		Organisme compétent	79
* Installations soumises à déclaration	Annuelle	Vérification de l'état de conformité		Organisme compétent	80
<b><u>Bande transporteuse</u></b>	Périodique	Vérification	RV	PQC	81
<b><u>Stockage de liquide corrosif (cuves, bassins, réservoirs)</u></b>	Annuelle	Vérification	RV	PQC	82
<b><u>Stockage de liquide inflammable &gt; 10m3</u></b> <b>Réservoirs</b>					
* Tous les réservoirs	10 ans	Visite intérieure en l'absence de dispositif de détections de fuite dans les fonds des réservoirs	RV	PQC	83

Objet de la vérification	Fréquence	Type de vérification	Document	Qualification	Ref
* Réservoirs enterrés simple enveloppe	5 ans Au plus tard 15 jours après la mise en service	Contrôle d'étanchéité		OA	84
* Réservoirs en fosse à simple paroi	5 ans Au plus tard 15 jours après la mise en service	Contrôle d'étanchéité		OA	84
Autres dispositifs					
* Canalisations de remplissage, de soutirage	10 ans	Contrôle d'étanchéité		OA	84
* Emulseurs	Annuelle	Contrôle de fonctionnement		PQC	83
Equipements sous pression					
Récipients à pression de gaz (hors CAFR et RPS voir plus loin)					
Pour les récipients dont PS > 4 bar et PS.V > 10000 bar.l	Avant mise en service	Déclaration de mise en service			53
Pour les récipients et les accessoires de sécurité :					
* Gaz du groupe 1 (fluides explosifs, toxiques inflammables ou comburant) dont PS > 0,5 bar et PS.V > 50 bar.l	40 mois Avant remise en service en cas d'arrêt prolongé	Inspection périodique	RV	PQC ou OA ou SIR service d'inspection reconnu	53
* Gaz du groupe 2 (tous les autres fluides) dont PS > 4 bar et PS.V > 200 bar.l					
Pour les récipients et les accessoires de sécurité (retarage ou remplacement des soupapes si PS.V > 3000 bar.l)	3,5 ou 10 ans selon la nature du fluide , et en cas de réparation ou modification notable	Requalification périodique. Pour gaz du groupe 1 requalification sans épreuve si PS < 4 bar et PS.V < 80 bar	Procès-verbal d'épreuve	Expert désigné par le préfet	53
* Gaz du groupe 1					
* Gaz du groupe 2 dont PS > 4 bar et PS.V > 200 bar.l					
RPS Récipients à pression simple CE					
Appareils fabriqués en série de construction soudée, soumis à une pression intérieure relative supérieure à 4 bar destinés à contenir de l'air ou de l'azote et non soumis à l'action de la flamme					
* PS.V > 10000 bar.l	Avant mise en service	Déclaration de mise en service			53
* PS.V > 200 bar.l	40 mois Avant remise en service en cas d'arrêt prolongé	Inspection périodique	RV	PQC ou OA ou SIR service d'inspect. reconnu	53
	10 ans. En cas de modification ou de réparation notable	Requalification périodique	Procès-verbal d'épreuve	Expert désigné par le préfet	53

Objet de la vérification	Fréquence	Type de vérification	Document	Qualification	Ref
<b>Récipients à pression de vapeur ou d'eau surchauffée (hors CAFR voir plus loin)</b> <u>Pour les récipients dont PS &gt; 4 bar et PS.V &gt; 10000 bar.l</u>	Avant mise en service	Déclaration de mise en service			
<u>Pour les récipients et les accessoires de sécurité dont PS &gt; 0,5 bar et PS.V &gt; 200 bar.l</u>	40 mois ou 18 mois pour les récipients construits suivant décret du 02.04.26 si l'épreuve précédente n'a pas été faite à pleine charge	Inspection périodique	RV	PQC ou OA ou SIR service d'inspect. reconnu	53
<u>Pour les récipients et les accessoires de sécurité dont PS &gt; 0,5 bar et PS.V &gt; 200 bar.l (retarage ou remplacement de soupapes si PS.V &gt; 3000 bar.l)</u>	10 ans. En cas de modification ou de réparation notable	Requalification périodique	Procès-verbal d'épreuve	Expert désigné par le préfet	53
<b>Récipients à couvercle amovible à fermeture rapide (CAFR) à pression de gaz ou de vapeur ou d'eau surchauffée</b>					
<u>Pour les récipients dont :</u> * Gaz du groupe 1 (fluides explosifs, toxiques inflammables ou comburant) dont PS > 0,5 bar et PS.V > 50 bar.l * Ou Gaz du groupe 2 (tous autres fluides) dont PS > 0,5 bar et PS.V > 200 bar.l	Avant mise en service	Contrôle et déclaration de mise en service		OA	53
<u>Pour les récipients et les accessoires de sécurité</u>  * Gaz du groupe 1 dont PS > 0,5 bar et PS.V > 50 bar.l  * Ou Gaz du groupe 2 (tous autres fluides) dont PS > 0,5 bar et PS.V > 200 bar.l	1ère inspection 1 mois après mise en service; ensuite tous les 18 mois	Inspection périodique périodique	RV	PQC ou OA ou SIR service d'inspect. reconnu	53
<u>Pour les récipients et les accessoires de sécurité (retarage ou remplacement des soupapes si PS.V &gt; 3000 bar.l) :</u>  * Gaz du groupe 1 dont PS > 0,5 bar et PS.V > 50 bar.l * Gaz du groupe 2 dont PS > 0,5 bar et PS.V > 200 BAR.L	10 ans 3 ou 5 pour certains gaz En cas de modification ou de réparation notable	Requalification périodique	Procès-verbal d'épreuve	Expert désigné par le préfet	53

Objet de la vérification	Fréquence	Type de vérification	Document	Qualification	Ref
<b>Générateur de vapeur ou d'eau surchauffée</b>					
Pour les <u>générateurs</u> dont :	Avant mise en service	Contrôle de mise en service et Déclaration de mise en service		OA	53
* PS < 32 bar et V < 25 l					
* PS > 0,5 bar et V < 2400 l					
μ 2,5 < PS < 32 bar et PS.V > 6000 bar.l					
Pour les <u>générateurs</u> et les <u>accessoires de sécurité</u> exploités APHP (avec présence humaine permanente) dont PS > 0,5 bar et V > 25l	18 mois	Inspection périodique	RV	PQC ou OA ou SIR service d'inspect. reconnu	53
Pour les <u>générateurs</u> et les <u>accessoires de sécurité</u> exploités SPHP (sans présence humaine permanente) dont PS > 0,5 bar et V > 25l	18 mois 1ère inspection 1 mois après mise en service puis contrôles des sécurités et du mode	Inspection périodique	RV	PQC ou OA ou SIR service d'inspect. reconnu	53
Pour les <u>générateurs</u> et les <u>accessoires de sécurité</u> (retarage ou remplacement des soupapes si PS.V > 3000 bar.l) dont PS > 0,5 bar et V > 25l	10 ans En cas de modification ou de réparation notable	Requalification périodique	Procès-verbal d'épreuve	Expert désigné par le préfet	53
<b>Tuyauteries d'usine</b>					
Pour les <u>tuyauteries</u> dont :	Avant mise en service	Déclaration de mise en service			53
* Gaz du groupe 1 dont PS > 4 bar et DN > 100					
* Gaz du groupe 2 dont PS > 4 bar et DN > 200					
Pour les <u>tuyauteries</u> et les <u>accessoires de sécurité</u> :	Aussi souvent que nécessaires	Inspection périodique	RV	PQC ou OA ou SIR service d'inspect. reconnu	53
* Gaz du groupe 1 dont PS > 0,5 bar et DN > 25					
* Gaz du groupe 2 dont PS > 4 bar et DN > 100					
Pour les <u>tuyauteries</u> et les <u>accessoires de sécurité</u> (retarage ou remplacement des soupapes si PS.V > 3000 bar.l) :	10 ans 3 ou 5 pour certains gaz En cas de modification ou de réparation notable	Requalification périodique	Procès-verbal d'épreuve	Expert désigné par le préfet	53
* Gaz du groupe 1 dont PS > 4 bar et DN > 100					
* Gaz du groupe 2 dont PS > 4 bar et DN > 250					
<b>Accumulateurs construits selon décret N° 63 modifié du 18.01.1943</b>					
Tous les accumulateurs hydropneumatiques à séparateur quel que soit le dispositif de séparation utilisé entre le gaz et le fluide hydraulique et accumulateurs à corps forgé d'une seule pièce sans séparateur	3 ans Avant remise en service après arrêt prolongé	Vérification intérieur et extérieure	RV	PQC	54
Appareils dont la face interne ne peut être en contact en service normal qu'avec de l'azote, un gaz rare de l'air ou une huile minérale ou une huile pour turbine	10 ans Après nouvelle installation	Réépreuve	Procès-verbal d'épreuve	Expert désigné par le préfet	54

Objet de la vérification	Fréquence	Type de vérification	Document	Qualification	Ref
Autres appareils	5 ans Après nouvelle installation	Réépreuve	Procès-verbal d'épreuve	Expert désigné par le préfet	54
<b>Accumulateurs construits selon décret N° 99 1046 du 13.12.1999</b> Voir le paragraphe concernant les Récipients à pression de gaz (hors CAFR et RPS)					
<b>Fûts à bière</b>	Après le 1er janvier de la 2ème année suivant celle de la fabrication du fût	Réépreuve	Procès-verbal d'épreuve	Expert désigné par le préfet	55
<b>Environnement au travail</b>					
<b>Aération - Installation de ventilation</b>					
<u>Local à pollution non spécifique :</u>					
* Etat des éléments de l'installation	Annuelle	Examen	RV	PQC	12
* Débit global minimum d'air neuf		Contrôle			
* Conformité des filtres de rechange		Contrôle			
* Etat des systèmes de traitement de l'air		Examen			
* Pression statique ou vitesse d'air à chaque point caractéristique de l'installation		Contrôle			
* Débit d'air	Mise en demeure de l'inspecteur du travail	Mesure	RV	OA	13
* Filtres		Contrôle			
* Situation de prise d'air		Contrôle			
<u>Local à pollution spécifique - air non recyclé</u>					
* Débit global d'air extrait	Annuelle	Contrôle	RV + RC	PQC	14
* Etat des éléments de l'installation		Examen			
* Pression statique ou vitesse d'air à chaque point caractéristique de l'installation		Contrôle			
<u>Local à pollution spécifique - air recyclé</u>					
* Concentration de poussières ou en polluants dans les gaines de recyclage ou à leur sortie dans un écoulement canalisé	Semestrielle	Contrôle	RV + RC	PQC	14
* Systèmes de surveillance mis en œuvre		Contrôle			
* Efficacité d'épuration	Mise en demeure de l'inspecteur du travail	Mesure	RV	OA	15
* Filtres dépoussiéreurs, épurateurs, systèmes de surveillance		Contrôle			
* Concentration en poussières totales et alvéolaires		Mesure			
* Pressions antistatiques ou vitesse d'air		Mesure			
* Concentrations en polluants faisant l'objet de valeurs réglementaires		Mesure			
<b>Atmosphère des lieux de travail</b>					
* Générateurs d'air chaud avec système d'épuration avant recyclage	Régulier	Vérification et nettoyage	Instruction de service		56

## Sécurité : visites réglementaires

Objet de la vérification	Fréquence	Type de vérification	Document	Qualification	Ref
* Dispositif de dépoussiérage des extracteurs d'air	Périodicité fixée par l'instruction de service ou la consigne de sécurité	Vérification et nettoyage	Dossier de sécurité		56
* Atmosphère	Périodicité fixée par l'instruction de service ou la consigne de sécurité	Contrôle	Dossier de sécurité		56
<b><u>Locaux dans lesquels le personnel est exposé aux poussières d'amiante</u></b>					
<u>Activités de fabrication et de transformation de matériaux contenant de l'amiante</u>	Trimestrielle	Prélèvement	Liste des travailleurs exposés et niveau de l'exposition	PQC	16
* Atmosphère des lieux de travail	Annuelle	Contrôle	RV	OA	16
* Installations et appareils de protection collective, notamment installations de captage, filtration, ventilation	Régulière	Vérification et entretien	Notice faite par l'employeur.	Employeur	16
* Equipements de protection individuelle	Régulière	Vérification		Employeur	
<u>Activités et interventions sur des matériaux ou appareils susceptibles d'émettre des fibres d'amiante</u>	Avant tout travail d'entretien et de maintenance	Vérification	RV	Employeur	16
<p>Le chef d'établissement est tenu :</p> <p>* de s'informer de la présence éventuelle d'amiante dans les bâtiments concernés avant tout travail d'entretien ou de maintenance; à cet effet il est tenu de demander au propriétaire des bâtiments le résultat des recherches et contrôles effectués par ce dernier, conformément aux dispositions du décret 96-97 modifié du 7.2.1996</p> <p>* d'évaluer par tout autre moyen approprié au type d'intervention le risque éventuel de présence d'amiante sur les équipements ou installations concernés.</p>					
<b><u>Locaux dans lesquels le personnel est exposé au benzène</u></b>					
<u>Tous les établissements</u>					
* Installations et appareils de protection collective	Hebdomad.	Vérification visuelle	Consignes écrites	PQC	18
* Matériel de mesure	Annuelle	Vérif. Ré-étalonnage	RC	PQC	
* Vérification des valeurs limites	Annuelle	Contrôle technique	RC	OA	19
<u>Etablissements à risques réduits</u>	Annuelle	Contrôle	RV	OA	
<u>Autres établissements</u>	Au moment de l'utilisation	Contrôle	RV	OA	18
<b><u>Locaux dans lesquels le personnel est exposé au chlorure de vinyle monomère</u></b>					
* Atmosphère des lieux de travail	Continue	Contrôle par analyse	RC		20
* Moyens de contrôle	Insp. Travail	Essais	RC	OA	18
* Vérification des valeurs limites	Annuelle	Contrôle technique		OA	21
<b><u>Locaux présentant des risques d'émanation d'oxyde de carbone</u></b>					
* Installation de ventilation	Annuelle	Contrôle	RC	OA	22
* Atmosphère	Mensuelle	Contrôle	RC	Employeur	22

Objet de la vérification	Fréquence	Type de vérification	Document	Qualification	Ref
<b><u>Locaux dans lesquels le personnel est exposé au plomb ou à ses composés</u></b>					
Tous les établissements					
* Concentration en vapeurs, fumées ou poussières de plomb dans l'air	Après incident ou modification	Contrôle	RC et RV	OA	20
* Plombémie de chaque travailleur exposé	Insp. Travail	Dosage	RV	Laboratoire agréé	23
* Vérification des valeurs limites	Annuelle	Contrôle technique		OA	23
<b><u>Etablissements dans lesquels la concentration dans l'atmosphère est &gt; 75µg/m3 sur 40 heures ou la plombémie est &gt;40µg/100 ml de sang</u></b>					
* Concentrations en vapeurs, fumées ou poussières de plomb dans l'air	Annuelle ou trimestrielle en fonction du niveau de pollution	Contrôle	RC et RV	OA ou laboratoire agréé	24
* Plombémie de chaque travailleur exposé		Dosage			
<b><u>Locaux dans lesquels le personnel est exposé à l'inhalation de poussières contenant de la silice</u></b>					
* Zone respiratoire du personnel exposé	Contrôle initial	Contrôle	RC	OA	20
* Valeurs limites d'exposition	Périodique	Contrôle	RV	OA	23
<b><u>Locaux dans lesquels le personnel est exposé à l'inhalation de poussières contenant de la poussière de bois</u></b>					
	Continue	Contrôle par analyse	Résultats		20
* Moyens de contrôle	Insp. Travail	Essais	Résultats	OA	25
* Vérification des valeurs limites	Annuelle	Contrôle technique	RC	OA	26
<b><u>Locaux dans lesquels l'exposition sonore quotidienne est &gt; 80dB A ou un niveau de pression acoustique de crête de 135 dB C</u></b>					
	Au moins tous les 5 ans	Mesure	RC	OA	27
* Installations classées soumises à autorisation	Fixée par arrêté d'autorisat.	Mesure du niveau de bruit diurne, et nocturne	RC	OA	28
<b>Bâtiment et travaux publics (BTP)</b>					
<b><u>Tous matériels du BTP</u></b>					
* Conformité à la législation	Remise en service	Examen	RC	PQC	29
	Insp. Travail	Examen	RC	OA	29
* Dispositifs fixes pour travaux sur toiture	Avant utilisation	Examen	RC	PQC	29
* EPI : état d'utilisation immédiat	Avant attribution	Vérification et nettoyage		Chef d'établist	29
<b><u>Echelles</u></b>	Remise en service après incident ou modification	Examen de conformité à la réglementation	RC	PQC	29
	Insp. Travail	Examen de conformité à la réglementation	RC	OA	30



## Sécurité : visites réglementaires

Objet de la vérification	Fréquence	Type de vérification	Document	Qualification	Ref
<b><u>Echafaudage</u></b>					
	Tous les jours	Vérification avant remise en service	RC	PQC	30
	Trimestrielle	Examen de l'état de conservation		PQC	30
	Après toute réparation importante ou accident	Examen d'adéquation Epreuve statique Essai	RC	PQC	31
<b><u>Explosifs (appareils électriques de mise à feu autonomes)</u></b>	Annuelle	Vérification	Notes techniq.		32
<b><u>Engins de terrassement, d'extraction, matériel de fotage, machines à battre les palplanches</u></b>					
* Etat de propreté, de fixation des éléments de protection, de stabilité de la machine	Annuelle	Vérification visuelle	RC	PQC	33
* Dispositifs de protection		Essai de fonctionnement			
* Réglages et jeux, niveaux des fluides, pression d'air..		Vérification			
* Etat des appareils de mesure et d'alarme		Vérification			
<b><u>Plans inclinés</u></b>					
* Ensemble de l'installation	Annuelle	Epreuve	RV	PQC	34
	Journalière	Essai de bon fonctionnement			
* Dispositif de liaison	chaque reprise du travail	Essai			
* Organes de l'installation, câble tracteur, pattes d'attache, épissures	Mensuelle et après arrêt prolongé	Examen		PQC	
<b><u>Matériels pouvant transporter des personnes</u></b>					
* Appareils de contrôle du fonctionnement et du freinage	Annuelle, semestrielle si l'usage est intensif	Essai de fonctionnement	RV	OA	34
* Dispositif de liaison station véhicule	transport	Essai		PQC	
* Appareils de sécurité	Journalière	Vérification		PQC	
* Organes de l'installation	Hebdomadaire et après tout arrêt prolongé	Examen		PQC	
<b><u>Travaux souterrains : parois des puits et galeries souterraines, toit, travaux de consolidation effectués, dispositifs de soutènement en place</u></b>	A la reprise de chaque poste de travail	Examen	RC	PQC	35
<b><u>Chantiers navals</u></b>					
* Dispositifs pour travaux en hauteur	après arrêt prolongé	Vérification	RC	PQC	36
* Echelles	Semestrielle	Contrôle	RC	PQC	37
<b>Equipements de protection individuelle</b>					
* Tous les équipements	A chaque utilisation	Vérification de maintien en état de conformité			49

## Sécurité : visites réglementaires

Objet de la vérification	Fréquence	Type de vérification	Document	Qualification	Ref
* Appareils de protection respiratoire et équipements complets destinés à des interventions accidentelles en milieu hostile * Gilets de sauvetage gonflables * Stocks de cartouches filtrantes antigaz pour appareils de protection respiratoire * Système de protection individuelle contre les chutes de hauteur	Annuelle Sur mise en demeure de l'inspecteur du travail	Vérification de l'état et de l'efficacité. Contrôle du respect des instructions de stockage et de validité	RC	PQC	50
* Ligne de vie * Points d'ancrage pour EPI	A la mise en service ou lors de modifications	Vérification de l'état de conformité. Essai de traction sur ancrage à la mise en service Annexe à NF EN 795	Certificat de conformité à la norme	PQC	51
	Annuelle	Vérification du maintien en état	RC	PQC	52
<b>Entreprises extérieures</b>					
* Matériel mis à la disposition de l'entreprise intervenante et lieux de travail	Avant le début des travaux	Inspection commune	Plan de prévention	Chefs des entreprises extérieure et utilisatrice	47
*Coordination des mesures de prévention	Pendant l'exécution des travaux suivant périodicité fixée par le chef de l'entreprise utilisatrice ou à la demande du chef de l'entreprise extérieure	Réunion et inspection commune	Mise à jour du plan de prévention	Chefs des entreprises extérieure et utilisatrice	48
<b>Légionelles</b>					
<b><u>Légionelles</u></b>  * Déclaration obligatoire, installations concernées : - réseau d'eau chaude sanitaire - installations de conditionnement d'air tours aéro-réfrigérantes	Autant de fois jusqu'à l'obtention d'une concentration en légionelles inférieure aux valeurs préconisées	Surveillance et prévention de la légionellose. Mise en œuvre d'un traitement efficace contre la prolifération des légionelles		Personne formée à cet effet	62
<b>Pour tous établissements et installations concernées</b>  Déclaration d'un cas de légionellose : enquête technique (diagnostic, mesures correctives). Prévention en l'absence de cas : bonnes pratiques d'entretien des réseaux ECS, tours aéro-réfrigérantes, systèmes de climatisation, bains à remous, bassins à jets.		Surveillance et prévention de la légionellose.			62

## Sécurité : visites réglementaires

Objet de la vérification	Fréquence	Type de vérification	Document	Qualification	Ref
<b>Tours aéro-réfrigérantes</b> <u>Tours dont la puissance thermique évacuée est maxi &lt; 2000 kW</u>  Prescriptions générales applicables aux installations classées pour la protection de l'environnement soumises à la déclaration sous les rubriques N°2921 : installations de refroidissement par dispersion d'eau dans un flux d'air.	Prélèvements bimestriels. Si concentration < 1000 UFC/L pendant 12 mois continus, prélèvements <u>Si concentration &gt; 100 000 UFC/L</u> * arrêt installation  * vidange, nettoyage, désinfection  * arrêt installation	Surveillance des légionelles	Carnet de suivi  * information "inspection des installations classées" par fax  * remise en service et analyse 48h après, puis prélèvement tous les 15 jours durant 3 mois. <u>Si concentration entre 1 000 et 100 000 UFC/L</u> * vidange, nettoyage, désinfection * prélèvement dans les 2 semaines consécutives au nettoyage * traitement et analyse renouvelés tant que concentration n'est pas < 1 000 UFC/L <u>consécutives &gt; 1 000 UFC/L</u> Analyse de la conception d'installation	Prélèvem. par PQC ou Laboratoire	63
Depuis le 01.01.2007	A la mise en service. Tous les 2 ans ou tous les ans s'il n'y a pas d'arrêt annuel ou si un résultat > 100 000 UFC/L	Contrôle	RV	OA	

## Sécurité : visites réglementaires

Objet de la vérification	Fréquence	Type de vérification	Document	Qualification	Ref
<p><u>Tours dont la puissance thermique évacuée est maxi &gt; 2000 kW</u></p> <p>Prescriptions générales applicables aux installations classées pour la protection de l'environnement soumises à la déclaration sous les rubriques N°2921 : installations de refroidissement par dispersion d'eau dans un flux d'air.</p>	<p>Prélèvements mensuels. Si concentration &lt; 1000 UFC/L pendant 12 mois continus, prélèvements</p> <p><u>Si concentration &gt; 100 000 UFC/L</u></p> <p>* arrêt installation</p> <p>* vidange, nettoyage, désinfection</p> <p>* arrêt installation</p>	Surveillance des légionelles	<p>Carnet de suivi</p> <p>* information "inspection des installations classées"</p> <p>* remise en service et analyse 48h après, puis prélèvement tous les 15 jours durant 3 mois.</p> <p><u>Si concentration entre 1 000 et 100 000 UFC/L</u></p> <p>* vidange, nettoyage, désinfection</p> <p>* prélèvement dans les 2 semaines consécutives au nettoyage</p> <p>* traitement et analyse renouvelés tant que concentration n'est pas &lt; 1 000 UFC/L</p> <p><u>consécutives &gt; 1 000 UFC/L</u></p> <p>Analyse de la conception</p>	Prélèvem. par PQC ou Laboratoire	63
Depuis le 01.01.2006	A la mise en service. Tous les 2 ans ou tous les ans s'il n'y a pas d'arrêt annuel ou si un résultat > 100 000 UFC/L	Contrôle	RV	OA	
<b>Installations thermiques et frigorigènes</b>					
<b><u>Fours à combustible liquide ou gazeux</u></b>					
* Chambre de combustion, trappes de visite, position des brûleurs	Lors du redémarrage à froid	Inspection	Plan de révision et d'entretien	PQC	57
* Détecteurs de flamme - Limiteurs de l'installation	Quotidienne	Inspection	Plan de révision et d'entretien	PQC	57
* Allumeur ou veilleuse - Filtres - Injecteur du brûleur	Hebdomadaire et après tout arrêt prolongé	Essai	Plan de révision et d'entretien	PQC	57

## Sécurité : visites réglementaires

Objet de la vérification	Fréquence	Type de vérification	Document	Qualification	Ref
* Alimentation en air de combustion - Evacuation des fumées - Pressostats - Thermostats	Mensuelle	Vérification	Plan de révision et d'entretien	PQC	57
*Vanne d'admission du brûleur	Mensuelle	Vérification	Plan de révision et d'entretien	PQC	57
* Composants du brûleur et du système de détection de flamme - Canalisations, câblage des dispositifs de sécurité et d'alarme	Semestrielle	Inspection	Plan de révision et d'entretien	PQC	57
* Instruments de mesure	Semestrielle	Etalonnage	Plan de révision et d'entretien	PQC	57
* Lampes et électrodes du détecteur de flamme, limiteurs de l'installation chauffée	Annuelle	Remplacement	Plan de révision et d'entretien	PQC	
<b><u>Maturation par chauffage au gaz à flamme nue de fruits et légumes</u></b>					
* Canalisations de gaz, vannes, appareils de chauffage et dispositifs de commande et de sécurité	Semestrielle	Vérification	Registre		58
* Appareils de protection individuelle	Annuelle	Contrôle	Registre		58
<b><u>Fluides frigorigènes</u></b>					
Voir § Equipements sous pression					
* Charge de fluide frigorigène > 2 kg	Lors de la mise en service puis 1 an	Contrôle d'étanchéité des éléments assurant le confinement du fluide frigorigène		PQC ou OA	59
* Charge de fluide frigorigène < 30 kg	6 mois			PQC ou OA	59
* Charge de fluide frigorigène > 30 kg	1 mois			PQC ou OA	59
* Système de climatisation et pompe à chaleur réversible puissance frigorifique normale > 100 kW	5 ans	Inspection		PQC ou OA	60
* Système de climatisation et pompe à chaleur réversible puissance frigorifique normale > 12 kW	5 ans	Inspection		PQC ou OA	60
<b><u>Installations thermiques &gt; 400kW</u></b>					
* Respect des rendements caractéristiques minima	2 ans	Examen approfondi Vérification du livret de chaufferie	Compte-rendu	Expert agréé	61
* Existence et bon fonctionnement des appareils de mesure					
Bon état des installations destinées à la distribution de l'énergie thermique					
Tenue du livret de chaufferie					
<b>Divers</b>					
<b><u>Risque chimique</u></b>					
	Avant exposition du personnel	Evaluation des risques	Notice établie pour chaque poste de travail	Chef d'établis.	38

## Sécurité : visites réglementaires

Objet de la vérification	Fréquence	Type de vérification	Document	Qualification	Ref
<u>Poste de travail exposant à des agents chimiques</u>	Annuelle	Contrôle technique pour assurer le respect des valeurs limites de concentration	RC	OA	39
<u>Installations et appareils de protection collective</u>	Régulière	Vérification	Notice fixant les procédures pour assurer la mainten. des installat.		40
<b><u>Postes de travail exposant à des agents cancérogènes</u></b>					
* <u>Sols, murs, et autres surfaces</u>	Régulière	Nettoyage			38
* <u>Vêtements de protection</u>	Avant et après utilisation	Vérification et nettoyage			38
<b><u>Echelles</u></b>	Semestrielle	Contrôle visuel	RC	PQC	46
<b><u>Portes et portails</u></b>					
* Portes et portails manuels ou motorisés	Régulièrement	Contrôle	RV	PQC	77
* Portes et portails automatiques ou semi-automatiques : éléments de guidage, articulations, fixations, système d'équilibrage	Semestrielle ou à la suite d'une défaillance	Vérification périodique	RV	PQC	78
<b><u>Explosifs</u></b>					
Etablissements dans lesquels sont manipulés des matériels explosibles	Quotidien	Vérification et nettoyage	Instruction de service		56
<b><u>Matériel et outillage</u></b>					
* Tous matériels	Périodicité fixée par l'instruction de service	Entretien	Instruction de service		56
* Equipements de protection individuelle	un nouveau titulaire	Vérification et nettoyage	Instruction de service		56
* Vêtements de travail	Aussi souvent que nécessaires	Entretien et nettoyage			56
<b>* Matières explosibles dont le vieillissement compromet la stabilité chimique</b>	Périodicité fixée par la consigne de sécurité	Contrôle	RC	Personne désignée par le chef d'établis.	56

# Sécurité : visites réglementaires

Ref	Règlement	Ref	Règlement
1	Code du travail , article R4323-2 Arrêté 01.03.2004	43	Arrêté 02.10.1990
2	Arrêté 27.07.61, article 2	44	Arrêté 22.06.1998
3	Décret 10.07.1913 modifié article 11f	45	Arrêté 18.04.2008
4	Arrêté 11.03.1977, article 1	46	Arrêté 15.07.1963 Aricle 7
5	Règlement de sécurité incendie ERP 25.06.1980, articles A59 et GE9	47	Code du travail Articles R4512-2 et 6
6	Arrêtés 06.03.2006, 28.03.2007, 26.06.2008	48	Code du travail Articles R4513-1 et 5
7	Arrêté 10.10.2005	49	Code du travail Article R4322-1
8	Arrêté 18.10.1977, articles GH4 et GH59	50	Code du travail Article R4721-12 Arrêté 19.03.1993
9	Articles L125-2-1, L125-2-2, L125-2-3, R125-2-4	51	Article L4311-2 + NF EN 795
10	Décret 2004-964 du 09.09.04	52	Article L4321-1
11	Arrêté 28.11.04 et modifié le 13.08.05	53	Décret N° 99-1046 du 13 décembre 1999 Arrêté modifié le 30.03.2005
12	Code du travail, article R4222 Arrêté 08.10.1987, article 3	54	Arrêté 15.03.2000 modifié par arrêté 30.03.2005
13	Arrêté 09.10.1987, article 1A	55	Arrêté 16.05.1978
14	Arrêté 08.10.1987, article 4	56	Décret N°79.846 du 28.09.79
15	Arrêté 09.10.1987, article 1B, 1C	57	Arrêté 03.11.1977
16	Décret N°96-98 modifié 07.02.1996	58	Arrêté 27.06.1963
17	Code de la santé publique article R4412-14	59	Arrêté 07.05.2007. Code l'environnement article R543-79
18	Article D4152-10	60	Décret 2010-349 du 31.03.2010
19	Code du travail R4724-10 Décret 2009-1570 du 15.12.2009	61	Décret N°2009-648 du 09.06.2009 Arrêté 02.10.2009
20	Article R4412-149	62	Circulaires DGS N°97/38 du 24.04.97 et DGS N°98/771 du 31.12.98
21	Article R4424-8 Arrêté 20.08.96	63	Arrêté 13.12.2004
22	Circulaire N°22 SS.03.05.1974, Article C3 Décret 74-354 du 26.04.1974	64	Code du Travail. Article R4721-11. Arrêté 05.03.1993 modifié 24.06.1993
23	Article R4724-8	65	Arrêté 28.07.1961 modifié
24	Décret 88-120 du 01.02.1988	66	Cnam, I R228
25	Article R231-58 et R231-58-1 Code du Travail	67	Cnam, I R229
26	Article R4724-10 du Code du travail	68	Cnam,V R105
27	Code du travail Article R4431-2	69	Cnam, R117 article 11
28	Code l'environnement Article L512-10	70	Cnam, R195 article 9
29	Décret N°65-48 du 08.01.1965	71	Cnam, R206, article 7
30	Arrêté 21.12.2004	72	Cnam, R213 article 7
31	Arrêté 01.03.2004 et Arrêté 27.05.1997	73	Cnam, R218, article 8
32	Décret 87-231 du 27.03.1987	74	Arrêté 03.04.1981
33	Arrêté 05.03.1993	75	Circulaire du travail 10/54 21.12.1954
34	Arrêté 26.06.1968 modifié Arrêté 01.03.2004	76	Arrêté 25.07.1974 modifié
35	Décret N° 65-48 du 08.01.1965 modifié article 81	77	Code du Travail R232-1-2
36	Arrêté 21.09.82 Article 15	78	Code du Travail R4224-9 Arrêté 21.12.1993
37	Arrêté 15.07.63	79	Arrêté 30.03.1980, + 29.03.2004 + circulaire 22.02.2004
38	Code du travail Articles R4412	80	Circulaire 13.03.07 Arrêté 28.12.2007
39	Code du travail Article R4724-10 Décret 2009-1570 15.12.2009	81	Arrêté 21.07.1976
40	Code du travail Article R4412	82	Code du travail R4412-17
41	Code du travail Article R4224-7	83	Arrêté 19.11.1975
42	Arrêté 27.06.1968 Article 2	84	Arrêté 22.06.1998

## Formations obligatoires

### Article L4142-2

Tout chef d'établissement est tenu d'organiser une formation pratique et appropriée en matière de sécurité, au bénéfice des travailleurs qu'il embauche, de ceux qui changent de poste de travail ou de technique, des travailleurs liés par un contrat de travail temporaire.

Contrevenir à cette obligation instaurée par les textes réglementaires place l'entreprise dans l'illégalité, constitue un facteur aggravant en cas d'accident.

Les informations ci-après sont données à titre indicatif ; elles ne constituent pas une liste exhaustive de toutes les obligations réglementaires en matière de formation.

Par ailleurs les domaines suivants ne sont pas repris : Electricité – bâtiment – rayonnements.

### Dispositions générales

Domaine	Obligations
<b>CHSCT</b>	Les représentants du personnel au CHSCT bénéficient de la formation nécessaire à l'exercice de leur mission.
<b>Sauveteur secouriste du travail</b>	Dans chaque atelier où sont effectués des travaux dangereux, dans chaque chantier occupant 20 personnes au moins pendant plus de 15 jours, un membre du personnel doit avoir reçu l'instruction pour donner les premiers secours en cas d'urgence.
<b>Equipements de protection individuelle</b>	Tout chef d'établissement doit faire bénéficier les travailleurs, qui doivent utiliser un équipement de protection individuelle d'une formation adéquate comportant un entraînement au port de cet équipement. Elle doit être renouvelée aussi souvent que nécessaire pour que l'équipement soit utilisé conformément à une consigne d'utilisation.
<b>Défibrillateurs automatiques externes</b>	Initiation des personnes non médecins à l'utilisation des défibrillateurs automatiques externes.
<b>Habilitations chimiques (UIC)</b>	Obligation de formation concernant les salariés des entreprises extérieures intervenant sur un site à risque chimique pour les risques présents et ceux liés à la coactivité.

### Hygiène alimentaire

Domaine	Obligations
<b>Formation hygiène</b>	Les personnels qui manipulent des denrées alimentaires doivent être encadrés et disposer d'instructions et/ou d'une formation en matière d'hygiène alimentaire.



## Manutention – Levage - Machines

Domaine	Obligations
<b>Soudage</b>	Recommandation de la Cnam : la formation à la sécurité devra notamment traiter des risques liés à l'utilisation du courant électrique, aux poussières de gaz, à l'émission de rayonnements, à la présence de matières inflammables ou explosives, aux projections et à la manutention des pièces.
<b>Travaux en hauteur</b>	Obligation d'assurer une protection collective ou, si impossibilité technique, assurer une protection individuelle contre les chutes d'hauteur. L'employeur doit assurer la formation des personnes susceptibles d'intervenir.
<b>Echafaudages</b>	Obligation de formation adéquate des monteurs / démonteurs d'échafaudage. Formation à la sécurité. Formation secouriste.
<b>Positionnement au moyen de cordes</b>	Les travailleurs utilisant des techniques d'accès et de positionnement au moyen de cordes doivent recevoir une formation spécifique aux opérations envisagées et aux procédures de sauvetage.
<b>Utilisation des équipements de travail</b>	Tout chef d'établissement doit informer les travailleurs chargés de la mise en œuvre ou de la maintenance des équipements de travail, des conditions d'utilisation ou de maintenance, des instructions ou consignes.
<b>Manutention manuelle</b>	Tout chef d'établissement doit faire bénéficier les travailleurs dont l'activité comporte des manutentions manuelles : - d'une information sur les risques, - d'une formation essentiellement pratique sur les gestes et postures.
<b>Ascenseurs</b>	Formation du personnel affecté aux travaux sur les ascenseurs et trottoirs roulants, escaliers mécaniques.
<b>Conduite d'engins</b>	La conduite des équipements de travail mobiles automoteurs et des équipements de travail servant au levage est réservée aux travailleurs qui ont reçu une formation adéquate. Cette formation doit être complétée et réactualisée chaque fois que c'est nécessaire. L'obtention du Caces (Certificat d'aptitude à la conduite de sécurité) est recommandée par la Cnam pour l'utilisation de certains équipements : voir les cas ci-après.
<b>Chariots automoteurs à conducteur porté</b>	Recommandation Cnam R389 – Caces 6 catégories – 5 ans
<b>Engins de chantier</b>	Recommandation Cnam R372 – Caces 10 catégories – 10 ans
<b>Elévateurs de personnes PEMP</b>	Recommandation Cnam R386 – Caces 6 catégories – 5 ans
<b>Grues mobiles</b>	Recommandation Cnam R383 – Caces 5 catégories – 5 ans
<b>Grues à tour</b>	Recommandation Cnam R377 – Caces 4 catégories – 5 ans
<b>Grues auxiliaires de chargement de véhicules</b>	Recommandation Cnam R390 – Caces 1 catégorie – 5 ans
<b>Ponts roulants, portiques et semi-portiques</b>	Recommandation Cnam R423 – Caces 1 catégorie – 5 ans

## Energie pression

Domaine	Obligations
<b>Conduite des équipements sous pression</b>	Le personnel chargé de la conduite d'équipements sous pression est suffisamment informé et compétent pour surveiller et prendre toute initiative. Il est formellement reconnu apte à la conduite par l'exploitant et il est périodiquement confirmé dans cette fonction.
<b>Chaufferie à vapeur ou eau surchauffée</b>	L'exploitant fait vérifier par un organisme agréé l'organisation retenue pour la surveillance des appareils et la qualification du personnel qui est affecté..
<b>Chaudières de puissance de 2 à 20 MW thermiques</b>	L'exploitation doit se faire sous la surveillance directe ou indirecte d'une personne nommément désignée par l'exploitant et ayant une connaissance de la conduite de l'installation.
<b>Chaudières de puissance supérieure à 20 MW thermiques</b>	Les opérateurs doivent avoir reçu une formation initiale adaptée. Une formation complémentaire annuelle à la sécurité d'une durée minimale d'une journée doit leur être dispensée. La traçabilité de ces formations doit être tenue à la disposition de l'inspection des ICPE..
<b>Autoclaves</b>	La conduite des autoclaves ne doit, même temporairement, être confiée qu'à des agents expérimentés instruits des manœuvres à effectuer sur cette catégorie d'appareils et des dangers qui lui sont propres.

## Incendie

Domaine	Obligations
<b>Sécurité incendie</b>	Une consigne doit prévoir des exercices au cours desquels le personnel apprend à se servir des moyens de premier secours au moins tous les 6 mois.
<b>SSIAP</b>	Formation du personnel permanent des services de sécurité incendie. Formation du personnel utilisant un défibrillateur semi-automatique.

## Explosion

Domaine	Obligations
<b>Atmosphères explosives : ATEX</b>	Le chef d'établissement prend les mesures nécessaires pour qu'une formation des travailleurs en matière de protection contre les explosions soit délivrée. La formation doit être répétée à intervalles appropriés. Formation de la personne habilitée qui délivre les autorisations de travail. Les électriciens intervenant en zone à risque BE3 doivent être formés aux conditions générales de sécurité et aux règles de maintenance précisées par les constructeurs.
<b>Opérations pyrotechniques</b>	Connaissances requises des aides opérateurs, opérateurs et responsables de chantier effectuant des opérations pyrotechniques.
<b>Maniements d'explosifs</b>	Formation du personnel affecté au maniement d'explosifs ou d'artifices de mise à feu et/ou de tir..

## Environnement

Domaine	Obligations
<b>Agents biologiques</b>	<p>Tout chef d'établissement organise, au bénéfice des travailleurs, une formation concernant :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- les risques pour la santé,</li> <li>- les précautions à prendre,</li> <li>- le port et l'utilisation des EPI,</li> <li>- les mesures que doivent prendre les travailleurs.</li> </ul>
<b>Agents chimiques, cancérogènes, mutagènes et toxiques pour la reproduction (CMR)</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. L'employeur veille à ce que le personnel reçoive une formation quant aux précautions à prendre.</li> <li>2. Tout chef d'établissement est tenu d'établir une notice pour chaque poste de travail exposant les travailleurs à des substances ou des préparations chimiques dangereuses. Cette notice est destinée à les informer des risques.</li> <li>3. Les travailleurs exposés à l'action d'agents CMR doivent être formés.</li> </ol>
<b>Installations frigorifiques à l'ammoniac</b>	L'exploitant doit veiller à la qualification professionnelle et à la sécurité de son personnel.
<b>Fluides frigorigènes</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. L'opérateur utilisant des CFC, HFC, HCFC dans les équipements frigorifiques et climatiques satisfait aux conditions de capacité professionnelle (attestation obligatoire) lorsque les intervenants qui procèdent sous sa responsabilité aux opérations décrites à l'article R 543-76 sont titulaires d'une attestation d'aptitude ou d'un diplôme, ou d'un titre professionnel ou d'un certificat de qualification professionnelle ou d'une certification enregistrée au RNCP.</li> <li>2. Obligation à tous les intervenants fluides frigorigènes expérimentés ou titulaires de diplômes, de titres, de certificats, de passer une évaluation théorique et pratique auprès d'un organisme évaluateur certifié pour obtenir une attestation d'aptitude correspondant à l'activité et aux équipements (catégories de 1 à 5)</li> </ol>
<b>Bruit</b>	Lorsque l'exposition sonore quotidienne dépasse 85 dB ou lorsque la pression acoustique de crête dépasse 135 dB, les travailleurs concernés reçoivent une information et une formation adéquate.
<b>Vibrations</b>	- Formations obligatoires pour le personnel exposé aux vibrations mécaniques dues aux machines et à l'environnement..
<b>Ecrans de visualisation</b>	L'employeur est tenu d'assurer l'information et, dans les conditions de l'article L4141-2 du Code du Travail, la formation des travailleurs sur tout ce qui concerne la sécurité et la santé liée à leur poste de travail et notamment sur les modalités d'utilisation de l'écran et de l'équipement dans lequel cet écran est intégré.

## Evaluation des risques

Des personnes perdent la vie toutes les quelques minutes dans l'Union Européenne pour des motifs liés au travail. En outre, des centaines de milliers de travailleurs se blessent chaque année, ou prennent des congés pour des maladies liées au lieu de travail.

### Qu'est-ce que l'évaluation des risques ?

C'est un processus qui permet d'évaluer les risques pour la sécurité et la santé des travailleurs présents sur le lieu de travail.

On examine systématiquement tous les aspects du travail considéré afin d'identifier :

- les causes éventuelles d'accidents ou de blessures ;
- les possibilités d'élimination des dangers et, si elles n'existent pas ;
- les mesures de prévention ou de protection effectives, ou qui devraient être mises en place, pour maîtriser les risques.

La directive-cadre de l'UE souligne le rôle déterminant joué par l'évaluation des risques et définit des règles de base que chaque employeur est tenu de respecter.

D'une manière générale, en France l'employeur est chargé d'assurer la sécurité et la santé des travailleurs dans tous les aspects liés au travail et d'effectuer une évaluation des risques.

### Comment évaluer les risques ?

#### Etape 1 : Identification des dangers et des personnes menacées

Pour faciliter l'identification des principaux dangers, les conseils suivants sont à prendre en compte.

- Visiter le lieu de travail pour y rechercher les sources possibles d'accidents.
- Consulter les travailleurs et leurs représentants au sujet des problèmes qu'ils rencontrent.
- Tenir compte des risques à long terme pour la santé, comme les niveaux de bruit ou l'exposition à des substances dangereuses, ainsi que des risques plus complexes ou moins évidents, comme les facteurs de risques psychosociaux ou liés à l'organisation du travail.
- Analyser les antécédents de l'entreprise en matières d'accidents et de maladie.
- Rechercher des informations auprès d'autres sources comme :
  - les manuels d'instructions ou les fiches techniques des fabricants ou des fournisseurs ;
  - les sites internet axés sur la sécurité et la santé au travail ;
  - les organes nationaux, les associations professionnelles ou les syndicats ;
  - les règles juridiques et les normes techniques.

Pour chacun des dangers, il est important d'identifier clairement les personnes menacées afin de trouver le meilleur moyen de gérer le risque. Il ne s'agit pas de dresser une liste nominative de toutes les personnes concernées, mais bien d'identifier les groupes de personnes.

Il convient de s'intéresser plus particulièrement aux spécificités des genres ainsi qu'aux groupes de travailleurs particulièrement menacés ou présentant des exigences particulières. Il est important de déterminer, dans chaque cas, les incidents auxquels ils s'exposent (types d'accidents ou maladies possibles).

Les travailleurs handicapés
Les travailleurs immigrés
Les travailleurs plus jeunes et plus âgés
Les femmes enceintes et les mères allaitantes
Le personnel sans formation ou inexpérimenté
<b>Les préposés à l'entretien</b>
Les travailleurs immunodéficients
Les travailleurs en mauvaise santé, et/ou sous traitements médicamenteux.
<b>Les travailleurs susceptibles d'être davantage menacés</b>

### Etape 2 : **Evaluer les risques et les classer par ordre de priorité**

L'étape 2 consiste à évaluer les risques liés à chaque danger. Pour cela, on évalue :

- la mesure dans laquelle le danger risque de provoquer un accident ;
- le degré de gravité éventuel de l'accident ;
- la fréquence à laquelle les travailleurs sont exposés, ainsi que le nombre de travailleurs concernés.

Sont concernées les activités présentant des dangers limités ou des lieux de travail où les risques sont connus ou déjà identifiés. Il convient ensuite de classer ces risques par ordre de priorité et de les aborder selon ce classement.

### Etape 3 : **Déterminer les mesures préventives**

Cette étape consiste à déterminer les moyens d'éliminer ou de maîtriser les risques. A ce stade, il convient de déterminer :

- s'il est possible d'éliminer le risque ;
- dans la négative, des moyens de maîtriser les risques afin qu'ils ne compromettent pas la sécurité et la santé des personnes exposées.

Dans le cadre de la prévention et de la maîtrise des risques, il convient de tenir compte des principes généraux suivants :

- éviter les risques ;
- remplacer les éléments dangereux par des éléments non dangereux ou moins dangereux ;
- essayer d'éliminer les risques à la source ;
- appliquer des mesures de protection collectives plutôt que des mesures de protection individuelles ;
- s'adapter au progrès technique et aux évolutions dans l'information ;
- chercher à améliorer le niveau de protection

### Etape 4 : **Adopter des mesures**

L'étape 4 consiste à mettre en place les mesures de prévention et de protection. Il est important d'associer les travailleurs et leurs représentants dans ce processus. Une mise en œuvre efficace passe par la définition d'un plan qui précise :

- les mesures à mettre en œuvre ;
- qui fait quoi et quand ;
- un délai de mise en œuvre.

Il est indispensable de classer par ordre de priorité les activités visant à éliminer les risques.

### Etape 5 : **Contrôle et examen**

Il ne faut pas oublier d'effectuer des vérifications régulières afin de s'assurer que les mesures de prévention et de protection fonctionnent ou sont mises en œuvre et d'identifier les nouveaux problèmes. L'évaluation des risques n'est pas une activité qui se pratique une fois pour toutes.

## Enregistrement de l'évaluation

L'évaluation des risques doit être enregistrée.

Cette information peut ensuite servir :

- d'information qui sera transmise aux personnes concernées ;
- au contrôle afin d'évaluer si les mesures nécessaires ont été mises en place ;
- de **preuve destinée aux autorités de contrôle** ;
- dans le cadre des révisions éventuelles en cas d'évolution des circonstances.

Il est recommandé d'enregistrer au minimum les informations suivantes :

- nom et fonction de la (des) personne(s) effectuant l'examen ;
- les dangers et risques identifiés ;
- les groupes de travailleurs confrontés à des risques particuliers ;
- les mesures de protection nécessaires ;

- les informations relatives à la mise en place des mesures, comme le nom de la personne responsable et la date ;
- les informations relatives aux mesures de contrôle et d'examen ultérieures comme les dates et personnes concernées ;
- les informations concernant la participation des travailleurs et de leurs représentants dans le processus d'évaluation des risques.

.....

Ceci est un extrait d'un rapport de l'U.E. qui fait partie de la campagne européenne « Lieux de travail sains 2008/2009 » axée, en l'occurrence, sur l'évaluation des risques.

Le rapport intégral est disponible en anglais sur le site de l'Agence à l'adresse suivante :

<http://osha.europa.eu/en/publications/reports/TEWE09001ENC/view>

# Techniques spéciales

	Page
<b>Colles en maintenance.....</b>	<b>402</b>
<b>Lubrification.....</b>	<b>411</b>
<b>Soudage des pièces métalliques.....</b>	<b>435</b>
<b>Soudage des pièces en matières plastiques .....</b>	<b>448</b>
<b>Métallisation et rechargement de pièces.....</b>	<b>449</b>
<b>Revêtements.....</b>	<b>452</b>
<b>Protection cathodique.....</b>	<b>462</b>
<b>Traitements thermiques.....</b>	<b>465</b>
<b>Levage et manutention.....</b>	<b>468</b>

# Colles en maintenance

## Introduction

Permettez-moi de vous rapporter deux faits que j'ai remarqués récemment.

Le premier, dans un atelier flexible avec 5 grosses machines-outils très automatisées, concerne l'usinage de blocs d'acier cubiques d'arêtes d'environ 0,5 à 0,8 m. Pour manipuler chaque bloc en usinage ( celui-ci avec des outils de fraisage, perçage, lamage, de gros gabarits ), on colle une pièce plus petite qui. est ensuite décollée à la fin du travail soit à l'aide de résistances chauffantes incorporées, soit à l'aide de vis de décollage et extraction.

La mise au point a été longue : environ 1 an.

Le second concerne des glissières de machines-outils : des résines anti-adhérentes sont collées sur ces glissières. Or dans l'entreprise en question, de gros problèmes se posent du fait de phénomènes de décollement. La marque de ces machines-outils étant assez répandue, je me suis renseigné auprès d'autres utilisateurs : ceux-ci n'ont pas ces problèmes alors qu'ils utilisent les mêmes résines anti-adhérence sur le même type de machine-outil.

Ma réflexion est qu'il faut sans doute faire très attention au type d'adhésif utilisé, ainsi qu'aux méthodes de préparation.

Le collage industriel se développe rapidement. L'industrie automobile y fait désormais appel et les fabricants de colles se préparent à fournir l'ensemble de l'industrie.

Mais c'est nouveau. En assemblage, on pense encore beaucoup au vissage / boulonnage ou au soudage.

Les avantages du collage sont certains

- la possibilité d'allier des matériaux hétérogènes sans réduire leurs performances par une altération mécanique ( perçage par exemple );
- une répartition uniforme des contraintes;
- la légèreté;
- l'étanchéité, l'amortissement de vibrations, du bruit...
- On est parfois étonné d'apprendre que :
  - des structures sandwich acier ou aluminium à âme PVC ou mousse de polyuréthane de caisses de camions sont collées avec des adhésifs époxydes;
  - des trains de roues sont collés directement sous la caisse;
  - un adhésif polyuréthane est utilisé pour le collage du hayon d'une voiture,

Mais le collage exige deux approches simultanées, l'une chimique, l'autre physique. Il implique des précautions d'emploi nouvelles pour les techniciens habitués à la mécanique.

Par ailleurs, pour certaines applications industrielles le contrôle non destructif des joints exige un matériel coûteux : ultrasons, infrarouge, rayons X.

Le classique époxyde, aux performances d'adhésion et de vieillissement bien établies, garde une place primordiale. Mais l'usage des polyuréthanes, plus souples et moins chers, et des acryliques, plus chers, semble appelé à se développer.



## Adhésifs structuraux et semi-structuraux

Le collage structural ( par opposition au collage semi-structural ) se définit comme un assemblage tel qu'une contrainte entraîne la cassure, non pas de l'interface adhésif substrat, mais de la structure elle-même.

En principe, un adhésif structural :

- a une résistance supérieure à 50 kg/cm<sup>2</sup>
- présente une bonne résistance au vieillissement.

## Types d'adhésifs

Les types d'adhésifs les plus répandus sont les suivants :

- Anaérobies
- Acryliques
- Cyanoacrylates
- Epoxydes
- Néoprène
- Colles à base Nitrile
- Phénoliques Résorcines
- Polysulfures
- Thermofusibles
- Colles à base Styrène Butadiène
- Silicones
- Polyuréthanes
- Vinyliques

## Choix de l'adhésif

Le tableau ci-après donne les solutions possibles pour chaque couple à assembler.

Mais il convient de considérer

- que si les adhésifs fournissent des joints résistant bien au cisaillements, en revanche ils réagissent bien moins efficacement aux efforts de clivage ( arrachement ), ou de pelage ( retournement d'une des surfaces collées );
- les contraintes liées à l'utilisation de l'adhésif retenu doivent être prises en compte :
  - durée de vie en pot pour les thermodurcissables;
  - précision du mélange pour les bi-composants;
  - précautions de stockage ( durée et température );
  - vitesse de prise.

# Techniques spéciales : colles en maintenance

	BETON										A : Anaérobies																									
BETON	E S U		BOIS										Ac : Acryliques																							
BOIS	U E T Ni		E C N U T		CAOUTCHOUC										C : Cyanoacrylates																					
CAOUTCHOUC	E S Si Sb		E C N Sb		C N Sb		CERAMIQUE										E : Epoxydes																			
CERAMIQUE	E S Ni		E U C Ni		E C Sb N Ni		E C Ac T		CUIR										N : Néoprène																	
CUIR	E N Ni		T N C Ni		C N T		E T Ni		C N T Ni		METAUX										Ni : Colle à base Nitrile															
METAUX	E S Si Ni		E N U S C		E C N		E C Si		C E N Ni		E C Ac S U		PAPIER CARTON										P : Phénolique – Résorcine													
PAPIER CARTON	E N Sb		N V T P Sb		N Sb		V N Ac Sb		V N T Ac Sb U		N U V Ni Sb		T V Ac Sb		PHENOLIQUES STRATIFIES																					
PHENOLIQUES STRATIFIES	E N T		U N C E Ni		E C N		E C Ni		C N T Ni		E N U C Ni		V N T Sb		E C U N Ni		MOUSSE POLYURETHANE																			
MOUSSE POLYURETHANE	U T Ni		U N T Ni		U N Ni		U T Ni		U N T Ni		N U E T Ni		V U Sb Ac		U T N Ni		U N Ni		POLYCARBONATE POLYACETAL																	
POLYCARBONA TE POLYACETAL	E		U E C T		U T C		T Ac E C		E C T Ni		C E U Ni Ac		N U T		E C T		U T N		U T C E Ac		POLYAMIDES															
POLYAMIDES	E T		U E C Ni		U N E C		E C T Ac Ni		U T Ni		E C U Ac Ni		T Sb		U E T C Ni		U T Ni		U E C Ni T Ac		U E T C Ac		POLYESTER													
POLYESTER	E U		U E T Ni C		C U E N Ni		E T C		E C Ni		U E C Ni		U N T		E U C Ni		U T E Ni		U E T C		U Ni C E		U C E T Ni		POLYOFINES											
POLYOFINES	U T		U T		U N E C		T		T Ni		U T		T Ac Sb		U T		T Ni		U T		U T		U T		U T		POLYSTYRENE EXPANSE									

POLYSTYRENE EXPANSE	U Sb	U Sb	U Sb	U Sb	U Sb	U Sb	V Ac Sb	U Sb	U S b	U Sb	U Sb	U T Sb	U T Sb	U Sb	PVC RIGIDE			
PVC RIGIDE	E U Ni	E T U C Ni	C E Ni	E C Ni	C T Ni	E U Ni	N U Ac Sb	E C Ni	U T Ni S b	U T E	U E T Ni C	U E C T Ni	U T	U Sb	U T	PVC SOUPLE		
PVC SOUPLE	C T Ni	U T C Ni	C Ni	C Ni	T Ni	U C Ni	V T U Ac	U C Ni	U N Ni	U C T Ni	C Ni	U C Ni	C T Ni	U Sb	U C Ni	U N i C T E	TISSU S	
TISSUS et NON TISSES	E Sb	C N T Sb	C N T Sb	T	C N Ni Sb	U N Sb	V Ac Sb	U T N Sb	U N T	U T	U T	U T	U T	U Sb	U T N Ni	C T Ni	T N Sb	V E R
VERRE	E Si	E	E C	E Ac Si S	E Sb	E U C Ac Si	N Ac Si S	E T	U E Ni	U E Ac	U N i E Si Ac	C U T E Ni	T	U Sb	E T Ni	T Ni	E	E A c Si

### Propriétés des adhésifs structuraux

Propriétés adhésifs structuraux	Forme	Prise	Tenue en T°C	Résist au cisail	Observations
EPOXYDES MONO-COMPOSANTS	Liquide ou film	10 min à qq hrs 120 à 200°C	- 55 à + 200°C	150 à 400	Faible résistance au pelage, aux chocs. Très bonne résistance au fluage. Tolère les surfaces grasses. Stockage entre + 4 et - 18°C
EPOXYDES BI-COMPOSANTS	2 composants	4 min à qq jours T° amb	- 55 à + 120°C	180 à 400	Résistent aux huiles et aux solvants. La polymérisation peut être accélérée en chauffant.
EPOXYDES POLYAMIDES	Liquide ou pâte	3 min à qq jours 25 à 200°C	100°C	120 à 150	Permettent des collages structuraux à froid. Résistent aux basses températures. Modulation des propriétés avec proportion des bases. Vie en pot : 1 à 2 h
EPOXYDES POLYSULFURES	Liquide ou pâte 2 composants	20 min à 20h 25 à 70°C	- 60 à + 90°C	80 à 100	Résistance au fluage moyenne. Risque de corrosion de certains métaux.
EPOXYDES-SILICONES	Film	3 à 4 h à 300°C + pression	300°C	50 à 100	
EPOXYDES-PHENOLIQUES	Liquide ou film	30 min à 159°C + pression	250°C	150 à 200	Faible résistance au pelage et aux chocs. Très bonne résistance au fluage.
POLYURETHANES « TECHNIQUES »	1 ou 2 composants	30 min à 12 h 140°C	120°C	50 à 120	Grande souplesse. Peu compatibles avec l'huile.
ACRYLIQUES MODIFIES	Mono-composant avec activateur ou bi-composant	20 sec à 1 h T° amb	- 75 à + 200°C	150 à 400	Permettent le collage de surfaces peu ou mal préparées. Résistent à l'humidité, aux solvants, aux chocs. Autorisent des jeux inférieurs à 5/10.

CYANO-ACRYLATES	Mono-composant liquide	qq sec T° amb	- 60 à + 120°C	120 à 200	Très cassants. Faible résistance au pelage, moyenne aux chocs. Très efficaces sur caoutchouc. Se conservent 6 mois au-dessous de 25°
CYANO-ACRYLATES ELASTOMERES	Mono-composant activateur	20 sec à 2 h	- 50 à + 105°C	200	Bonne flexibilité. Très résistants au pelage, aux chocs. Se conservent 6 mois à 5°C.
ANAEROBIES	Liquide mono-composant avec activateur	20 min à qq h + pression	- 55 à + 120°C	50 à 400	Ne collent pas les matériaux poreux. Polymérisent en absence d'air. Activateur pour substrats non métalliques.
POLYAMIDES	Film	qq h 200 à 350°C	400°C		Faible résistance au pelage. Fournissent un joint de colle sensible à l'hydrolyse. Se conservent 2 semaines à T° ambiante.
POLYBENZIMIQUE S-DAZOLES	Film	300°C + pression	400°C	200	Excellente résistance au froid, au fluage, aux solvants. Résistance au pelage. Conservation limitée à T° ambiante
NEOPRENES PHENOLIQUES	Liquide ou film	1 h à 160°C + pression	140°C	50 à 60	Bonne résistance au pelage. Certaines colles peuvent être utilisées à froid.
NITRILES PHENOLIQUES	Liquide ou film	20 min à 160°C + pression	150 à 180°C	50 à 80	Excellente résistance au pelage. Excellente résistance aux plastifiants PVC. Temps ouvert très court : 5 à 10 min en milieu solvant liquide.
VINYL-PHENOLIQUES	Liquide ou film	30 min à 140°C + pression	100°C	50 à 100	Bonne résistance à l'humidité, aux huiles, aux solvants. Résistance au fluage moyenne.
PHENO-ACETAL DE POLYVINYLE	Liquide + poudre ou film	15 min à 150°C + pression			Les surfaces revêtues de résine phénol sont saupoudrées d'acétal de polyvinyle (procédé Redux)

Notes :

- la résistance au cisaillement est exprimée en kg/cm<sup>2</sup>
- T amb signifie : température ambiante

## Préparation au collage

### ▪ Géométrie du joint

- La conception du joint doit tendre à limiter la concentration des contraintes.
- Elle doit aussi viser à augmenter les surfaces de contact et à orienter les contraintes

### ▪ Odeur et nocivité

- L'étiquetage doit préciser la présence éventuelle de matières nocives dans la composition de la colle et les précautions nécessaires lors de son stockage et de son utilisation.  
La réglementation fait en outre obligation aux fabricants de faire parvenir à l'utilisateur les fiches de données de sécurité des produits qu'il lui livre.

- L'odeur de certaines colles peut gêner l'utilisateur. Odeur ne signifie cependant pas nocivité.
- Les solvants aromatiques pouvant provoquer le benzolisme sont autorisés dans des proportions éliminant tout danger.
- Caractéristiques de l'adhésif
  - ✓ Densité
    - A volume égal déposé, la consommation de colle est proportionnelle à sa densité.
    - La densité varie selon le type de l'adhésif, les charges et la nature du solvant.
    - Les néoprènes présentent une densité d'environ 0,8, les émulsions de 1 à 5 et les mastics 1,5
  - ✓ Extrait sec

Le taux d'extrait sec est le rapport en pourcentage entre le poids de produit sec après évaporation des solvants et le poids initial de la colle humide.  
Les colles à taux d'extrait sec élevé subissent un retrait moins important que les colles à faible taux d'extrait sec.
  - ✓ Taux de charges minérales
    - Un taux de cendres élevé traduit en général un taux de charges minérales important ( les matières organiques se décomposent et brûlent avant 900°C ).
    - Une colle à taux de charges minérales élevé est souvent peu chère du fait du faible prix des charges minérales.
    - Le taux de charges minérales élevé et le faible prix de la colle ne traduisent pas forcément une moindre qualité : les charges peuvent participer à accroître la viscosité de la colle ou la résistance mécanique du joint, ou de réduire le retrait, le coefficient de dilatation du joint...

### Préparation de la surface

- La nature de l'adhésif ne suffit pas pour assurer un bon collage : le choix du traitement de surface est déterminant pour l'obtention d'un collage fiable.  
La nature du traitement de la surface dépend du substrat et de la force de collage désirée.
- Pour les pièces métalliques, le traitement permet d'éliminer les salissures et oxydes non efficaces et, par une attaque chimique, de créer une couche d'oxydes favorisant l'accrochage de l'adhésif.

La préparation peut être mécanique ( sablage, ponçage ), ou chimique nettoyage aux solvants ( éventuellement allié aux ultrasons ), nettoyage alcalin ( l'alcalinité doit être contrôlée dans le cas de l'acier ou du titane ), ou dégraissage à la vapeur de solvant.

Une fois débarrassée de ses contaminants, la surface subit le traitement chimique proprement dit ( par ex. mélange sulfocarbonique ).

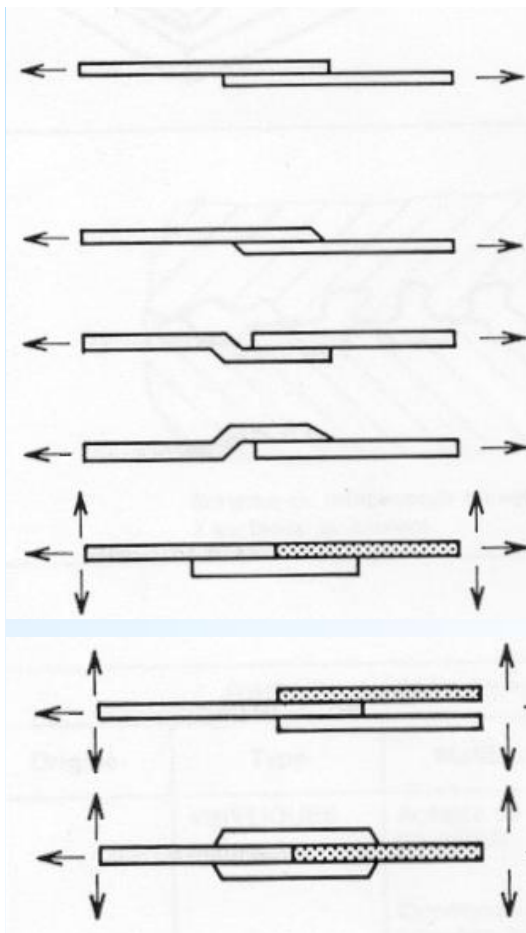
- Pour les matières plastiques, le traitement de surface vise en général à éliminer les agents de démoulage qui rendent la matière peu apte au collage. Un ponçage ou un sablage est en général nécessaire. Les matières particulièrement inertes, les polyoléfines notamment ( polyéthylène et polypropylène ) peuvent être rendues plus réceptives au collage par un traitement au peroxyde, à la flamme ou à l'air chaud, aux gaz actifs ou par une exposition aux UV avec un sensibilisateur.

### Poste de collage

La fiabilité du joint de colle peut varier en fonction des conditions d'environnement du poste de collage : les différences de température, les courants d'air doivent être en général évités, de même que les variations de taux d'humidité.

### Types de collage

#### Assemblage par simple recouvrement



Bon ; c'est cas le plus employé pour les tôles minces

Bon ; le pelage est réduit aux extrémités.

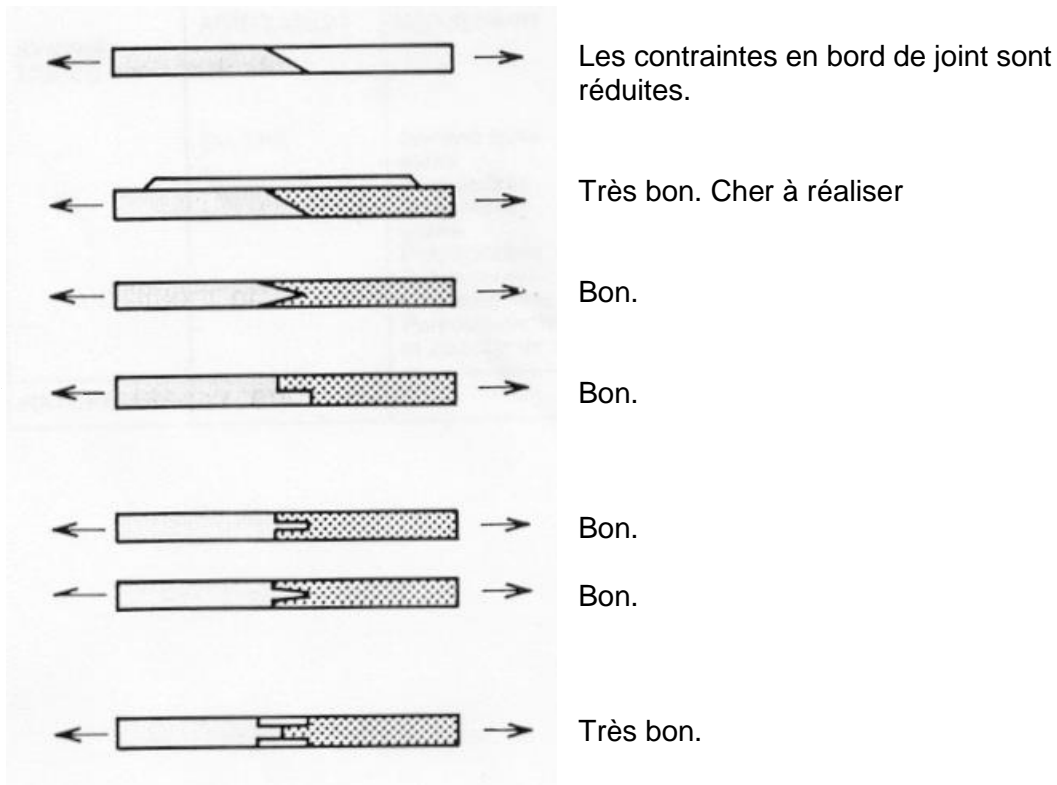
Bon : évite le couple de flexion.

Très bon ; Cher à réaliser.

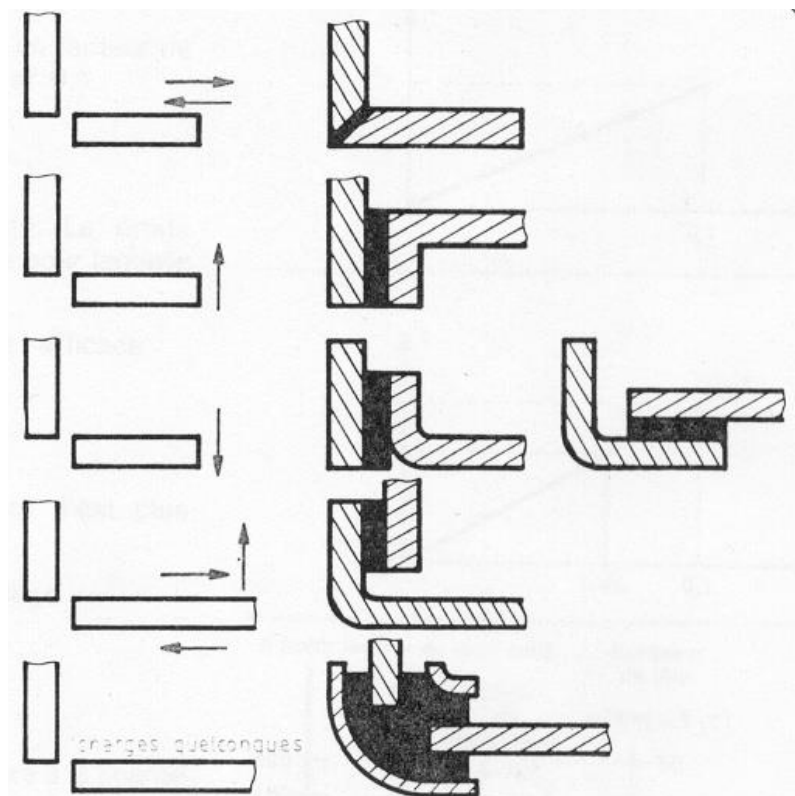
Bon.

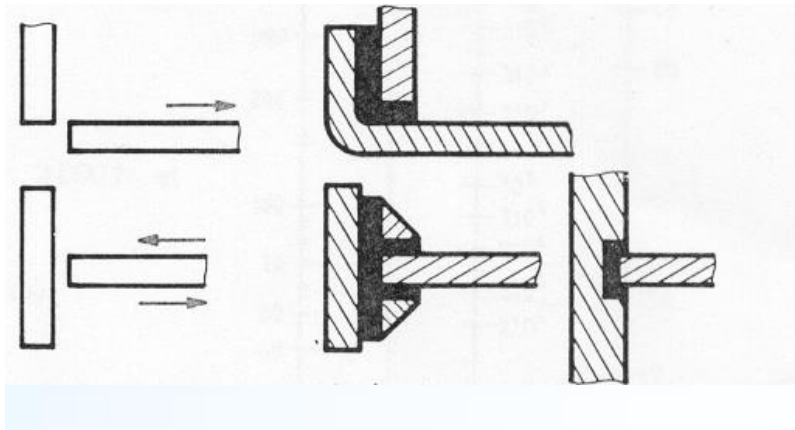
Très bon.

Très bon, mais ne convient pas à toutes les réalisations.



## Assemblage d'angle





### **Maintenance**

Pour des modifications ou des réparations, on fait appel très souvent aux fixations par boulonnerie, ou au soudage. Cela prend du temps. Dans beaucoup de cas, le collage suffirait et permettrait donc de gagner du temps (précieux en maintenance). Ce procédé demande de l'attention et du sérieux mais pas de grande formation.



# Lubrification

## Produits lubrifiants

### Frottement

Les surfaces présentent toujours un grand nombre d'aspérités.

Quand les surfaces glissent l'une sur l'autre :

- les aspérités s'accrochent entre elles et se brisent ;
- les aspérités d'une surface dure labourent une surface plus tendre ;
- les aspérités portées à haute température peuvent se coller ou se souder, ce qui conduit à des arrachements importants.

### Rôle des lubrifiants

Un lubrifiant a plusieurs rôles :

1. Lubrifier

C'est bien sûr le rôle principal d'un lubrifiant, et c'est celui qui est le plus perceptible.

2. Refroidir

Le lubrifiant permet d'évacuer la chaleur produite par le frottement ou provenant d'une source extérieure.

3. Protéger

Bien entendu le lubrifiant protège contre la rouille et la corrosion.

4. Nettoyer

Le lubrifiant agit comme un filtre à particules en piégeant les particules provenant :

- soit de l'usure du matériel (les analyses d'huile permettent de mesurer celle-ci)
- soit de la pollution externe.

5. Assurer l'étanchéité

Il forme un matelas de protection et visqueux entre les pièces mécaniques.

### Additifs des lubrifiants

Très généralement aux lubrifiants de base sont ajoutés des additifs qui ont une grande importance. Les principaux additifs utilisés sont les suivants.

Anti-usure, Extrême pression

Comme le nom l'indique, ces additifs augmentent la résistance à l'usure et aux pressions. Ils sont couramment employés.

Anti-oxydants

Sous l'action du temps, de l'oxygène, de la température, des particules d'usure métalliques, les huiles se détériorent en s'oxydant. Les additifs anti-oxydants réduisent cette détérioration en détruisant les produits d'oxydation et en neutralisant les catalyseurs métalliques présents.

Anti-corrosion

Ces additifs complètent l'action des anti-oxydants. Ils ont pour but d'empêcher le passage de métaux dans l'huile, en passivant les surfaces métalliques.

Par ailleurs, ces produits contiennent des additifs polaires qui augmentent la protection contre la rouille.

### Anti-mousse

L'air qui se sépare de l'huile s'accumule à la surface pour former des bulles qui constituent la mousse. Cette mousse favorise l'oxydation de l'huile. Pour détruire cette mousse, on utilise des silicones en faibles quantités (5 à 20 ppm).

### Améliorants d'indice de viscosité.

Dans certains cas, le matériel doit fonctionner à des températures différentes. Il se posent alors des problèmes de démarrage (entre l'été et l'hiver).

Si l'on ajoute à une huile fluide (permettant donc un démarrage facile) un composé de masse moléculaire élevée (un polymère), la présence de celui-ci freinera le mouvement des molécules et l'huile sera épaissie. Mais cet effet épaississant ne sera pas le même à froid (plus faible) qu'à chaud (plus élevé). L'indice de viscosité est donc augmenté dans ce cas.

### Abaisseurs de point d'écoulement

Ils concernent les comportements à basses températures, c'est-à-dire entre -10°C et -50°C.

Pour toutes les huiles, tendance naphténique ou paraffinique, les additifs abaisseurs de point d'écoulement donnent une fluidité suffisante aux huiles jusqu'à -30°C ou -40°C.

### Détergents

Dans certaines applications (essentiellement des huiles de travail) on peut être amenés à ajouter des détergents pour nettoyer les tuyauteries en permanence.

### Remarque

De plus en plus les « additifs » utilisés sont multifonctionnels.

## **Caractéristiques des lubrifiants**

Les caractéristiques des huiles sont normalisées, mais il y a plusieurs organismes de normalisation avec autant de méthodes différentes :

- ✓ américain : A.S.T.M. (American Society for Testing and Materials)
- ✓ français : A.F.N.O.R. (Association Française de NORmalisation)
- ✓ anglais : I.P. (Institute of Petroleum)
- ✓ allemand : D.I.N. (Deutsche Institut für Normung)
- ✓ international : I.S.O. (International Standard Organisation)

### Masse volumique

C'est la masse de l'unité de volume qui se mesure en kg/m<sup>3</sup> ou Kg/litre ou g/cm<sup>3</sup> et se pratique généralement à 15°C.

### Viscosité

C'est la force qui s'oppose au glissement des différentes couches d'un fluide. Plus cette force est importante, plus grande est la viscosité.

- Viscosité dynamique : on la mesure à l'aide d'appareils constitués par un cylindre tournant dans un stator ; elle est exprimée en Centipoises (cP).
- Viscosité cinématique : dans ce cas, on mesure le temps d'écoulement d'un volume déterminé d'huile au travers d'un tube capillaire étalonné. La viscosité cinématique est la plus utilisée ; elle est le plus souvent mesurée à une température de 40°C en centistokes (cSt ou mm<sup>2</sup>/s). Il existe une classification pratique des viscosités mise en place par ISO s'appliquant à toutes les huiles industrielles. Elle est composée de 18 grades couvrant les viscosités entre 1,98cSt et 1650 cSt.

### Indice de viscosité

Les huiles minérales ont une viscosité qui varie beaucoup avec la température. Mais cette variation est moins importante pour certaines que pour d'autres.

Les huiles ont été classées arbitrairement pour chaque viscosité à 100°C par rapport à des huiles de base :

- ✓ une dont la viscosité varie le plus avec la température, et à laquelle on a donné l'indice 0 ;
- ✓ l'autre dont la viscosité varie le moins et à laquelle on a donné l'indice 100.

### Couleur

L'identification de la couleur se fait en comparant cette couleur avec des étalons de verre colorés sous une source d'éclairage déterminée. La mesure s'exprime par un nombre : 0,5 – 1 – 1,5 ... 8.

### Point d'éclair et point de feu

Point d'éclair : c'est la température à laquelle une huile émet suffisamment de vapeur pour qu'en présence d'une flamme se produise une explosion qui s'arrête immédiatement : un « éclair ».

Point de feu : c'est la température à laquelle, dans les mêmes conditions, la combustion de l'huile dure au moins 5 secondes.

De fait, on parle ici de température de l'ordre de 400°C.

Ces indices ne présentent d'intérêt que dans le cas d'analyses de problèmes avec des huiles moteur.

### Indice d'acide

Il s'exprime en mg de KOH par gramme de produit. Il indique la présence d'acide dans une huile.

### Point d'écoulement

La viscosité de l'huile s'élève quand la température diminue.

On utilise une méthode conventionnelle qui fixe la température à laquelle une huile ne coule plus : c'est le point d'écoulement.

Les huiles naphténiques fluides possèdent un point d'écoulement inférieur à -40°C.

Les huiles paraffiniques non additivées, ont un point d'écoulement entre -8°C et -15°C ; on améliore ce résultat avec des additifs.

## Différents types de lubrifiants

Les différents types de lubrifiants sont les suivants.

- Les Huiles minérales  
Elles sont issues du raffinage du pétrole brut.
- Les Huiles grasses  
Leur origine est animale ou végétale (huiles de colza, de ricin, de lanoline)
- Les Huiles synthétiques  
Elles sont obtenues par synthèse chimique.
- Les graisses  
Les graisses sont des huiles épaissies par un gélifiant.
- Les Lubrifiants solides  
Ils sont issus de la cristallisation lamellaire de certains produits (graphite, bisulfure de molybdène)

## Huiles minérales

Elles sont issues du raffinage, et ce sont les plus utilisées.

Leurs avantages sont les suivants :

- elles sont les moins coûteuses ;
- leur gamme de viscosités est très étendue ;
- on peut facilement modifier leur comportement d'origine par l'adjonction d'additifs.

## Huiles grasses

Elles sont d'origine animale ou végétale (huiles de colza, de ricin, de lanoline). On les utilise là où les huiles minérales ou de synthèse ne sont pas recommandées, principalement dans l'agro-alimentaire. Elles sont généralement de viscosité faible et elles sont sensibles au vieillissement par oxydation.

## Huiles de synthèse

On appelle des huiles de synthèse ou huiles synthétiques des lubrifiants fabriqués par l'industrie chimique et qui peuvent avantageusement remplacer les huiles minérales.

Elles présentent un intérêt quand les conditions d'utilisation sont difficiles : températures très élevées ou trop basses, risque d'incendie, présence de radiations.

Par ailleurs elles donnent des économies de temps de maintenance et de dépenses d'achats qui sont appréciables car elles durent beaucoup plus longtemps que les huiles minérales.

Le tableau ci-après donne les principales huiles de synthèse utilisées.

	Plage de viscosité cSt	V.I.	Point Ecoule °C	Pouvoir Lubrifiant	Stabilité thermique	Résistance à l'oxydation	Résistance au feu	Résistance à l'hydrolyse	Volatilité	Prix / huile minérale
Diesters	20/30	130 / 150	-15 / 50	B	B	B	O	M	TB	2
Esters complexes	50/70	120 / 140	-15 / 30	B	B	B	O	B	TB	4
Esters phosphatés	F	F	-10 / 20	B	M	B	TB	F	B	4
Polyglycols	B	160	-30	B	M	M	F	B	B	2
Alkylats	F	60 / 100	-30	M	M	B	O	B	M	1
Polyalpha-olefines	F	150	-30	M	M	B	O	B	TB	2 à 3
Silicones	B	200	-20 / -80	F	TB	B	M	B	M	> 10
Silicates	M	180	-50	F	B	B	F	F	M	> 5
Polyphenyls Ethers	F	F	-10	B	TB	TB	F	TB	TB	> 15
Dérivés halogènes	M	F	Var.	B	TB	TB	TB	M	B	> 15

O : Mauvais

F : Faible

M : Moyen

B : Bon

TB : Très Bon

En choisissant une huile de synthèse, il faut vérifier qu'il n'y a pas d'incompatibilité avec les joints et peintures.

### **Graisses**

Les graisses sont des huiles (minérales ou de synthèse) épaissies par un gélifiant ; l'importance de celui-ci conditionne la consistance de la graisse.

#### Gélifiants

Les gélifiants sont de deux types : les savons et les composés inorganiques.

#### Savons

Les savons sont fabriqués à partir de

- ✓ corps gras tels qu'on les trouve dans la nature ;
- ✓ métaux.

Les types principaux sont les suivants :

- ✓ Calcium
- ✓ Sodium
- ✓ Lithium
- ✓ Calcium – Lithium
- ✓ Aluminium

Les graisses classiques au lithium, calcium, sodium représentent la majeure partie des graisses.

On les utilise pour des conditions opératoires normales, jusqu'à 150°C maximum. Au-delà il faut faire appel à des compositions particulières avec des huiles de synthèse telles que Lithium-Silicone (jusqu'à 200°C)

#### Composés inorganiques

Ce sont des argiles, notamment la bentonite et l'hectorite.

Leur pouvoir gélifiant est très élevé et ils donnent en général des graisses sans point de goutte et dont la tenue en température est limitée par celle de l'huile utilisée.

#### Huiles

Elles constituent 80 à 95% de la masse de la graisse. On utilise soit des huiles minérales (majorité des cas), soit des huiles de synthèse.

#### Huiles minérales

Les huiles fluides donnent des graisses utilisables à basse température et grande vitesse.

A l'inverse les huiles visqueuses donnent des graisses utilisables à haute température et faible vitesse ;

On utilise couramment des graisses faites avec des huiles de viscosité moyenne, c'est notamment le cas des graisses multifonctionnelles.

#### Huiles de synthèse

Sont utilisés principalement :

- ✓ les diesters pour des températures jusqu'à -50°C ;
- ✓ les silicones pour des hautes températures jusqu'à 300°C.

#### Additifs

Les types d'additifs sont les mêmes que ceux des huiles.

Mais de plus on rencontre couramment des graisses renforcées avec des lubrifiants solides tels que le bisulfure de molybdène et le graphite.

#### Caractéristiques des graisses

Il y a plusieurs méthodes utilisées pour ces caractéristiques qui sont principalement les suivantes.

## Consistance

C'est en fait la dureté de la graisse qui se ramollit avec la température.

Le classement par consistance est fait principalement à partir de normes N.L.G.I. basées sur la pénétration d'un cône métallique dans un échantillon de graisse. Les valeurs vont de 000 à 6 :

- ✓ on utilise les graisses de consistance 0 pour le graissage des engrenages sous carter ;
- ✓ les graisses de consistance 1 sont plutôt utilisées dans certains systèmes mécaniques ;
- ✓ les graisses de consistance 2 et 3 sont le plus utilisées pour le graissage des roulements
- ✓ enfin les graisses les plus dures, 4 à 6, sont appliquées à la palette.

## Résistance à la chaleur

La température à laquelle une graisse au repos commence à couler s'appelle le « point de goutte ».

Généralement la température maximum d'utilisation d'une graisse doit être à 7/10 de son point de goutte.

## Résistance à l'eau

Une caractéristique importante d'une graisse est qu'elle ne doit pas être entraînée par l'eau.

	Point de goutte	Température maxi en pointe	Température maxi en continu	Température mini en pointe	Température mini en continu	Résistance à l'eau	Protection contre la rouille	Vitesse
Calcium	100°C	70°C	50°C	-20°C	0°C	E	M	Basse
Calcium - Plomb	100°C	90°C	50°C	-20°C	0°C	E	E	Basse
Sodium	150°C	100°C	80°C	-30°C	0°C	B	TB	Moyenne
Lithium	185°C	125°C	110°C	-30°C	-10°C	B	B	Grande
Lithium - Calcium	180°C	140°C	120°C	-30°C	-10°C	E	E	Très élevée
Bentone / huile minérale		170°C	150°C			E	M	Basse
Bentone / ester				-70°C		E	B	

E : excellente

B : bonne

M : mauvaise

Note : ces valeurs de base sont généralement améliorées par des additifs.

## Principales utilisations

### Consistance

La consistance des graisses est donnée par l'échelle NLGI (National Lubricating Grease Institute).

Les graisses pour roulements sont généralement de consistance 1, 2 ou 3.

Il est nécessaire que cette consistance ne varie pas :

- ✓ en fonction des températures d'utilisation ;
- ✓ sous l'effet du malaxage en fonctionnement (dans le cas d'applications avec vibrations, il faut choisir des graisses à grande stabilité mécanique).

### Températures d'utilisation

- ✓ Les graisses à la chaux sont stabilisées par addition de 1 à 3 % d'eau environ. Elles peuvent être employées jusqu'à une température maximale de l'ordre de + 60°C ; au-dessus, l'eau s'évapore et la graisse se décompose en huile minérale et savon. Certaines graisses plus résistantes à la chaleur (complexe de calcium) conviennent jusqu'à + 120°C.
- ✓ Les graisses à la soude peuvent être utilisées dans la gamme de température – 30 à + 80°C ; certaines graisses d'excellente qualité conviennent jusqu'à + 120°C.
- ✓ Les graisses au lithium peuvent généralement être utilisées de – 30 à + 110°C ; certaines graisses de très bonne qualité peuvent être employées jusqu'à + 150°C.
- ✓ Les graisses aux gels, épaissies à l'aide d'agents inorganiques (gel de silice ou bentone par exemple) admettent, pendant de courtes périodes, des températures plus élevées que les graisses au lithium.
- ✓ Les graisses aux silicones ou diesters, fabriquées à partir d'huiles synthétiques, sont utilisables dans une gamme de température plus étendue que celle des graisses à base d'huile minérale.

### Propriétés anti-rouille

- ✓ Les graisses à la soude peuvent absorber de petites quantités d'eau, en formant une émulsion, sans réduction sensible de leur pouvoir lubrifiant. Elles assurent de ce fait une bonne protection anti-rouille en présence d'humidité (condensation ou petites entrées d'eau à l'intérieur du palier). Cependant, en présence d'eau en quantité importante, elles perdent leur pouvoir lubrifiant et peuvent être entraînées hors du palier.
- ✓ Les graisses au lithium ou à la chaux ne se dissolvent pratiquement pas dans l'eau et n'assurent donc aucune protection contre la corrosion. Elles ne peuvent être employées qu'additionnées d'un produit anti-rouille.
- ✓ Les graisses avec additifs EP (additifs extrême pression, en général à base de composés de plomb) ont de bonnes propriétés anti-rouille. Elles ne sont pas solubles dans l'eau et adhèrent très bien sur les surfaces des roulements. Elles conviennent donc aux montages exposés à des pénétrations d'eau.

### Résistances aux fortes charges

Pour les roulements très chargés, il est conseillé d'employer des graisses avec additifs EP, ces additifs améliorant la résistance du film lubrifiant.

### Miscibilité

Lorsqu'on envisage d'utiliser une autre graisse que celle employée jusqu'alors, il est indispensable de tenir compte des possibilités de mélange pour éviter tout risque de détérioration.

- ✓ Il n'y a aucun inconvénient à mélanger deux graisses obtenues à partir d'huiles de base de même type et du même produit épaississant.
- ✓ Les graisses à la soude ne peuvent être mélangées qu'entre elles.
- ✓ Les graisses à la chaux et les graisses au lithium peuvent être mélangées entre elles, mais non aux graisses à la soude.

- ✓ Il est possible que le mélange de graisses compatibles entraîne une diminution de la consistance, sans que les propriétés lubrifiantes en soient pour autant nécessairement affectées.
- ✓ Dans les applications où une baisse de consistance pourrait donner lieu à des fuites, il est conseillé de réduire les intervalles de graissage jusqu'à ce que la nouvelle graisse ait entièrement remplacé l'ancienne.

### Lubrifiants solides

Les huiles et les graisses ont des limites que l'on peut franchir en utilisant des lubrifiants solides notamment dans les cas suivants :

- ✓ températures inférieures à  $-70^{\circ}\text{C}$  ou supérieures à  $300^{\circ}\text{C}$ ,
- ✓ charges très élevées,
- ✓ fonctionnement dans le vide.

On distingue trois types de lubrifiants solides :

- ✓ certains matériaux plastiques ;
- ✓ des métaux ;
- ✓ des solides clivables.

#### Matériaux plastiques

On utilise parfois le nylon, le polyéthylène, le polytétrafluoréthylène, etc. comme lubrifiants solides. Le plus couramment utilisé est le PTFE (« téflon »). C'est un bon lubrifiant mais il supporte mal les efforts mécaniques.

#### Métaux

Dans certains cas (rares) il y a frottement direct métal sur métal ; par contre les cas avec présence d'un film d'oxyde sont plus nombreux.

Ces applications sont :

- ✓ après traitement de surface (sulfuration par exemple) ;
- ✓ avec des métaux mous : étain, plomb, argent, etc.).

#### Solides clivables

Ce sont essentiellement 2 types de solides :

- ✓ le graphite,
- ✓ le bisulfure de molybdène  $\text{MoS}_2$ .

Le bisulfure de molybdène est le plus utilisé.

L'avantage du graphite est qu'il résiste à des températures allant jusqu'à  $600^{\circ}\text{C}$  alors que le bisulfure de molybdène est limité à  $450^{\circ}\text{C}$ .

Les applications sont diverses :

- ✓ On fabrique des coussinets et des cages de roulements par incorporation du graphite et du bisulfure à divers matériaux : résines, fibres, téflon, poudre de métal.
- ✓ L'un et l'autre peuvent être appliqués directement sur des surfaces propres, la force nécessaire pour obtenir une bonne adhérence étant d'environ 15 bars.
- ✓ Après préparation des surfaces à partir de pâtes spéciales, ils peuvent être mis en suspension dans un lubrifiant liquide ou plastique.
- ✓ Avec un élément filmogène constitué de composés inorganiques ou de résines, on réalise des films chargés de graphite et de bisulfure.

A noter que les particules de ces deux lubrifiants sont très faibles : de l'ordre de  $1\mu$ .



## Lubrification des roulements

### Choix du type de lubrification

Pour le choix du type de lubrification, une bonne méthode consiste à considérer la vitesse linéaire au centre des corps roulants, soit approximativement à  $\frac{D + d}{2}$

Cette vitesse est donc :  $3,14 \times \frac{D + d}{2} \times \text{RPM}$

$V < 500 \text{ m/min}$   $\Rightarrow$  lubrification à la graisse

$500 < V < 1000 \text{ m/min}$   $\Rightarrow$  lubrification par bain d'huile

$1000 < V < 1500 \text{ m/min}$   $\Rightarrow$  lubrification par circulation d'huile

$1500 < V < 2000 \text{ m/min}$   $\Rightarrow$  lubrification par jets d'huile

$V > 2000 \text{ m/min}$   $\Rightarrow$  lubrification par brouillard d'huile

### Lubrification à la graisse

Lorsque la lubrification est faite avec une graisse, celle-ci doit remplir environ 50% des volumes du logement, et pas au-delà de 60% pour éviter les échauffements aux grandes vitesses.

#### ***Graissage manuel***

##### Intervalles de graissage et quantités d'appoint

Les intervalles de graissage et les quantités d'appoint sont déterminés par empirisme.

Deux méthodes peuvent être considérées.

##### 1<sup>ère</sup> méthode

Quantité d'appoint

La quantité de graisse nécessaire pour chaque appoint est :

$$G = 0,005 D.B$$

où

G est la quantité de graisse en grammes

D est le diamètre extérieur du roulement en mm

B est la largeur totale du roulement en mm ( H pour les butées )

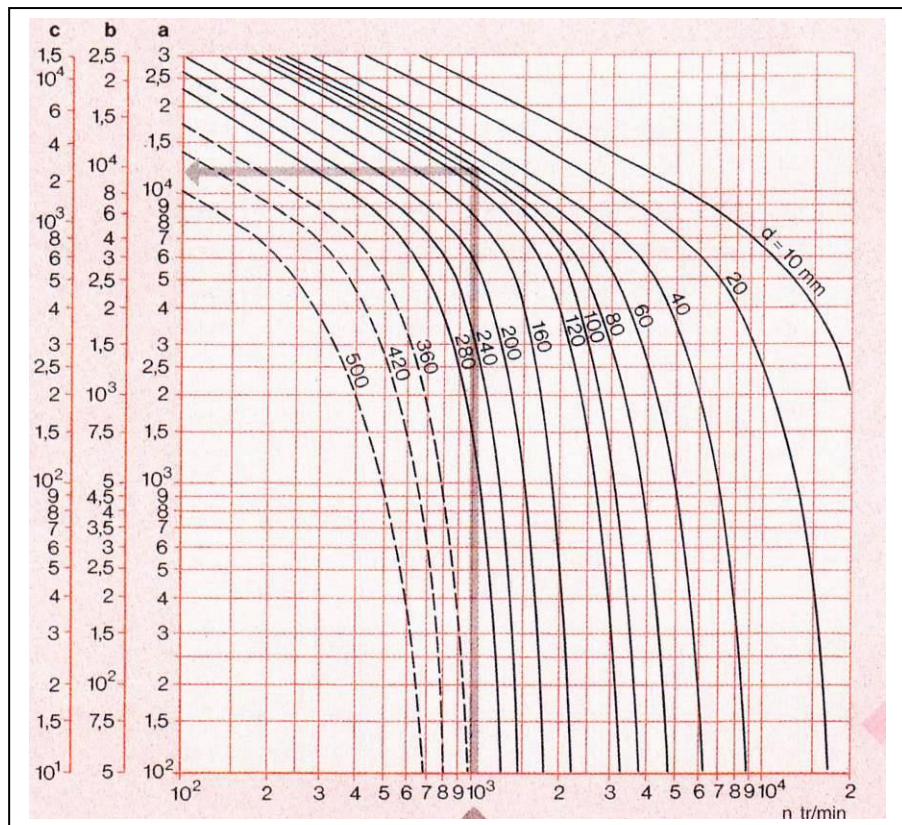
Après plusieurs appoints, il est nécessaire d'ouvrir le palier et de retirer la graisse usée avant d'introduire la graisse neuve.

Les intervalles de graissage dépendent surtout du type et de la taille du roulement, de la vitesse de rotation, de la température de fonctionnement et de la qualité de graisse utilisée.

Les valeurs données par le diagramme ci-après s'appliquent à des roulements montés dans des machines stationnaires, fonctionnant sous charge et à température normales.

Intervalle de relubrification.  
Heures de fonctionnement  
(Doc SKF )

Document SKF



- a : roulements à billes
- b : roulements à rouleaux cylindriques
- c : roulements à rotule sur rouleaux, ou à rouleaux coniques
- roulements à rouleaux cylindriques jointifs :  $0,2 T_c$
- butées à billes ou à rouleaux cylindriques :  $0,5 T_c$

Elles sont valables dans le cas de graisses d'une qualité moyenne, résistant au vieillissement, et sous réserve que les températures de fonctionnement, mesurées sur bague extérieure, n'excèdent pas  $70^{\circ}\text{C}$ . Au-delà, la valeur ainsi déterminée doit être divisée par 2 pour chaque augmentation de  $15^{\circ}\text{C}$ .

Inversement, si les températures de fonctionnement sont inférieures à  $70^{\circ}\text{C}$ , les intervalles de graissage peuvent atteindre jusqu'à 2 fois les valeurs du diagramme (températures de fonctionnement de  $50^{\circ}\text{C}$  et au-dessous).

Dans les petits roulements, la graisse est consommée assez lentement pour que, le plus souvent, tout appoint soit inutile.

Si la graisse risque d'être souillée par des matières étrangères, des intervalles de lubrification plus courts peuvent se révéler nécessaires. Il en est de même lorsque la graisse doit assurer une protection particulièrement efficace contre l'humidité.

## 2<sup>ème</sup> méthode

On peut par exemple utiliser les valeurs suivantes qui indiquent les quantités de graisse à utiliser en appoint dans l'année pour des roulements fonctionnant 8000 heures :

- ✓  $100 \text{ cm}^3$  par cm d'alésage pour les roulements à simple rangée de billes ou de rouleaux et d'alésage compris entre 20 et 100 mm.
- ✓  $200 \text{ cm}^3$  par cm d'alésage pour les roulements à double rangée de billes ou de rouleaux et d'alésage compris entre 20 et 100 mm.

- ✓ 75 cm<sup>3</sup> par cm d'alésage pour les roulements à simple rangée de billes ou de rouleaux et d'alésage compris entre 100 et 250 mm.
- ✓ 150 cm<sup>3</sup> par cm d'alésage pour les roulements à double rangée de billes ou de rouleaux et d'alésage compris entre 100 et 250 mm.

Pour des alésages différents on peut appliquer une règle de trois sur ces valeurs.

Ces quantités sont à répartir en fonction des périodicités retenues.

### 3<sup>ème</sup> méthode

Les deux premières méthodes sont basées sur des évaluations empiriques. De fait, suivant la configuration (joints, chicanes, « soupape à graisse » ou non, ...) le roulement « consomme » plus ou moins de graisse.

Pour l'organisation, il vaut mieux se fixer une périodicité fixe des tournées de graissage (par exemple 3 mois) et laisser le graisseur apprécier les quantités de remplissage (surtout ne pas bourrer le roulement de graisse car il va chauffer).

Dans le passé les graisseurs écoutaient « leurs » roulements avec le manche d'un long tournevis. Aujourd'hui cela paraît archaïque ! On remarque cependant que dans de nombreux pays anglo-saxons les graisseurs sont dotés d'appareils de mesure d'ultrasons pour l'écoute des roulements lors du graissage : ils arrêtent de graisser lorsque le bruit devient faible. A méditer !

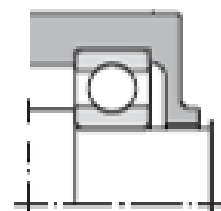


### Evacuation du trop plein de graisse

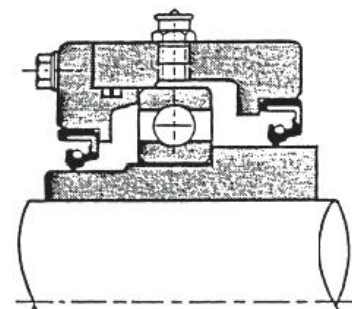
Un remplissage trop important conduit à un malaxage intense, à un grand échauffement, et en final à la détérioration du roulement.

Il faut toujours faciliter l'évacuation de trop-plein. Plusieurs solutions existent :

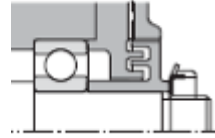
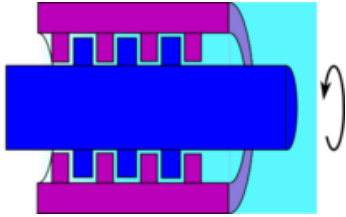
1. Avoir une étanchéité avec jeu.



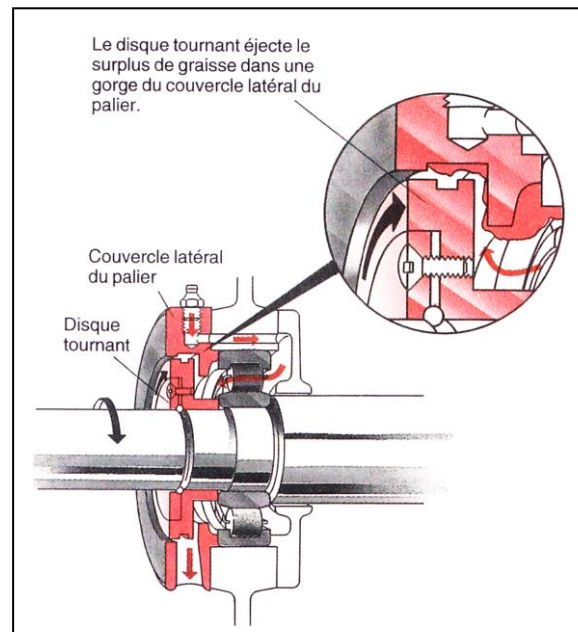
2. Avoir un joint à lèvres tourné vers l'extérieur.



3. Avoir des étanchéités en chicanes frontales ou radiales.



4. Prévoir une « soupape à graisse ». Il s'agit d'un disque qui chasse l'excès de graisse par centrifugation, comme le montre le schéma ci-après.
5. Une solution alternative consiste à faire un trou au milieu d'une chicane pour une éjection vers le bas.



Document SKF

Si aucun dispositif n'est prévu, il faut surveiller l'échauffement des roulements.

S'il y a échauffement, ne remplacez pas le roulement mais retirez de la graisse de celui-ci. Dans 75 % des cas le problème vient de là.

### Graisseurs à main

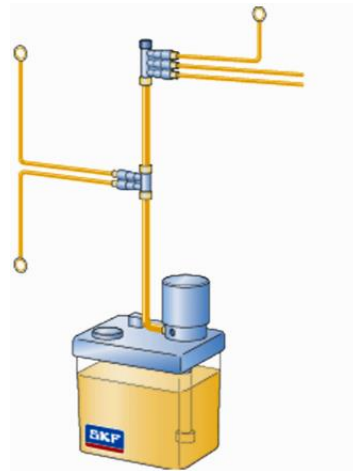
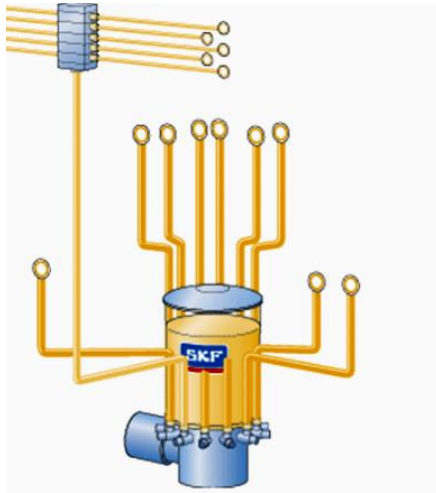
Il y a des graisseurs à main et des graisseurs avec batterie. On peut utiliser des cartouches ce qui permet de faire des « routes » de graissage plus grandes.

Les graisseurs pneumatiques sont moins pratiques.



### **Graissage centralisé**

Une solution qui permet des gains de temps est le graissage centralisé. Il existe de multiples modèles à commandes manuelles (de moins en moins) ou électriques.



Ces systèmes sont pratiques mais nécessitent une certaine surveillance :

1. s'assurer du bon fonctionnement de la pompe, une fois par jour, ou au moins par semaine, par un opérateur de production ;
2. contrôler le fonctionnement des répartiteurs ou des doseurs, trimestriellement ;
3. s'il n'y a pas de pressostat s'assurer que la graisse arrive bien à chaque point de graissage, trimestriellement, ou au minimum une fois par semestre.

La remarque concernant le trop plein de graisse est d'application.

### **Emploi de graisseurs automatiques**

Les graisseurs automatiques sont particulièrement intéressants dans les cas suivants :

- paliers en hauteur ;
- accès interdits en marche pour des raisons de sécurité.

Dans les autres cas, ils peuvent être intéressants sur le plan économique si les périodicités programmées sont importantes (1 an)

Il est conseillé d'avoir des graisseurs translucides dont on peut contrôler le niveau lors d'arrêts.

La remarque concernant le trop plein de graisse est d'application



### **Lubrification à l'huile**

#### **La lubrification à l'huile s'impose :**

- lorsque les vitesses de rotation ou les températures d'utilisation sont trop élevées pour permettre l'emploi de graisse avec une sécurité suffisante ;
- lorsque le lubrifiant doit contribuer au refroidissement du palier lui-même ou d'organes annexes ;



- quand d'autres éléments voisins, des engrenages par exemple, doivent recevoir le même lubrifiant que les roulements.

### Types d'huiles

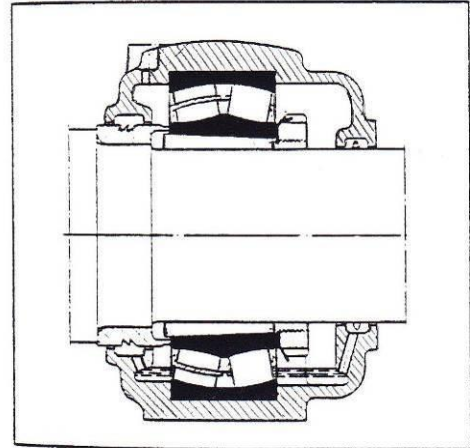
Pour la lubrification des roulements, on utilise presque toujours des huiles minérales pures. Les huiles de synthèse n'ont jusqu'à présent trouvé des applications que dans des conditions assez spéciales ( températures très élevées par exemple ) ou comme huiles de base pour certaines graisses.

### Modes de lubrification à l'huile

La **lubrification par bain d'huile** est le procédé le plus simple, mais elle ne convient qu'aux faibles vitesses de rotation.

Lorsque le roulement est à l'arrêt, le niveau d'huile doit se situer un peu au-dessous du centre de l'élément roulant le plus bas.

Lorsqu'elle est faite à l'huile, le niveau de celle-ci devra se situer près du centre de la bille ou du rouleau le plus bas, s'il s'agit d'un système par barbotage.

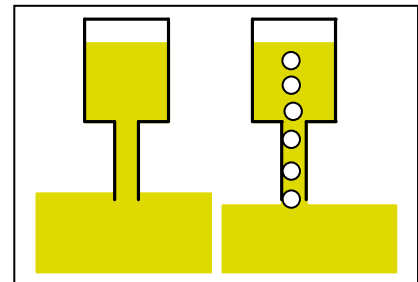


### Remplisseur automatique

Certaines machines sont parfois équipées de systèmes très astucieux de remplissage automatique.

L'huile descend seulement lorsque le niveau descend en dessous du tube de remplissage et que l'air peut alors pénétrer dans le réservoir.

Dans certains cas il y a un robinet sur le tube ce qui permet un remplissage du réservoir par le dessus ; dans les autres cas, il faut retourner le système et remplir par le bas.



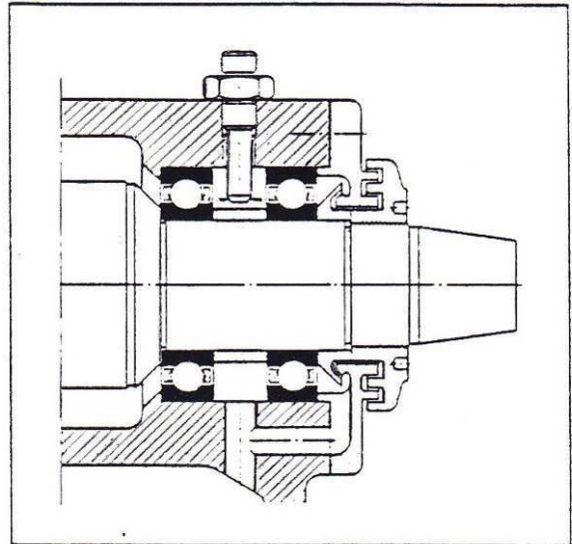
### Entraînement d'huile par bague

La lubrification est assurée par une grande bague, en laiton généralement, montée sur l'arbre tournant. La bague trempe dans l'huile du réservoir et, par traînée visqueuse, lubrifie l'arbre sur lequel l'huile se répartit jusqu'aux roulements. Il faut s'assurer régulièrement de la rotation de la bague ; si la bague s'arrête, alors la lubrification s'arrête aussi.

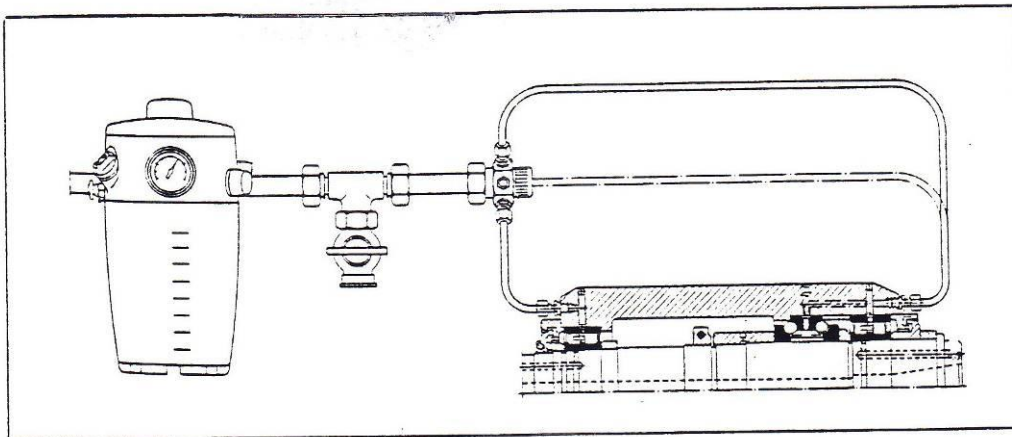
Aux vitesses et aux températures de fonctionnement élevées l'huile vieillit plus rapidement et doit être renouvelée plus souvent. On utilise alors un **système à circulation**, par exemple au moyen d'une pompe : l'huile est amenée d'un côté du roulement, le traverse et s'évacue du côté opposé. Elle est ensuite filtrée, éventuellement refroidie, puis remise dans le circuit.

Aux vitesses élevées, il faut que l'huile pénètre en quantité suffisante et assure un bon refroidissement.

La **lubrification par jet d'huile** est un système particulièrement efficace à ce point de vue. Sous la pression d'une pompe, l'huile est injectée latéralement dans le roulement par un ou plusieurs gicleurs.



La **lubrification par brouillard d'huile** consiste à amener sous pression un mélange d'air et d'huile pulvérisée jusqu'au point à lubrifier.



Le brouillard d'huile est formé par un pulvérisateur où l'air comprimé sec est filtré et détendu à une pression de 0,05 à 0,1 Mpa.

Des canalisations conduisent le brouillard aux points à lubrifier où il se répand comme un gaz.

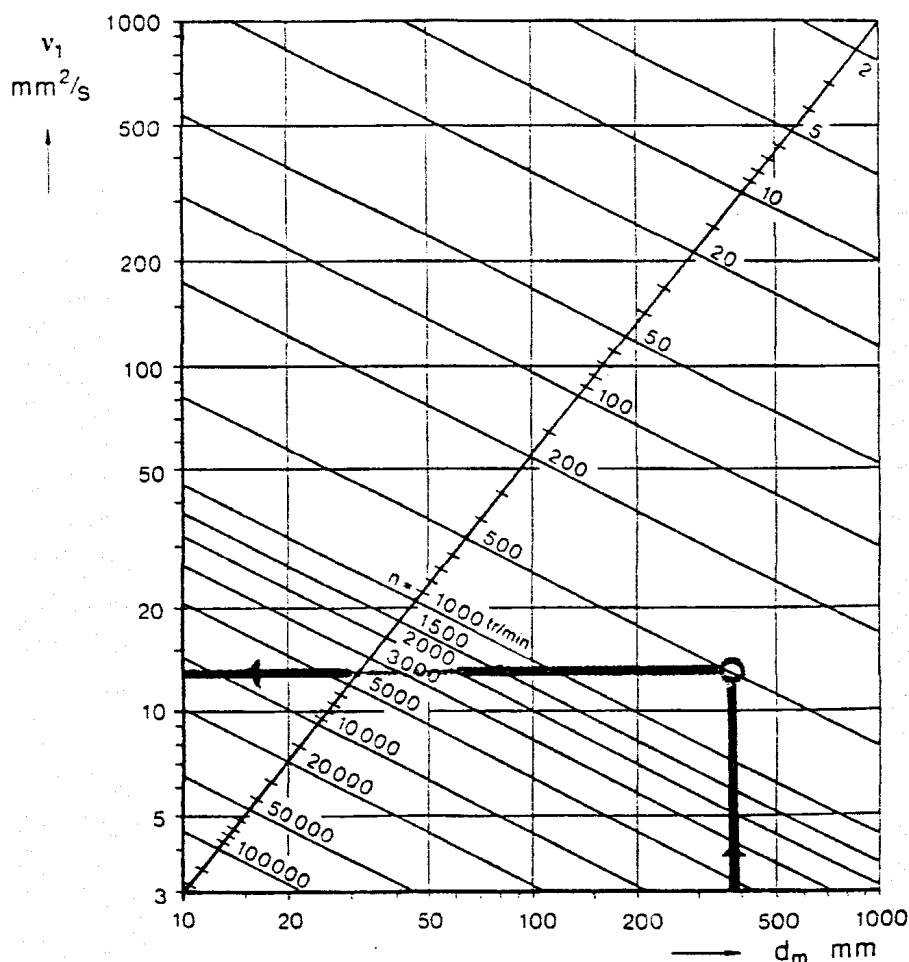
Toutefois on dispose en général dans chacune des canalisations finales un raccord de condensation dans lequel le brouillard se dissocie. L'huile arrive par gouttes tandis que l'air est évacué par les étanchéités après avoir traversé et refroidi le roulement ; il se crée en outre dans le palier une légère surpression qui s'oppose à la pénétration d'impuretés.

Note : en maintenance, il faut veiller

1. à ne pas obstruer les sorties par lesquelles l'air doit s'échapper ;
2. à ce que ces entrées ne donnent sur des courroies que l'huile peut détruire.

### Choix de l'huile

La viscosité  $V_1$  nécessaire, à la température de fonctionnement, pour assurer une lubrification correcte peut être tirée du diagramme ci-après valable pour les huiles minérale.



La température de fonctionnement étant connue expérimentalement, la viscosité  $V$  correspondant à la température internationale de référence de  $40^{\circ}\text{C}$  est alors obtenue à partir du diagramme suivant ( $V_1$  est reportée en ordonnée, ce qui avec la température de fonctionnement mentionnée en abscisse permet de déterminer la ligne d'abaque) basé sur un indice de viscosité de 85.

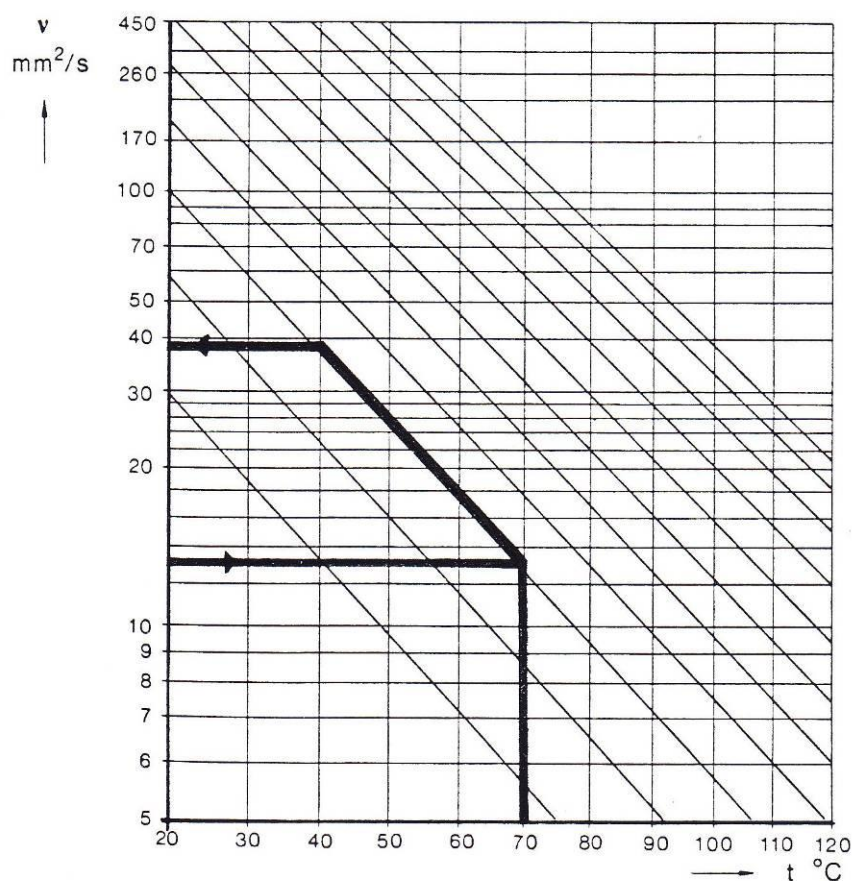
La durée d'un roulement peut, en principe, être allongée par l'emploi d'une viscosité supérieure à  $V_1$ . Il y a cependant souvent, en pratique, une limite à l'amélioration de lubrification qui peut être obtenue de cette façon, l'augmentation de la viscosité entraînant une élévation de la température de fonctionnement.

Lorsque le rapport de viscosité  $K = V/V_1$  est inférieur à 1, une huile avec additifs EP est recommandée ; si ce rapport est inférieur à 0,4, elle est indispensable. Même lorsque  $K$  est supérieur à 1, elle est susceptible d'améliorer la sécurité de fonctionnement des roulements à rouleaux de moyennes et de grandes dimensions.

Exemple :

Pour un roulement d'alésage  $d = 340$  mm, et de diamètre extérieur  $D = 420$  mm, soit  $d_m = 0,5 (d + D) = 380$  mm, tournant à  $500$  tr/min, le premier diagramme indique que la viscosité cinématique minimale  $V_1$  doit être de  $13 \text{ mm}^2/\text{s}$  à la température de fonctionnement. Si l'on estime celle-ci à  $70^{\circ}\text{C}$ , on voit, d'après le deuxième diagramme, qu'il faut choisir une huile de viscosité minimale de  $39 \text{ mm}^2/\text{s}$  à la température de référence de  $40^{\circ}\text{C}$ .





I

Dans le cas d'une lubrification par bain d'huile, en conditions normales, on peut appliquer les périodicités suivantes.

Températures de fonctionnement	Périodicité des vidanges
$\leq 60^{\circ}\text{C}$	1 an
$100^{\circ}\text{C}$	3 mois
$125^{\circ}\text{C}$	1 mois
$135^{\circ}\text{C}$	1 semaine

Dans un système à circulation d'huile, les intervalles dépendent, d'une part du nombre de rotations de l'huile dans le circuit par unité de temps, d'autre part de la présence éventuelle d'un système de refroidissement du lubrifiant.

Seuls des essais ou des examens fréquents de l'huile permettent donc de déterminer le moment opportun pour procéder au renouvellement.

Il en est de même pour la lubrification par jet d'huile.

Dans le cas d'une lubrification par brouillard d'huile, le lubrifiant n'est en général pas récupéré. Mais il est impératif de vérifier le nombre de gouttes consommées par min. ( suivant recommandation du constructeur ) une fois par équipe (à figurer dans les consignes permanentes), ou le système à pressostat : une fois toutes les 100 heures environ, suivant le type de système à brouillard d'huile.

### Maintenance

En Mécanique, pour une bonne maintenance des équipements, il y a trois procédés à respecter :

- ➔ **Serrer** correctement avec toutes les précautions nécessaires pour éviter les desserrages.
- ➔ Respecter les **tolérances ISO** (jeu – serrage).
- ➔ **Graisser** correctement en quantité et en qualité.

Le graissage est une fonction nécessaire dans la maintenance, alors qu'elle est actuellement trop négligée.

Nous ne pouvons que recommander les points suivants.

- ✓ Appliquer la troisième méthode que nous avons décrite.
- ✓ Sélectionner des graisseurs qui soient des hommes sérieux et méticuleux, et d'abord des mécaniciens. Un graisseur qui sait « écouter » les roulements apporte beaucoup en maintenance (en général il y a plus de roulements qui chauffent parce que trop graissés que de roulements en manque de graisse, et souvent on remplace les roulements plutôt que d'enlever simplement de la graisse).
- ✓ Donner la formation nécessaire à ces graisseurs :
  - connaissance des roulements, coussinets, réducteurs, chaînes et cables.
  - connaissance de la technique de lubrification.
- ✓ Confier des visites « sensorielles » à ces graisseurs.

## Lubrification des coussinets et glissières

### Emploi de lubrifiants solides

Les différents métaux utilisés dans les coussinets et les glissières sont :

- ✓ Le bronze qui possède de bonnes propriétés de frottement .
- ✓ Le régule (appelé aussi « métal blanc ») qui est le premier alliage anti-friction utilisé après le bronze ; il est coulé en épaisseur importante sur une armature d'acier. Il ne supporte pas d'élévation importante de la température. On l'utilise notamment pour les coussinets des cylindres d'appui des laminoirs et dans tous les cas où il y a supportage dynamique avec de l'huile sous pression.
- ✓ Les aluminium-étain qui conviennent bien à haute température.
- ✓ Les cupro-plomb pour leur grande résistance mécanique.

	Charge supportée	Température acceptée
Bronze	600 bar	100°C
Régule	200 bar	80°C
Aluminium-étain	600 bar	150°C
Cupro-plomb	300 bar	100°C

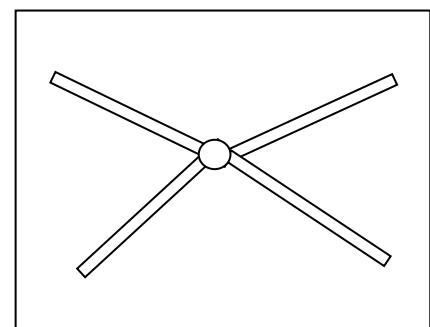
Pour les petites applications, on choisit des coussinets sans lubrifiant solide ; les fabricants de roulements en vendent de nombreux types.

### Emploi de la graisse

Pour les applications importantes on choisit la graisse ou l'huile.

Concernant la graisse il convient de veiller à ce que celle-ci se répartisse bien.

C'est pourquoi il est judicieux de faire appel aux « pattes d'araignée » pour cette répartition.



### Emploi de l'huile

Lorsque l'on choisit la lubrification à l'huile : il est possible de choisir la viscosité de l'huile nécessaire.

Dans le tableau suivant :

$$\text{pression diamétrale} = \text{Charge} / \text{Alésage} \times \text{longueur du palier}$$

Pression diamétrale bars	Vitesse en m/min	Viscosité ISO en cSt à 40°C
2 à 10 b	300	46
	300 / 800	32
10 à 70 b	60	220
	60 / 300	80
	300 / 500	46
70 b	50 / 150	150
	150	100

Pour la lubrification à l'huile, en général les coussinets ont une petite poche pour l'arrivée du lubrifiant ; cette poche a une forme qui permet la formation d'un coin d'huile.

Concernant les paliers fluides (arrivée d'huile sous pression), il y a souvent des buses d'entrée et des buses de sortie. Il ne faut surtout pas modifier le type sans l'accord du constructeur, sous peine d'avoir de nombreux problèmes.

### **Maintenance**

Pour la lubrification à la graisse, nos remarques concernant les graisseurs s'appliquent également ici.

Concernant la lubrification à l'huile, en général il ne faut pas modifier ce qui a été prévu par le constructeur sans le consulter, et les paliers en règle ne peuvent être réalisés que par des sociétés spécialisées.

## Lubrification des réducteurs

### Mise en œuvre des lubrifiants

#### Lubrification à la graisse

Ce type de lubrification est quelquefois nécessaire :

- ✓ pour des engrenages nus : cela évite les projections d'huile ;
- ✓ pour les engrenages sous carter lorsque les conditions d'étanchéité ne peuvent pas être tenues avec l'huile.

On emploie alors :

- ✓ des graisses fluides grade 0 pour les engrenages sous carter ;
- ✓ des graisses plus épaisses additivées au bisulfure de molybdène pour les engrenages nus.

#### Bain d'huile

La lubrification par bain d'huile est pratiquée pour les vitesses maximales au primitif suivantes :

- ✓ 12 m/s pour les engrenages droits et hélicoïdaux ;
- ✓ 10 m/s pour les réducteurs à vis (vitesse de la vis).

Le niveau d'huile dans le carter est le suivant :

- Engrenages droits et hélicoïdaux : recouvrir une dent pour les gros modules, 2 à 3 fois la hauteur d'une dents pour les petits modules.
- Engrenages coniques : recouvrir la face d'une dent en position basse.
- Engrenages à vis :
  - ✓ vis en haut : 1/3 du diamètre de la roue ;
  - ✓ vis en bas : 1/2 du diamètre de la vis ;
  - ✓ vis verticale : 3/4 du rayon de la roue.

#### Circulation d'huile

La lubrification par circulation d'huile est pratiquée pour les vitesses au primitif suivantes :

- ✓ >12 m/s pour les engrenages droits et hélicoïdaux ;
- ✓ >10 m/s pour les réducteurs à vis (vitesse de la vis).

### Viscosités

C'est le constructeur qui peut le mieux conseiller les huiles à utiliser. Néanmoins nous donnons ci-après une indication concernant la viscosité des engrenages droits, hélicoïdaux et conique en tenant compte de la charge.

La viscosité en donnée en cSt à 40°C.

Charge linéaire en daN/mm	Vitesse tangentielle au primitif - m/s						
	< 0,5	0,5 à 1	1 à 2,5	2,5 à 5	5 à 12	12 à 25	> 25
	Bain					Circulation	
5 à 10	460	320	220	150	100	68	46
10 à 25	460	460	320	220	150	100	68
25 à 75	680	460	460	320	220	150	100
> 75	680	680	460	460	320	220	150

## Maintenance

Les points suivants sont recommandés :

- Contrôler régulièrement l'absence de fuites et le bruit : une fois / semaine si possible.
- Contrôler régulièrement le niveau d'huile quand c'est possible : une fois / mois par exemple. S'il n'y a pas de voyant, on peut alors faire des ajouts jusqu'au trop plein par exemple une fois par semestre.
- Pour les réservoirs et réducteurs contenant au moins 500 litres, il est conseillé de faire des analyses d'huile une fois par semestre. Ce sont les résultats qui dicteront la nécessité de vidanger ou non.
- Lorsqu'il n'y a pas d'analyse d'huile, il est conseillé de faire une vidange par an pour les huiles minérales et tous les 3 ans pour les huiles de synthèse. Bien entendu pour les petits réducteurs et motoréducteurs, on peut augmenter cette fréquence et passer par exemple à 3 ans pour les huiles minérales.
- Lorsque l'atmosphère est poussiéreuse, les reniflards doivent être nettoyés une fois par mois.

### Lubrification des compresseurs

C'est le constructeur qui peut le mieux conseiller les huiles à utiliser, suivant le type de compresseur.

#### Maintenance



Concernant la maintenance voici les principaux points à prendre en considération, en dehors des points de graissage.

- Purge des circuits de refoulement  
Le compresseur peut être équipé de réfrigérants et d'assécheurs qui entraînent des condensations. Il faut donc purger régulièrement.
- Filtration de l'air aspiré  
L'entretien des filtres d'aspiration doit être effectué régulièrement. Pour rappel des filtres encrassés diminuent la pression à l'entrée du compresseur et ils entraînent une élévation de température de l'air refoulé.
- Entretien des séparateurs d'huile  
Particulièrement pour les compresseurs rotatifs et à vis à injection d'huile, il faut veiller à l'entretien des séparateurs (voir recommandations du constructeur) et des filtres de refoulement.
- Contrôle du débit d'huile  
Bien entendu il faut contrôler régulièrement les débits d'huile (tournée de maintenance). Pour les compresseurs alternatifs on peut se poser la question du choix du débit. En première approximation, on peut adopter un débit de base de 0,6 à 0,8 cm<sup>3</sup> par 1000m<sup>2</sup> balayés par le piston pour une pression de refoulement de 10 bars. Si le compresseur est à double effet il faut tenir compte de la surface balayée à l'aller et au retour du piston.

## Lubrification des chaînes et câbles

### Chaînes

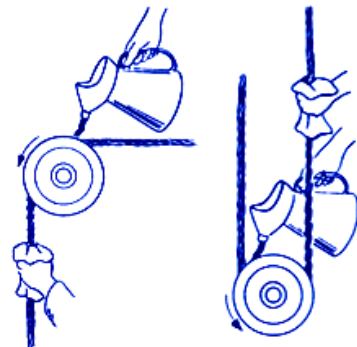
Pour la lubrification des chaînes, il a trois possibilités.

1. Graissage automatique par pinceau.  
A photograph showing a mechanical brush applicator mounted on a machine, applying lubricant to a chain link.
2. Graissage automatique par pulvérisation.  
A photograph showing a spray nozzle applying lubricant to a chain link.
3. Graissage manuel.  
Dans ce cas un graissage trimestriel est recommandé.

### Câbles

Il y a une importante friction des câbles sur les tambours. C'est pour quoi il est recommandé de les graisser, une fois par an normalement ou par semestre quand l'utilisation est importante.

Mais la graisse sur les câbles recueille beau coup de poussières. C'est pourquoi il est impératif de bien nettoyer avant de graisser. La seule solution est fastidieuse : verser un produit nettoyant sur le câble puis le nettoyer avec un chiffon que l'on presse autour en descendant.



### Maintenance

Une chaîne non lubrifiée ne peut pas avoir une grande durée de vie.

De même un câble de pont de roulant doit être remplacé assez souvent (2 à 3 ans) s'il n'est pas graissé (fréquence 6 mois)

Il est vrai que certains environnements empêchent le graissage ou rend celui-ci inefficace (cimenteries, sidérurgie à chaud par exemple)



# Soudage des pièces métalliques

## Procédés utilisés en maintenance

### Brazage

C'est une opération qui consiste à assembler des pièces métalliques avec un métal d'apport à l'état liquide, ayant une température de fusion inférieure à celles des pièces à assembler. Le métal de base ne participe donc pas par fusion à la constitution du joint.

On parle de soudage tendre ou fort suivant que la température de fusion du métal d'apport est inférieure ou supérieure à 450°C.

C'est un vieux procédé que l'on pratique avec le chalumeau ou la lampe à souder. Il s'agit plus d'une forme de collage qu'un véritable soudage.

### Soudage au chalumeau

Ce procédé utilise :

- ✓ une bouteille d'oxygène pur à 98 % comprimé (200 bars de pression) ;
- ✓ en général une bouteille pour l'acétylène qui contient de l'acétone pour stocker ( 15 bars de pression), mais le gaz pourrait être aussi de l'hydrogène, du propane, etc. ;
- ✓ deux manomètres / détendeurs ;
- ✓ deux tuyaux séparés pour les deux gaz raccordés au chalumeau proprement dit avec les robinets de réglage du mélange et la buse à la sortie de laquelle se forme la flamme.

La buse est choisie en fonction de l'épaisseur de la pièce.

La température de flamme est de l'ordre de 3000°C en sortie du dard pour être environ 2000°C en bout de flamme (10 à 15 cm).

La flamme peut être réglée :

- Flamme normale : le brûleur est alimenté en volumes égaux d'oxygène et d'acétylène.
- Flamme à excédent d'oxygène, plus chaude que la flamme normale. Elle convient pour le laiton et la fonte par ex.
- Flamme à excédent d'acétylène, moins chaude que la flamme normale. Elle convient pour le soudage de l'aluminium et pour le revêtement avec des alliages à base de cobalt.

Le chalumeau est aussi utilisé en maintenance pour faire des découpes de pièces.

### Soudage à l'arc

Le soudage à l'arc, soudage manuel, est le plus connu des procédés de soudure. Lorsque l'on approche l'électrode enrobée des pièces à assembler il se crée un arc électrique qui dégage un fort pouvoir calorifique, provoquant la fusion de l'électrode.

La chaleur atteinte est de l'ordre de 6000°C.

Pour le soudage à l'arc on utilise des électrodes enrobées qui sont constituées par :

- ✓ une âme métallique rons ;
- ✓ un enrobage de composition chimique très variée.

L'enrobage a plusieurs fonctions.

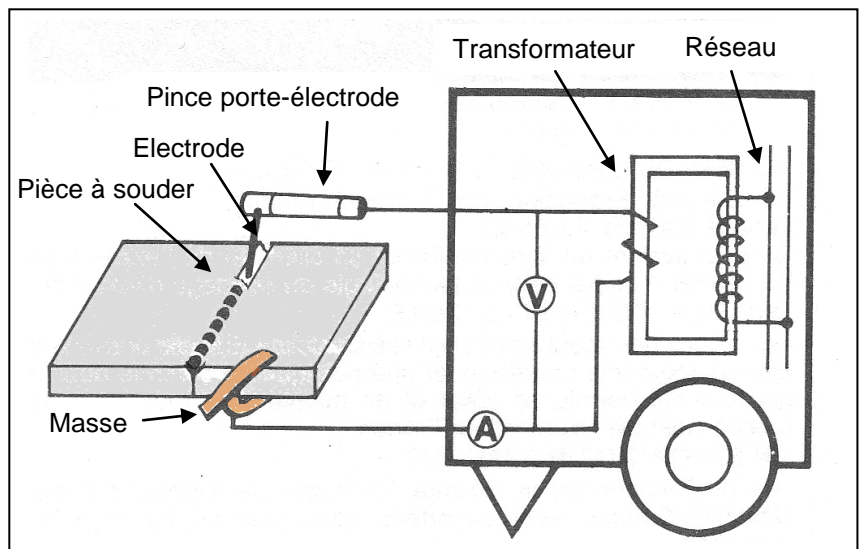
1. L'ionisation qui se produit entre l'électrode et la pièce permet l'amorçage et le maintien de l'arc
2. L'enrobage forme, en fusion, un écran qui évite l'action néfaste des gaz de l'air.
3. L'enrobage guide l'arc et lui assure une direction bien déterminée.
4. Les corps contenus dans l'entobage peuvent modifier la forme du dépôt. Les cordons de soudure ont une forme dépendante du type d'électrode :forme bombée, plate ou concave.

Le soudeur à l'arc, au MIG ou au TIG doit être totalement protégé : masque, gant. La lumière produite par l'arc provoque des brûlures de la peau et de la rétine.

Les postes de soudage sont de trois types :

- à courant continu, avec transformateur et redresseur ;
- à courant alternatif, avec transformateur ;
- bivalents AC / DC.

Ils peuvent être fixes, mobiles ou portatifs.



Exemple d'appareil  
portatif – 5,5 Kg



Attention à fixer la masse au plus près de la pièce, sinon on risque d'amener un courant générateur de piqures dans des pièces traversées.

Le courant électrique peut donc être alternatif ou continu.

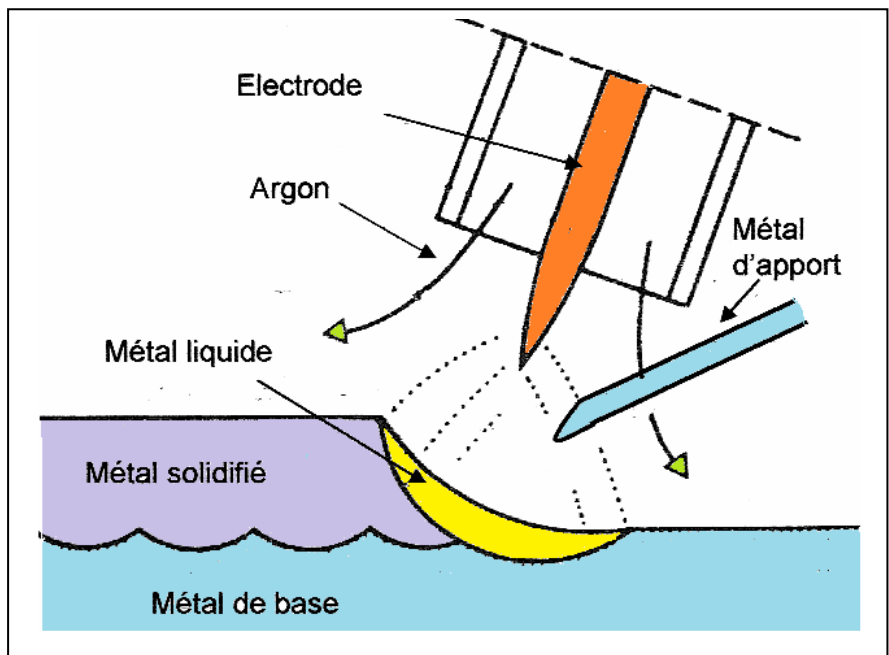
Le courant continu avec la polarité négative à l'électrode est utilisé pour la majorité des métaux et alliages (aciers, inox, cuivreux, titane, nickel, etc.), sauf pour les alliages légers d'aluminium et de magnésium.

La polarité indirecte avec l'électrode au pôle positif est utilisée pour les électrodes basiques uniquement.

Le courant alternatif est employé pour l'aluminium, le magnésium et leurs alliages, ainsi que pour le cupro-aluminium.

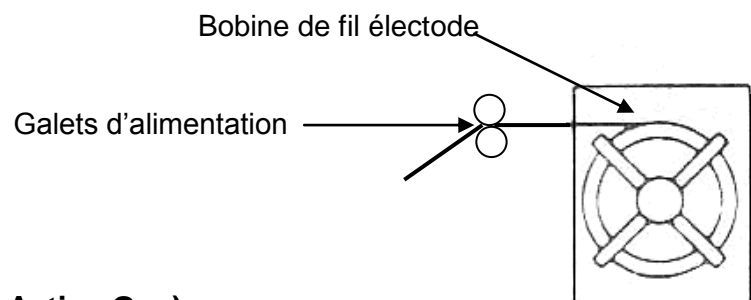
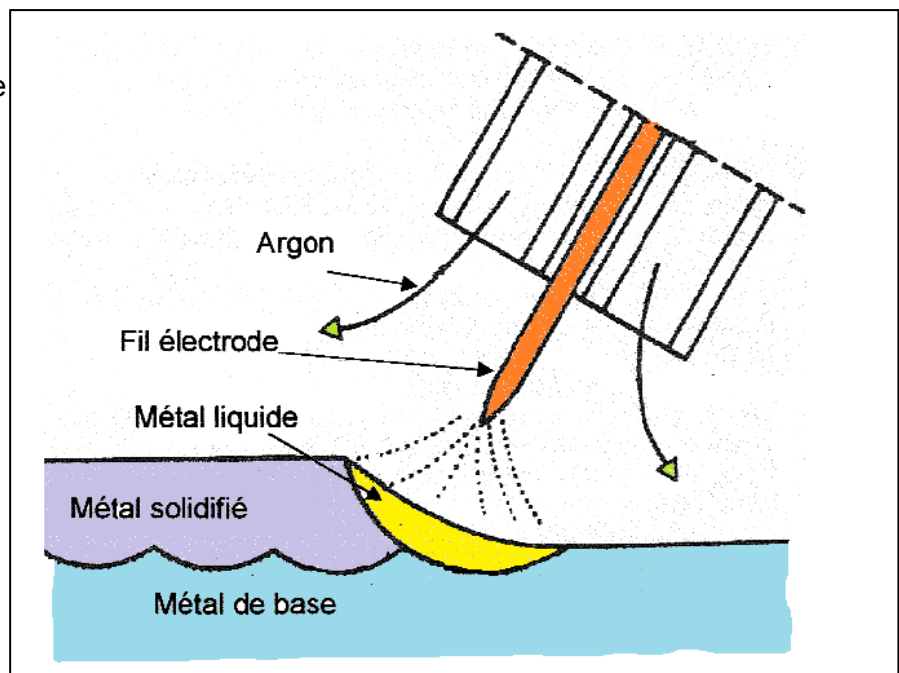
### Procédé TIG ( de l'anglais Tungsten Inert Gas)

Un arc électrique est établi entre l'extrémité d'une électrode infusible en tungstène et les pièces à souder sous la protection d'un gaz inerte. Celui-ci peut être de l'argon, de l'hélium ou un mélange des deux. Le métal d'apport est ajouté sous forme d'une baguette ou d'un feuillard placé dans l'arc électrique. Ce procédé peut être automatisé.



## Procédé MIG (de l'anglais Metal Inert Gas)

Il est semblable au procédé TIG sauf qu'ici l'arc électrique s'établit entre le métal de base et le fil fusible enroulé sur une bobine et constituant ainsi une électrode continue consommable et servant de métal d'apport.



## Procédé MAG (de l'anglais Metal Active Gas)

Procédé de soudage identique au procédé MIG. La différence réside dans la nature du gaz de protection utilisé :  $\text{CO}_2$  ou mélange Argon +  $\text{CO}_2$ , ou Argon +  $\text{CO}_2$  + Oxygène.

### **Procédé MIG-MAG (Metal Inert Gas-Metal active Gas ) ou GMAW (Gas Metal Arc Welding)**

L'arc électrique se fait entre les pièces à assembler et une électrode consommable, sous la protection d'un mélange gazeux. Celui-ci dépend du type de soudure à réaliser.

L'électrode est amenée automatiquement d'une manière continue depuis un dévidoir ; elle se présente sous la forme d'un fil massif ou fourré.

### **Procédé Plasma (appelé PAW : Plasma Arc welding)**

Ce procédé s'apparente au TIG sauf que l'arc subit une constriction mécanique ou pneumatique et génère une densité d'énergie supérieure. Il utilise très peu de métal d'apport. Les températures peuvent atteindre 10 000 °C. Bien entendu il est utilisé exclusivement en mode automatisé : dans certains ateliers de maintenance le mécanisme est parfois monté sur des machines outils.

Le procédé plasma est par ailleurs très efficace pour la réalisation de découpes.

## **Procédés peu ou pas utilisés en maintenance**

### **Soudage aluminothermique**

Le joint à réaliser est emprisonné dans une forme que l'on remplit d'un mélange pulvérulent à base d'oxyde de fer et d'aluminium. Les pièces sont chauffées au rouge et le mélange est enflammé. La réduction de l'oxyde de fer par l'aluminium provoque la fusion.

C'est utilisé pour la réparation de pièces massives telles que les rails de chemin de fer.

### **Soudage électrique par résistance**

On appelle aussi ce procédé « soudage par points » ou « à la molette ».

Il est utilisé pour l'assemblage de tôles de faibles épaisseurs ; par exemple une caisse automobile est assemblée par points soudés.

Le courant électrique chauffe la matière jusqu'à la fusion, et une pression maintient le contact entre l'électrode et les pièces à assembler. Il n'y a pas de métal d'apport.

### **Soudage orbital**

Avec ce procédé un arc tourne sans interruption autour d'une pièce fixe.

### **Soudage laser (ou LBW : Laser Beam Welding)**

On utilise un faisceau laser dont l'énergie est concentrée par un système optique. Cette énergie crée un bain de fusion et le métal liquide se resolidifie après le passage du faisceau.

### **Soudage par faisceau d'électrons (EBW : Electron Beam Welding)**

Des électrons sont projetés dans une enceinte sous vide sur la pièce à souder pour créer une zone fondue.

## Soudage par friction

Le soudage est obtenu par l'échauffement de deux pièces pressées et en mouvement l'une par rapport à l'autre. La qualité de liaison est supérieure à celle des matériaux utilisés, sans métal d'apport, et on peut utiliser des métaux différents.

## Soudage à l'arc sous flux (SAW : Submerged Arc Welding)

Il consiste à réaliser un joint de soudure à l'aide d'un arc électrique qui est submergé de flux en poudre. Ce procédé est utilisé pour la fabrication de pièces en série avec un robot.

## Soudage par diffusion

A une certaine température, à l'interface de deux pièces métalliques en contact étroit, les atomes migrent d'un site à l'autre.

En agissant sous vide, ou sous atmosphère protectrice contrôlée, l'action combinée de la température et de la pression accélère le phénomène de diffusion.

## Soudage par explosion.

La détonation d'une charge explosive provoque une onde de choc. L'une des pièces est projetée sur l'autre par l'explosion. Une déformation plastique considérable se produit alors dans la région située près de l'interface qui prend toujours une forme ondulée.

Ce procédé est très utilisé pour la plaquage de métaux très minces sur des tôles épaisses de nature différente.

## Soudage par ultrasons

Les pièces à souder, serrées entre elles, sont soumises à des vibrations ultrasonores qui provoquent des frictions locales. Sous l'effet du frottement à l'interface, la température s'élève, la zone de déformation s'étend et le soudage se produit.

Ce procédé est utilisé pour de petites pièces, des emballages des fils de cuivre.

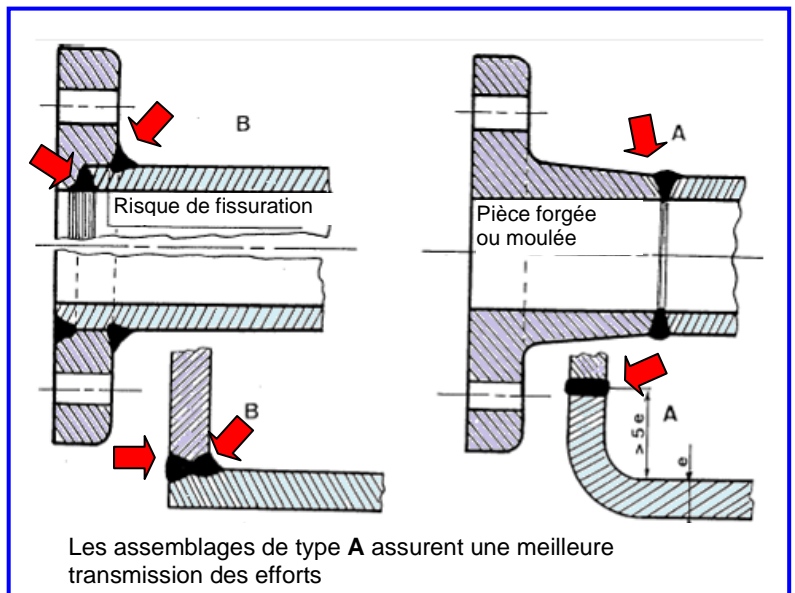
## Recommandations

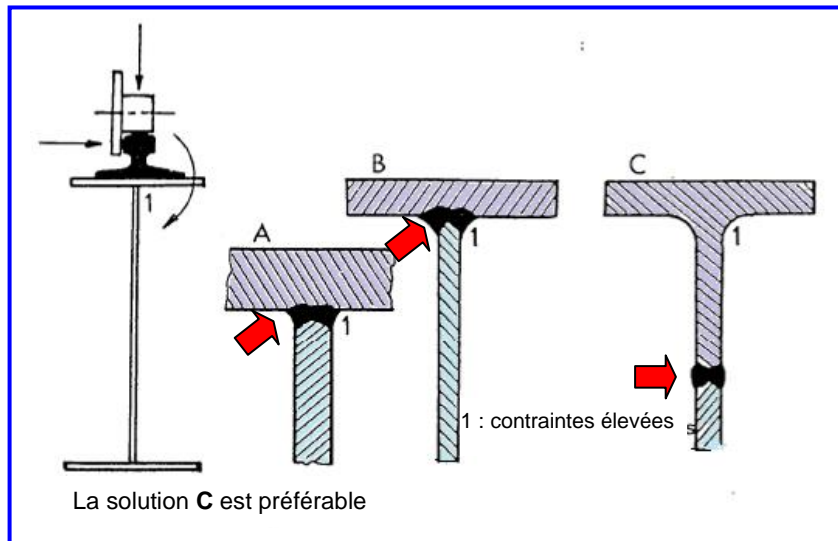
Dans une construction soudée la transmission des efforts doit se faire naturellement.

Il faut prendre en compte la géométrie du joint (discontinuités), le niveau et la direction principale des contraintes de service.

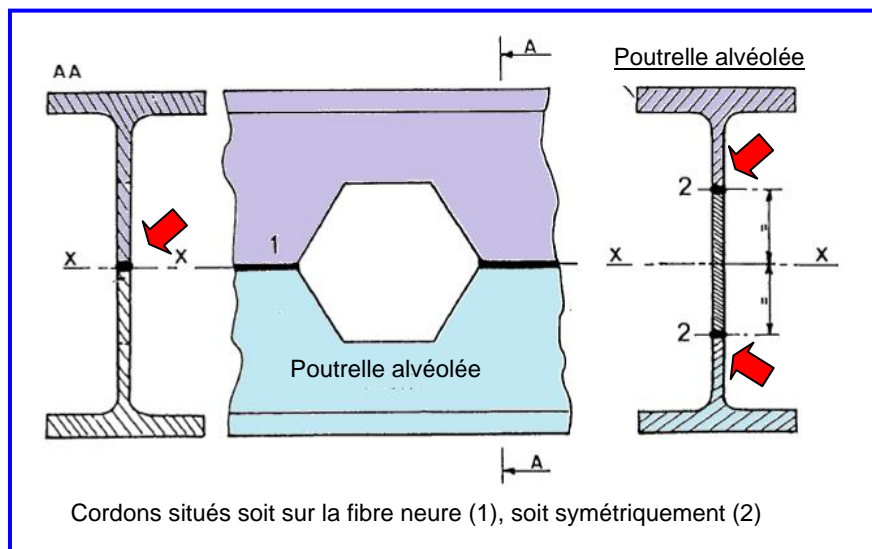
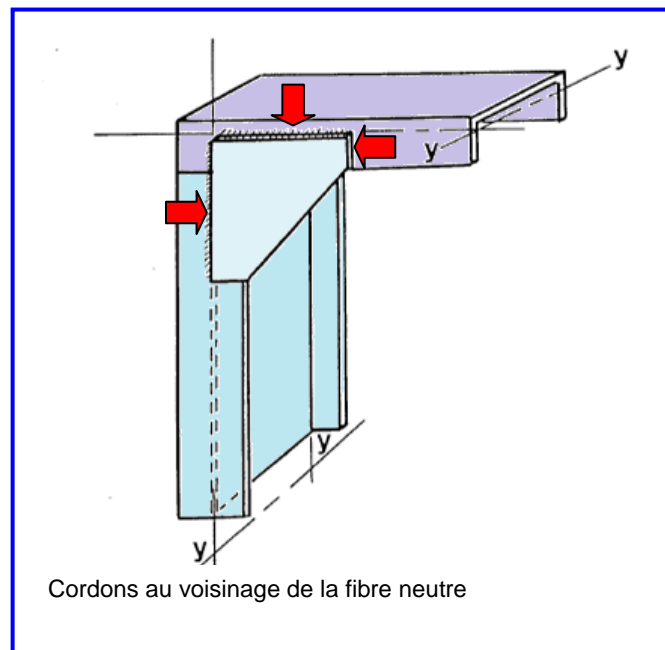
Les règles suivantes sont à respecter.

- ➔ **Eviter les zones à forte concentration de contrainte**

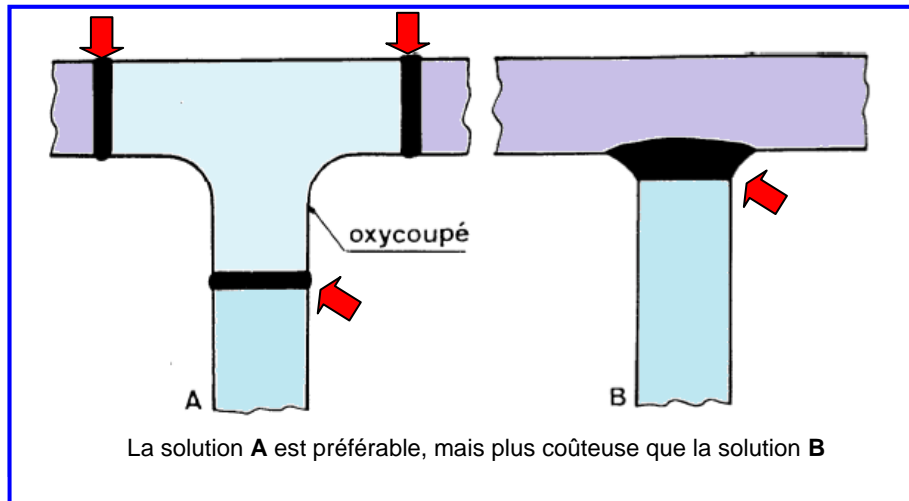




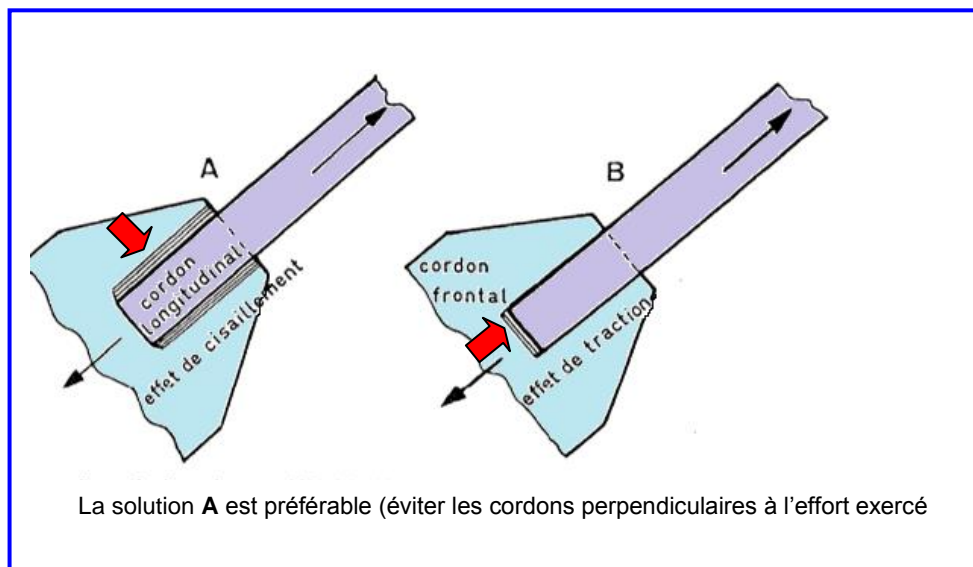
➔ Autant que possible situer le joint dans les zones les moins sollicitées



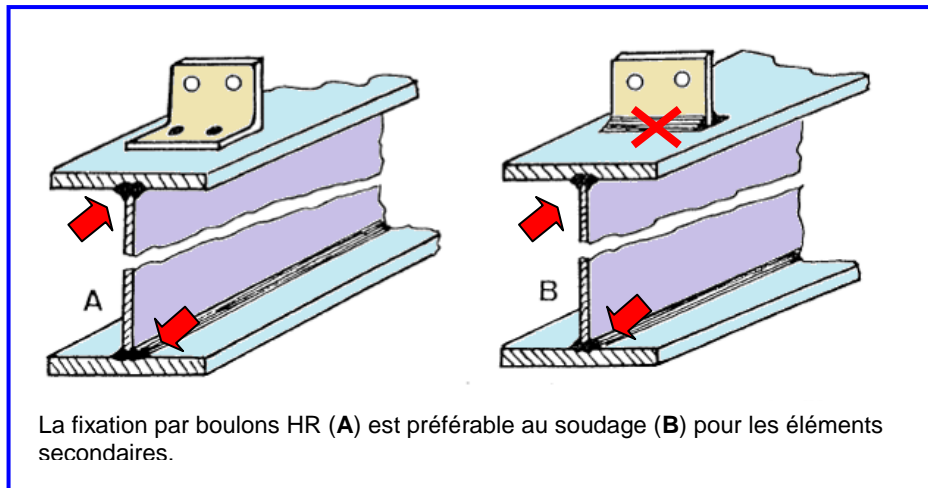
- ➔ Limiter les déformations par la symétrie des assemblages et la position des cordons
- ➔ Préférer les soudures bout à bout aux cordons d'angle, pour les pièces fortement sollicitées



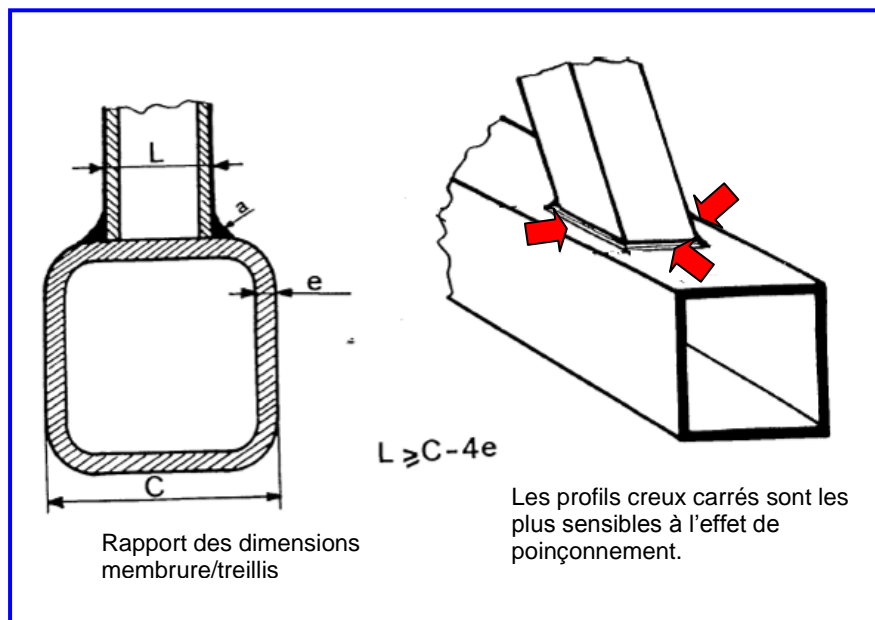
- ➔ Eviter les cordons frontaux (perpendiculaires à l'effort) car il y a risque de rupture rapide par traction



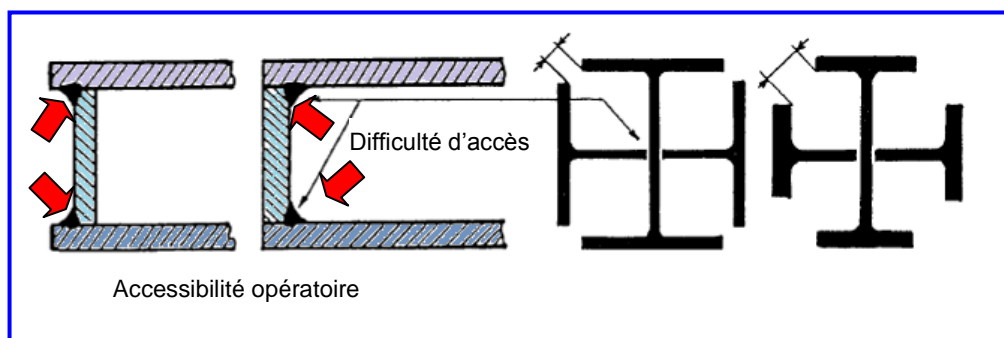
- ➔ Pour des ensembles soumis à la fatigue, éviter le soudage d'éléments secondaires et préférer un assemblage boulonné haute résistance



- Faire un cordon tout le tour dans le cas d'un profil creux soudé en bout

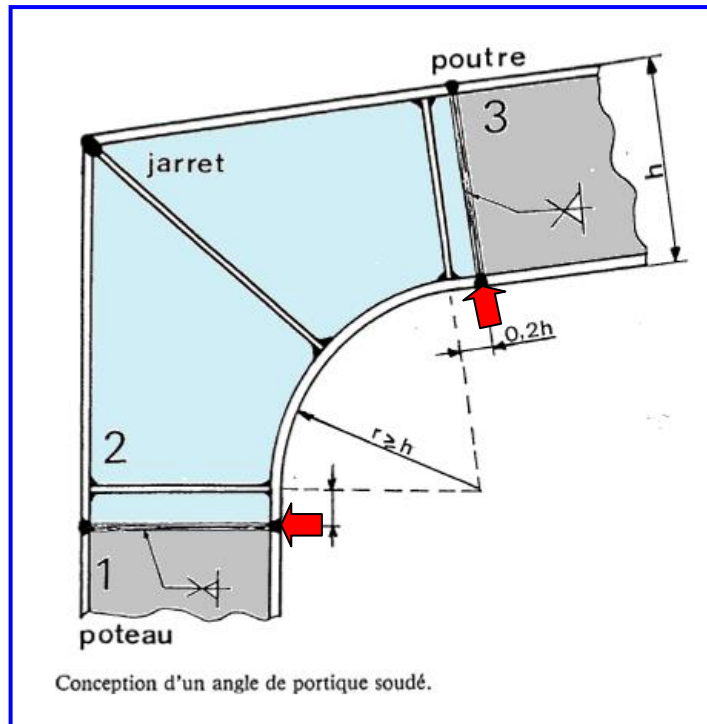


- L'opération de soudage doit être aisée



- Limiter au maximum les soudures sur chantiers en positions et conditions difficiles. Pour cela prévoir des sous-ensembles qui pourront être soudés entre eux.



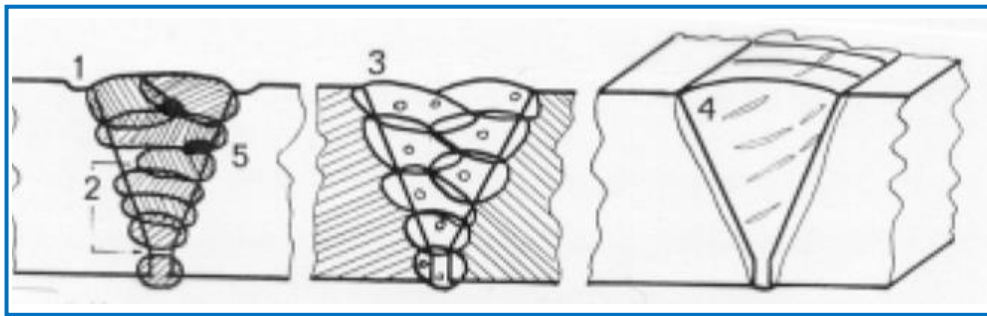


- **Eviter que trois cordons de soudure se rejoignent**, sinon il y a le risque de voir apparaître des fissures au bout de quelques mois.  
En effet, il y a alors présence de tensions hyperstatiques.  
Si on ne peut pas faire autrement, un recuit local est nécessaire.
- **Synthèse :**
  - ✓ Eviter les zones à forte concentration de contrainte
  - ✓ Autant que possible situer le joint dans les zones les moins sollicitées
  - ✓ Limiter les déformations par la symétrie des assemblages et la position des cordons
  - ✓ Préférer les soudures bout à bout aux cordons d'angle, pour les pièces fortement sollicitées
  - ✓ Eviter les cordons frontaux (perpendiculaires à l'effort) car il y a risque de rupture rapide par traction.
  - ✓ Pour des ensembles soumis à la fatigue, éviter le soudage d'éléments secondaires et préférer un assemblage boulonné haute résistance
  - ✓ Faire un cordon tout le tour dans le cas d'un profil creux soudé en bout
  - ✓ L'opération de soudage doit être aisée
  - ✓ Limiter au maximum les soudures sur chantiers en positions et conditions difficiles. Pour cela prévoir des sous-ensembles qui pourront être soudés entre eux.
  - ✓ Eviter que trois cordons de soudure se rejoignent.

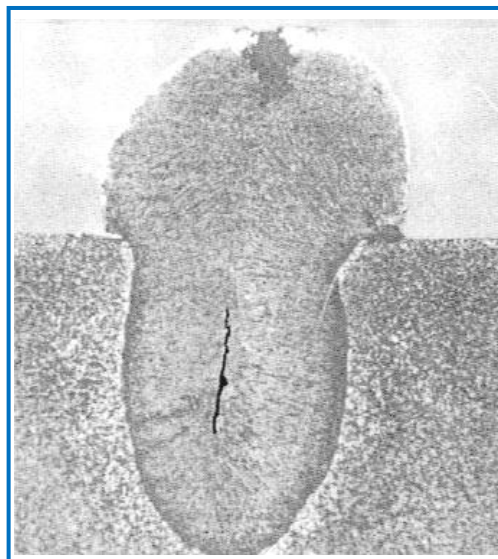
## Défauts de soudure

Plusieurs types de défauts peuvent apparaître lors du soudage.

- ✓ Fissures dues à un mauvais choix des conditions de soudage et à un retrait excessif du matériau sous bridage.
- ✓ Manque de pénétration dû au non respect ou au mauvais choix des conditions de soudage, ou à une mauvaise préparation des bords (chanfreins, écartement).
- ✓ Morsures en surface, caniveaux dus à une énergie de soudage trop importante ou à une mauvaise position du fil de l'électrode.
- ✓ Soufflures ou inclusions gazeuses dues aux réactions chimiques dans le bain de fusion ou à l'humidité des pièces, du flux ou enrobages.
- ✓ Inclusion de laitier entre les différentes passes ou au croisement de soudures. Cela est dû à un mauvais nettoyage entre deux passes ou à une mauvaise technique opératoire.



1. Caniveaux    2. Manque de pénétration    3. Inclusions gazeuses sphériques  
4. Inclusions gazeuses vermiculaires    5. Inclusions de laitier



Fissuration du  
bain de fusion

## Contrôles

### Contrôle dimensionnel

Permet de vérifier la surépaisseur ou la gorge du cordon de soudure (éventuellement avec un calibre)

Permet de vérifier les dimensions de cordons discontinus.

### Contrôle visuel

A l'œil nu ou avec une loupe on peut voir les criques débouchant à la surface, les manques ou excès de métal d'apport, le manque de pénétration, les caniveaux et la forme du cordon.

### Contrôle par ressuage

Le ressuage permet de déceler les fissures de surface ( voir Contrôles non Destructifs)

### Contrôle magnétoscopique

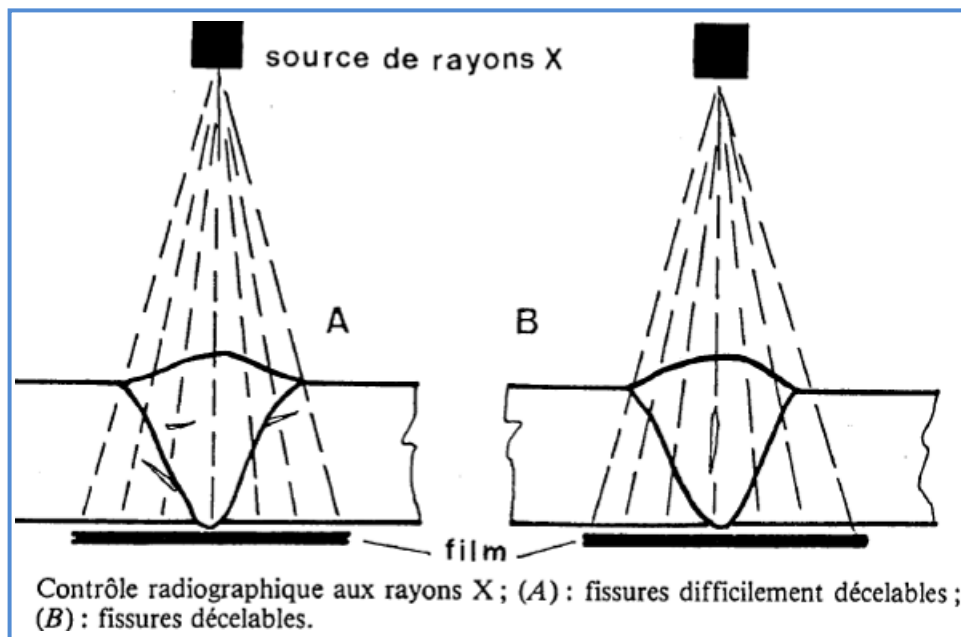
Il permet de déceler des fissures plus profondes ( voir Contrôles non Destructifs)

### Contrôle radiographique

On utilise des rayons X ou gamma pour visualiser des défauts sur un film.

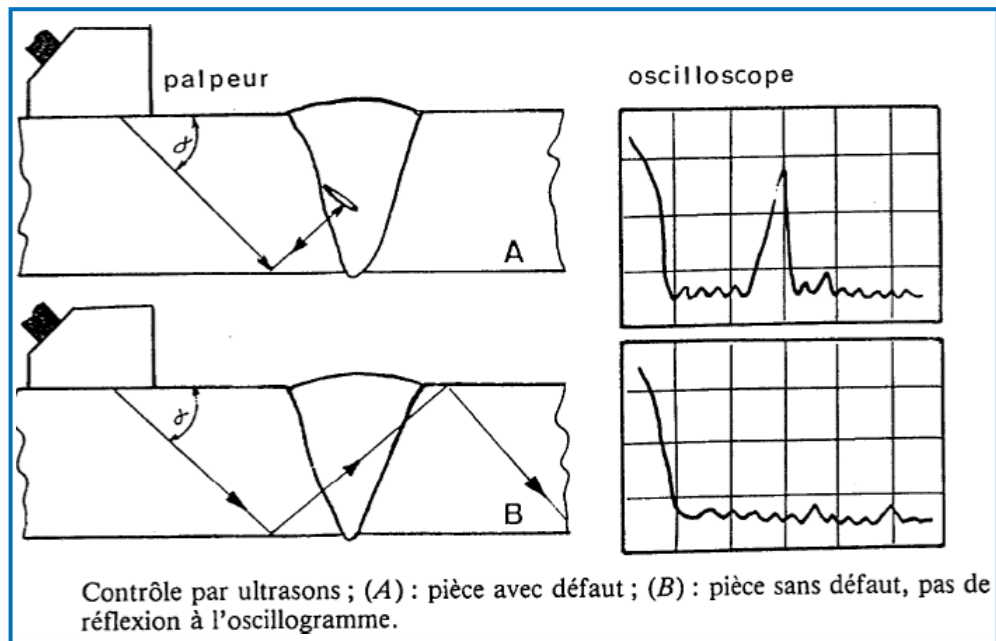
Les défauts apparaissent sous forme de taches claires sur fond noir. Les inclusions planes et discontinuités de faible épaisseur ne sont pas toujours bien décelées.

Le rayon gamma est moins coûteux à produire, mais l'image est de moins bonne qualité.



### Contrôle par ultrasons

Les ondes ultrasoniques sont envoyées dans la pièce par une sonde. Elles sont réfléchies par la surface de fond et renvoyées à la sonde qui les convertit en impulsions électriques visualisées sur un oscilloscope. Si sur leur trajet elles rencontrent un défaut, celui-ci produira une réflexion et un écho qui parviendra à la sonde avant celui de fond.



### Soudage dans l'industrie agro-alimentaire

#### Soudures Inox hygiéniques

Les soudures TIG ou GTAW sont les seuls procédés adaptés aux soudures hygiéniques.

#### Atelier

Il est nécessaire d'avoir un atelier ou une zone spécialement dédié aux aciers inoxydables (pas de mélange acier au carbone – acier inoxydable).

La température ambiante doit être supérieure à 5°C pour éviter tout risque de condensation.

Il faut utiliser des outils spécifiques aux tubes inox pour éviter toute contamination ferreuse (même les mors d'étaux).

#### Finition de la soudure

Il faut obligatoirement passer l'acier inoxydable après soudage.

#### Contrôle qualité

- **Soudures accessibles**
  - ✓ Contrôle visuel
  - ✓ Contrôle visuel avec gabarits de couleur
  - ✓ Ressuage
- **Soudures non accessibles**
  - ✓ Contrôle par endoscopie
  - ✓ Contrôle destructif

Lorsque les contrôles sont difficiles, voire impossibles, il faut mettre en place un plan qualité :

- ✓ traçabilité (inox + gas) ;
- ✓ réalisation de soudures-échantillons ;
- ✓ enregistrement sur fiche des paramètres de chaque soudure ;
- ✓ plan d'échantillonnage pour contrôle de chaque soudure ;
- ✓ enregistrement des résultats.

### Maintenance

Dans beaucoup de cas il est préférable de réparer plutôt que de remplacer des pièces coûteuses. Le soudage par le personnel interne reste l'une des techniques à utiliser. Cela nécessite d'avoir :

- un bon soudeur formé aux techniques de soudage et de rechargement ;
- un chalumeau,
- un poste de soudage à l'arc.

Pour les soudures critiques réalisées à l'extérieur, il est souvent nécessaire d'imposer un contrôle par ultrasons. Malheureusement trop d'entreprises réalisent ces travaux sans avoir ce moyen de contrôle.

# Soudage des pièces en matières plastiques

## Principe

Le procédé de soudage de matières plastiques consiste à assembler deux pièces en matière plastique. En général l'échauffement se fait soit par un apport extérieur de chaleur, soit grâce à la chaleur générée par le process lui-même. De ce fait seuls les **thermoplastiques** sont soudables par ces techniques.

## Soudage par baguette

A l'identique des métaux, il est possible de souder des pièces en matière plastique avec un chalumeau, ou une lampe à souder, et une baguette en matière plastique. Pour les métaux, on chauffe les pièces avant la baguette ; ici c'est l'inverse. De ce fait le mouvement du soudeur est différent. Avec le métal, s'il est droitier il avance de la gauche vers la droite ; pour la matière plastique il avance de la droite vers la gauche. Aujourd'hui, ce procédé est abandonné.

## Soudage par ultrasons

Des vibrations de haute fréquence sont envoyées aux deux pièces par un outil vibrant appelé sonotrode. La température générée à la surface des deux pièces permet la soudure.

## Soudage par lame chauffante ou miroir chauffant

Deux pièces en matière plastique sont placées l'une au-dessus de l'autre avec un espace de 1 cm entre elles. On y place une plaque (« miroir ») qui chauffe des deux côtés. Lorsque la température de la matière atteint sa température de fusion en surface, il suffit de retirer le miroir chauffant et de mettre les deux pièces en contact.

## Soudure par Haute Fréquence

Le procédé de soudage haute fréquence est utilisé pour les feuilles en thermoplastiques (PVC par ex.). La HF crée un champ électrique générant des vibrations moléculaires nécessaires à un réchauffement interne.

## Soudage par rotation

Une pièce est mise en pression sur l'autre avec un mouvement de rotation.

## Soudage par Laser

Ce type de soudage est possible si :

- ✓ l'une des pièces est transparente ;
- ✓ l'autre est opaque à la longueur d'onde que le laser utilise.

Les deux pièces sont mises en pression et le rayon laser parcourt le joint, en traversant la première pièce et en étant absorbé par la seconde.

## Autres techniques

Soudage par air chaud, par vibrations, par points, etc

### Maintenance

Aujourd'hui le soudage de pièces en matières plastiques en maintenance n'est plus recommandé.  
L'utilisation du collage est préférable.

# Métallisation et Rechargement de pièces

## Métallisation

### Métallisation par pistolet à poudre

C'est incontestablement le procédé le plus simple pour le rechargement des pièces métalliques.

Son principe consiste à introduire une poudre métallique au sein du flamme oxy-combustible produite par un chalumeau ; cette poudre est transportée grâce à l'énergie transmise par les gaz de combustion.

Le pistolet est équipé d'un chalumeau, les gaz étant de l'oxygène et de l'acétylène ou du propane. Il est alimenté en poudre par un distributeur, connecté à l'air comprimé.

Les températures atteintes par les particules projetées ne dépassent pas 2000°C. La distance entre la buse du pistolet et la pièce est de l'ordre de 100 à 150 mm pour donner le temps aux particules métalliques de s'échauffer.



Ce procédé permet d'obtenir des dépôts de quelques dixièmes de mm. Ces dépôts ont une faible adhérence ( 20 à 40 Mpa) et une porosité élevée, comparativement à d'autres procédés.

Les matériaux utilisés sont des alliages à base de nickel ou de cobalt, contenant du bore ou du silicium, éventuellement des carbures. Des dépôts à base d'acier, ou de polymères sont également réalisables.

Ce type de procédé et de matériel est assez répandu dans l'industrie. Il permet de résoudre des problèmes d'abrasion, de corrosion, d'usure.

### Métallisation par pistolet avec fil cordon (procédé appelé aussi « projection »)

Le matériau sous forme de fil, cordon ou baguette, est introduit au sein de la flamme, mais ici la projection des gouttelettes sur la pièce est assurée par un jet d'air comprimé.

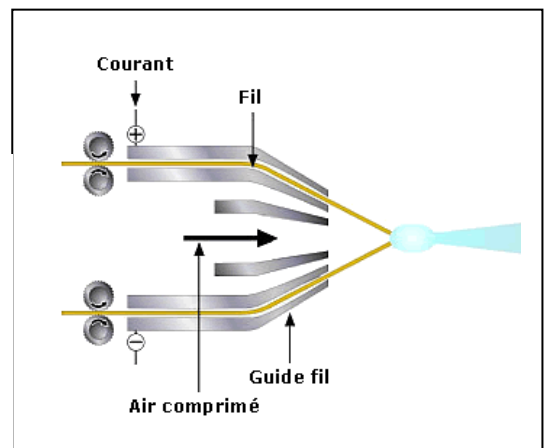
Le pistolet comporte deux parties :

- ✓ la partie chalumeau,
- ✓ la partie entraînement du fil, cet entraînement étant fait par une turbine, un moteur à air comprimé, ou un moteur électrique.

Ce procédé permet de gagner en productivité et en épaisseur de métallisation par rapport au procédé à poudre.

### Métallisation par arc électrique (procédé appelé aussi « projection »)

Son principe consiste à réaliser un arc électrique entre deux fils ductiles d'un métal d'apport. Le métal fondu dans l'arc est atomisé et projeté par un jet d'air comprimé. Les 2 fils sont alimentés électriquement avec des polarités opposées.





## Rechargement

Le procédé proprement dit de rechargement permet d'obtenir des épaisseurs plus importantes et moins poreuses qu'avec la métallisation, mais il est moins facile à pratiquer.

Ce sont les procédés de soudage à l'arc, TIC et MIG qui sont utilisés.

La procédure généralement appliquée est la suivante.

### Préparation

Il convient d'abord d'éliminer le métal endommagé ou fissuré jusqu'à l'obtention d'une surface support saine.

### Préchauffage

En général, le préchauffage n'est pas nécessaire. Cependant :

- ✓ pour les fontes et les aciers autotrempants, il faut un préchauffage à environ 300°C.
- ✓ pour les aciers demi-durs ou faiblement alliés, un préchauffage entre 150 et 200°C est recommandé.

### Rechargement à l'arc électrique

Il est recommandé de déposer une sous-couche avec une électrode adaptée au métal à recharger, ceci pour faciliter l'accrochage.

Pour réaliser le rechargement il faut tenir un arc court en tenant l'électrode presque verticale. Avancer assez lentement et sans balancement.

### Rechargement au chalumeau

Moins rapide que le procédé à l'arc électrique, le rechargement au chalumeau assure cependant une meilleure qualité de recouvrement.

## Maintenance

Dans beaucoup cas il est préférable de réparer plutôt que de remplacer des pièces coûteuses. Le rechargement est un des techniques à utiliser. Cela nécessite d'avoir un bon soudeur et quelques moyens : chalumeau, poste de soudage à l'arc, pistolet à poudre (métallisation).

Le tableau ci-après donne une indication sur les méthodes à utiliser.

Métal	Forme	Procédé	Caractéristiques	Utilisation
Oxyde de Chrome	Poudre	Projection ou plasma	Excellente résistance en cas de très faible abrasion. Peut être meulé pour un excellent fini. Pas de distorsion à la	Faible effort Erosion
Acier inoxydable 431	Poudre	Métallisation	Bonne résistance à l'usure adhésive en cas de lubrification. Faible résistance à l'abrasion. Peut être meulé pour un excellent fini. Pas de	Usure par frottement. Ecaillages
Nickel-Chrome 4	Poudre	Métallisation ou fusion	Bonne résistance à l'usure adhésive; résiste à la corrosion. Epaisseur jusqu'à 0,125 mm. On pourrait utiliser le chalumeau mais le travail est plus lent.	Usure métal sur métal, cavitation, grippage. brinelling, coups.



**Maintenance**

Métal	Forme	Procédé	Caractéristiques	Utilisation
Acier au chrome 1	Electrode	Apport par soudure à l'arc	Résistance moyenne à une faible abrasion et usure adhésive. Peut être meulé pour un excellent fini. Bas coût. 50 HRC	Faible effort en général. Mais grand effort dans le cas d'un roulement de cylindres ou billes.
Acier au chrome 5	Electrode	Apport par soudure à l'arc (TIC)	Très bonne résistance à une faible usure abrasive. Facile à appliquer. 60 HRC	Faible effort. Formation de limaille. Coups.
Cobalt-Chrome	Baguette	Oxy-acétylène	Très bonne résistance à l'usure adhésive. Résistance modérée à une faible abrasion. L'alliage est cher et son application est lente. 43 HRC	Usure métal sur métal, grippage, brinelling, usure par frottement, cavitation, érosion.écaillages.
Cobalt-Chrome	Electrode	Apport par soudure à l'arc	Bonne résistance à l'usure adhésive. Facile à appliquer. Valable pour toute forme de soudage. L'alliage est cher. 43 HRC.	Usure métal sur métal, cavitation, grippage. écaillages, usure par frottement.
Nickel-Chrome 4	Baguette	Oxy-acétylène	Bonne résistance à l'usure métal sur métal. Usinable. Ne vas pas rouiller. Coût d'application. 35 HRC	Usure métal sur métal, grippage, écaillages.
Acier-Tungstène	Baguette	Oxy-acétylène	Excellente résistance à une abrasion modérée. A utiliser comme déposé. Coût d'application. < 60 HRC	Faible effort Erosion. Formation de limaille. Coups.
Acier-Tungstène Cobalt-Chrome	Baguette	Oxy-acétylène	Excellente résistance à une abrasion modérée. A utiliser comme déposé. Résistant à la corrosion. Coût d'application. < 60 HRC	Faible effort Erosion. Formation de limaille. Coups. Cavitation.

# Revêtements

## Revêtements métalliques

### Nickelage

Le nickel est relativement inoxydable à l'air d'une part, il permet de donner une apparence brillante et de qualité d'autre part.

Le dépôt de nickel peut être obtenu par le procédé électrolytique classique.

Le **procédé Kanigen** est un procédé de revêtement obtenu par voie chimique sans faire appel au courant électrique. C'est un revêtement à 93% de nickel et 7% de phosphore. Le point de fusion est 800°C et dureté Brinell : 465.

Le nickelage chimique Kanigen assure une résistance à la corrosion analogue à celle du nickel. mais il ne convient pas pour les acides acétiques, sulfurique, trichloracétique et aux chlorures.

On peut l'appliquer sur des supports très divers : fer, aciers, fonte, cuivre, laiton, bronze, aluminium, etc.

### Chromage

Le chromage consiste à recouvrir une pièce d'une couche de chrome allant de 0,5 µ à 0,1 mm.

Il y a deux types de chromage :

- le chromage décoratif qui donne aux pièces un aspect brillant (épaisseur de 0,5 µ ).
- Le **chromage dur utilisé comme revêtement anti-usure et anti-corrosion**( épaisseur de l'ordre de plus de 0,1 mm) qui peut être rectifié.

Le procédé classique est galvanique avec l'utilisation de bains de chromage à base d'acide chromique et d'acide sulfurique. Il présente deux inconvénients :

- ✓ un faible rendement cathodique ;
- ✓ la formation d'hydrogène qui fragilise l'acier et diminue sa résistance à la fatigue.

Plusieurs améliorations ont été recherchées : électrodéposition sous courants pulsés, dépôt physique sous phase vapeur, pulvérisation cathodique magnétron, etc.

Parfois on applique une **sous-couche de nickel** pour renforcer la résistance à la corrosion.

### Galvanisation

Avec la galvanisation on va recouvrir la pièce d'une **couche de zinc** pour la protéger **contre la corrosion**. En effet, le zinc a une tendance anodique et va donc s'oxyder à la place de l'acier avec une vitesse d'oxydation 25 fois plus faible. C'est pourquoi on parle aussi de protection cathodique passive.

Les différents procédés industriels sont les suivants.

- La galvanisation à chaud par immersion qui est notamment la galvanisation en continu des tôles d'acier. C'est la forme de galvanisation la plus connue.
- La **sherardisation**. Dans ce cas, les pièces sont chauffées à environ 400°C dans un caisson rotatif en présence de poudre de zinc et d'un matériau inerte. Il se forme deux couches d'alliage fer-zinc. La sherardisation présente de nombreux avantages :
  - ✓ une bonne résistance abrasive ;
  - ✓ une bonne tenue anti-corrosion ;
  - ✓ une résistance à l'hydrogène.

On trouve beaucoup d'applications dans la visserie, les chaînes, l'industrie navale, le bâtiment.

- L'électrozingage qui est donc le procédé par électrolyse. Il est utilisé pour des tôles destinées à l'industrie automobile principalement.

Avant galvanisation il convient de nettoyer les pièces à l'acide chlorydrique ou sulfurique et de grenailler quand cela est possible.

### Cadmiage

Le cadmium est principalement extrait de la blende (minerai de zinc). Il est de couleur argentée. Son apport par électrolyse améliore la tenue à la corrosion, la température limite d'emploi étant de 250°C.

Son emploi est limité à des cas très techniques en raison de sa toxicité.

### Autres revêtements

Désignation	Support	Epaisseur	Propriétés
Anodisation	Aluminium et ses alliages	10 à 120μ	Bonne résistance à l'usure, à la corrosion et à la chaleur
Etamage	Métaux ferreux	5 à 30μ	Bonne résistance à la corrosion
Phosphatation	Métaux ferreux	20μ	Surfaces frottantes. Base d'accrochage pour peintures et vernis
Shérardisation	Métaux ferreux (pénétration de	15 à 70μ	Très bonne résistance à l'usure et à la corrosion. Très bonne résistance aux chocs.
Sulfinization	Métaux ferreux	0,2 mm	A améliore la résistance à l'usure et les qualités frottantes
Zingage	Métaux	5 à 30μ	Bonne résistance à la corrosion
Cataphorèse	Métaux ferreux	10 à 40μ	Film de peinture assurant une très bonne résistance à la corrosion

## Revêtements en matières plastiques

### Thermoplastiques

Les polymères thermoplastiques se déforment sous l'effet de la chaleur et ils sont façonnables. Le phénomène est réversible.

Comme ils sont solubles dans certains solvants on peut les utiliser comme revêtements et colles.

<b>CA : acétate de cellulose</b>
<i>Cellidor A, Cellon, Lumarith, Rhodialite, <b>Rhodoïd</b>, Setilite, Trialithe</i>
<b>EPS : polystyrène expansé</b>
<i>Afcolène, Depron, Hostapor, Polyfoam, Roofmate, Sagex, Styrocell, Styrodur, Styrofoam, Styropor, Vestypor</i>
<b>PA : polyamides</b>
<i>Akulon, Altech, Amilan, Bergamid, Capron, Durethan, Eratlon, <b>Ertalon</b>, Grilamid, Grilon, Igamid, <b>Kevlar</b>, Latamid, Lauramid, Maranyl, Minlon, Miramid, Nomex, Nylatron, <b>Nylon</b>, Nypel, Orgamide, Perlon, Polyloy, Radiflam, Radilon, Renyl, <b>Rilsan</b>, Schulamid, Sniamid, Stanyl, Staramide, Starflam, Tactel, Technyl, Trogamid, Ultramid, Versamid, Vestamid, Vidyne, Zytel</i>
<b>PC : polycarbonates</b>
<i>Apec, Axxis, Durolon, Gerpalon, Latilon, Lexan, Makrolon, Panlite, Plaslube, Polyman, Sunglass, Tuffak, Xantar</i>
<b>PE : polyéthylène</b>
<i>Hostalen, Lacqtène, Lupolen, Manolène, Marlex, Moplen, Plastazote, Polythen, Sclair, Stamylen, Stamylex, Supralen, Surlyn, Tupperware, Tyvek, Vestolen A</i>
<b>PET ; Polytéraphthalate d'éthylène (polyester )</b>
<i>Arnite, Baydur, Bidim, Dacron, Diolen, Ektar, Ertalyte, Hostadur K et A, Kodar, Mélinex, Mylar, Pocan, Raditer, Rhodester, Rynite, Tenite, Tergal, Terphane, Terylene, Trevira, Ultradur</i>
<b>PP : polypropène (polyoléfine)</b>
<i>Amoco, Appryl, Carlona, Eltex, Hostalen PP, Luparen, Moplen, Novolen, Oléform, Polyflam, Profax, Propathene, Prylène, Stamylen P, Trovidur PP, Vestolen P</i>
<b>PS : Polystyrène</b>
<i>Carinex, Edistir, Empera, Gedex, Hostyrène, Lacqrène, Luran, Lustran, Lustrex, Noryl , Polyflam, Polystyrol, Riviera, Styranex, Styroflex, Styron, Trolitul, Ursaa, Vestyron</i>
<b>PVC : polychlorure de vinyle</b>
<i>Benvic, Breon, Corfam, Darvic, Duraform, Dynel, Garbel, Gedevyl, Hostalit, Lacovyl, Lacqvil, Lucolène, Lucovyl, Lucalor, Lucoflex, Micronyl, Mipolam, Nakan, Saran, Skai, Solvic, Tefanyl, Trovidur, Ultryl, Vestolit, Vinidur, Vinnol, Vinnolit, Vinoflex, Vinylite</i>
<b>PMMA : polyméthacrylate de méthyle (acrylique)</b>
<i><b>Acrigel</b>, Altuglas, Altulite, Bonoplex, Corian, Deglan, Limacryl, Lucite, Metacrilat, Oroglas, Perspex, <b>Plexiglass</b>, Resalit, Vitroflex</i>
<b>ABS : copolymère acrylonitrile-butadiène-styrène</b>
<i>Afcoryl, A lliage PC/ABS), Cycolac, Isopak, Lastilac, Lustran, Novodur, Polyflam, Polylac, Polyman, Ronfalin, Terluran, Toyolac, Ugikral, Vestodur</i>
<b>SAN : copolymère styrène-acrylonitrile</b>
<i>Elvax, Lacqsan, Luran, Lustran, Restil, Vestoran</i>
<b>POM : polyformaldéhyde (polyacétal)</b>
<i>Acetaver, Bergaform, Celcon, Delrin, Ertacetal, Hostaform, Kematal, Kepital, Kocetal, Ultraform</i>
<b>PVAC : polyacétate de vinyle</b>
<i>Elvacet, Hostaflex, Mowilith, Rhovyl, Vinnapas, Vinyon</i>
<b>PBT : polytéraphthalate de butylène (polyester)</b>
<i>Arnite, Celanex, Crastin, Deroton, Hostadur, Pocan, PTMT, Tenite, Ultradur, Vestodur</i>

## Thermodurcissables

Ils prennent eux leur forme définitive après transformation. Le produit obtenu n'est ni transformable, ni recyclable.

<b>EP : polyépoxydes</b>
<i>Araldite, Devcon, DER, Doroxin, Epikote, Epon, Epotek, Epotuf, Epoxin, Eupox, Lekutherm, Lopox, Rutapox</i>
<b>ME : mélamine-formaldéhyde (aminoplastes)</b>
<i>Arborite, <b>Formica</b>, Hostaset MF, Melochem, Melopas</i>
<b>PF : phénol-formaldéhyde (phénoplastes)</b>
<i><b>Bakélite</b>, Cascophen, toile bakélisée (<b>Celoron</b>), papier bakéliné, bois bakéliné, Fluosite, Hostaset PF, Luphen, Micarta, Peracite, Trolitan, Tufnol</i>
<b>PUR : polyuréthanes réticulés</b>
<i>Baydur, Bayflex, Baygal, Cyanapren, Daltoflex, Definal, Desmodur, Desmolin, Estolan, Lupranat, Lupranol, Luvipren, Moltopren, Napiol, Scurane, Urepan, Voranol, Vulkolian, <b>Vulkollan</b></i>
<b>UF : urée-formaldéhyde (aminoplastes)</b>
<i>Aerodux, Beckamin, Cascamite, Hostaset UF, Pollopas, Prystal, Urochem</i>
<b>UP : polyesters insaturés</b>
<i>Alkyde, Hostaset UP, Leguval, Palatal, Pregmat, Ukapon, Vestopol</i>

## Elastomères

Ils peuvent subir de très grandes déformations jusqu'à 1000 % avant rupture. Ce sont des polymères qui sont thermoplastiques et qui deviennent thermodurcissables par vulcanisation.

<b>PTFE : polytétrafluoroéthylène</b>
<i>Algoflon, Ertafon, Fluon, Gaflon, Halon, Hostafon, Polyflon, Soreflon, Téflon, Voltaef</i>
Tous les silicones <b>Silicones</b>
Autres <b>Elastomères</b>

## Propriétés des matières plastiques

**Altuglas ( ex Plexiglas )** : C'est une matière plastique thermoplastique, à base de méthacrylate de méthyle. Elle est incolore et transparente, se travaille aisément à chaud et elle est résistante. Sa densité est 1,18. Sa température de ramollissement est de 85°C, et son point d'inflammation est à 285°C. C'est un très bon isolant thermique et acoustique.

L'Altuglas résiste aux acides non oxydants et aux bases de concentrations 15 à 30%, à l'eau de javel, à l'eau de mer, aux huiles, etc. mais elle ne convient pas pour les solvants ni pour les alcools.

**Caoutchouc naturel et ébonite** : il résiste à de nombreux acides et à l'abrasion. Mais sa température est limitée à 65°C pour le caoutchouc naturel et 120°C pour l'ébonite qui est composée de caoutchouc naturel et de soufre.

Usage proscrit pour les solvants, huiles, mazout, chlore.

**Delrin ( polyoxyméthylène ou résine acétal )** : c'est un thermoplastique.

Beaucoup de qualités : haute résistance, élasticité, stabilité dimensionnelle, avec une excellente tenue aux hydrocarbures, alcools, esters, solvants, eau de mer, etc. Sa résistance est près des métaux non-ferreux entre -40 et +125°C (fusion à 175°C).

### Teflon (PTFE)

Ce polymère est thermostable, possède une grande inertie chimique et un pouvoir antiadhésif. Il supporte des températures jusqu'à 200°C.

### Nylon

C'est un polyamide. Le polyamide présente un très bon compromis entre les caractéristiques mécaniques, thermiques et chimiques. L'ertalon : Sa densité est de 1.15 g/cm<sup>3</sup>  
Sa plage de température d'utilisation est -40 à +120°C

Un polyamide est un polymère contenant des fonctions amides – C(=O) – NH – résultant d'une réaction de polycondensation entre les fonctions acide carboxylique et amine.

Les polyamides sont en général des matériaux sensibles à l'humidité par la présence de groupements polaires. Les propriétés mécaniques et dimensionnelles peuvent donc être affectées selon les conditions de stockage et de mise en œuvre. Ils sont également assujettis à l'oxydation à haute température ainsi qu'une résistance limitée au feu. Pour pallier ce dernier, l'utilisation d'ignifugeant est possible à partir de composés halogénés (bromés ou chlorés) ou bien de composés inorganiques

Le nylon appartient plutôt à la famille des superpolyamides. Il résiste bien à la plupart des solvants et acides, sauf aux acides forts et aux phénols, jusqu'à 100°C. Le point de fusion est à 260°C.

### Ethylène – propylène

C'est un caoutchouc synthétique. Il a une très bonne résistance aux températures de -50 à +150°C, aux graisses et huiles à base de silicone, à des acides et bases à faible concentration. Mais il ne convient pas aux produits pétroliers.

### Hypalon

Son nom chimique : polyéthylène chlorosulfoné. C'est un élastomère qui a l'aspect du caoutchouc synthétique qui est thermodurcissable et peut être vulcanisé. Il présente une bonne résistance à la chaleur jusqu'à 150°C, aux intempéries, à l'ozone et aux produits chimiques.

### Kel-F

Nochimique : copolymère de fluorovinyldène et de monochlorotrifluoroéthylène. Il a une **inertie chimique exceptionnelle** : acides concentrés, ozone et oxydants, huiles et essences, certains solvants. Dureté shore 45, résistance 130 kg/cm<sup>2</sup>, température d'utilisation : -15 à +100°C.

### Néoprène

C'est l'un des plus anciens caoutchoucs synthétiques qui présente de bonnes propriétés mécaniques, avec une très bonne résistance aux huiles et hydrocarbures, à certains solvants et fréons, aux bases et acides dilués, à l'ozone, aux sels inorganiques. Dureté shore 50 à 80. Température d'utilisation : -30 à +110°C. Résistance 65 à 175 kg/cm<sup>2</sup>.

### Perbunan

Nom chimique : Copolymère de butadiène et nitrile acrylique. Il est **recommandé pour sa résistance** aux hydrocarbures, huiles minérales, fluides hydrauliques, lubrifiants à base de silicone, à l'essence, etc. Il a d'excellentes propriétés mécaniques de -40 à +100°C. Dureté shore : 40 à 90. Résistance mécanique : 120 à 200 kg/cm<sup>2</sup>.

Par contre il est déconseillé pour les solvants, produits chimiques, acides, ozone.

### Plastef

C'est un **revêtement de résine polyester** spéciale à grande résistance s'appliquant sur tous métaux, **neutre, sans odeur, résistant aux chocs et vibrations et convenant jusqu'à 130°C**.

Il est préparé sous deux formes, l'une de couleur brune pour les acides, l'autre de couleur crème pour les bases, ce revêtement présente une grande inertie chimique.

### Polyvinyle, polyéthylène

Le chlorure de polyvinyle (CPV) a une très grande inertie face à la plupart des produits corrosifs, sauf les solvants, hydrocarbures, essence, pétrole. Il ne vieillit pas. Sa température d'utilisation est entre -30°C et +60°C. **Il peut remplacer l'acier inoxydable dans certaines applications.**

Sa dureté shore : 100.

### PTFE

Son nom chimique est : polytétrafluoréthylène. Le PTFE a des **qualités exceptionnelles**. Il résiste à tous les solvants, à tous les produits chimiques métaux alcalins fondus exceptés. Sa température d'utilisation va de -196°C à + 200°C. Il ne fond pas et sa dureté shore est supérieure à 70.

### Rhodoïd

C'est une matière plastique à base d'acétate de cellulose de type thermoplastique. Sa température limite est 60°C. Le rhodoïd résiste aux acides et bases dilués, aux essences, aux huiles, au pétrole, au benzol et aux alcools supérieurs. Mais il est attaqué par les alcools inférieurs, les phénols et des solvants tels que l'acétone.

### Rilsan

Cette matière plastique appartient à la famille des superpolyamides. Le rilsan est tenace, léger, **résistant parfaitement à l'abrasion** et a une grande inertie chimique face aux sels, essences, huiles, certains solvants et acides, et l'eau de mer. Le seul solvant du rilsan est le crésol. Sa température d'utilisation varie de -40 à +100°C.

### Silicones

Ce sont des élastomères qui possèdent une résistance exceptionnelle entre -60 et +200°C, et une bonne résistance à l'oxydation, aux bases et acides à température et concentration moyennes. Sa résistance mécanique est faible : 40 à 70 kg/cm<sup>2</sup>.

### Silicones

Les **silicones**, ou polysiloxanes, sont des composés inorganiques formés d'une chaîne silicium-oxygène (...-Si-O-Si-O-Si-O-...) sur laquelle des groupes se fixent, sur les atomes de silicium. Certains groupes organiques peuvent être utilisés pour relier entre elles plusieurs de ces chaînes (...-Si-O-...). Le type le plus courant est le poly(diméthylsiloxane) linéaire ou PDMS. Le second groupe en importance de matériaux en silicone est celui des résines de silicone, formées par des oligosiloxanes ramifiés ou en forme de cage.

Leur consistance va du liquide (implant mammaire) au plastique dur, en passant par le gel et la gomme. Les silicones sont présents un peu partout dans le quotidien, sous forme de mastics, colles, joints, additifs antimoussants pour poudres lessiviels, cosmétiques, matériel médical, gaines isolantes de câbles électriques, graisses haute performance, etc.

### Viton

C'est un caoutchouc synthétique fluoré, offrant en particulier une excellente résistance à la température : -30 à +200°C. Il résiste à de nombreux agents chimiques, à certains solvants et à l'ozone. Dureté shore 60 à 80. Résistance à la rupture 100 à 140 kg/cm<sup>2</sup>.

### Résine Alkyde

Les résines thermodurcissables **alkydes** ou **glycéro-phtaliques** sont utilisées comme liants dans le domaine des peintures et vernis. Le pigment est souvent constitué de paillettes de zinc.

## Revêtements divers

### Composites

Un composite est l'assemblage de plusieurs matériaux non miscibles de natures différentes et dont les qualités se complètent afin d'obtenir un matériau hétérogène dont les performances sont supérieures à celles de ses composants.

Dans un matériau composite on distingue :

- le **renfort** qui constitue le squelette de la pièce et qui supporte l'essentiel des efforts ;
- la **matrice** qui assure la liaison de l'ensemble, répartit les efforts et joue un rôle de protection des renforts.

#### Types de renforts

- Organique (fibres de verre, d'aramide...)
- Minéral (fibres de carbone, de céramiques...)
- Métallique (fibres de bore, d'alumine...)

#### Types de matrices

- Organique (plastiques)
- Minéral (carbone, céramiques...)
- Métallique (aluminium, titane, plomb)

#### Constitution des composites

Principaux renforts		
<b>Fibres de verre FV</b>	* Bon rapport performances mécaniques / prix * Résistance à la température * Bonne adhérence avec toutes les résines	* Disponible sous toutes les formes * Dilatation thermique faible * Renfort le plus utilisé industriellement
<b>Fibres de carbone FC</b>	* Excellentes propriétés mécaniques * Dilatation thermique nulle * Très bonne tenue en température	* Bonne usinabilité * Tenue aux chocs faible * Prix assez élevé
<b>Fibres d'aramide FA "Kevlar"</b>	* Bonne résistance à la rupture en traction * Dilatation thermique nulle * Bonne résistance aux chocs et à la fatigue	* Excellente absorption de vibrations * Usinabilité délicate * Prix élevé
Principales matrices		
<b>Epoxyde EP</b>	* Bonnes propriétés mécaniques et thermiques * Excellente adhérence sur fibres et métaux * Bonne stabilité dimensionnelle	* Temps de polymérisation élevé * Bon comportement en milieu extérieur * Prix assez élevé
<b>Polyester UP</b>	* Facilité de mise en œuvre * Bon accrochage sur fibre de verre * Assez bonne tenue chimique	* Tenue réduite à la chaleur humide * Inflammabilité * Prix réduit
<b>Phénolique PF</b>	* Faibles caractéristiques mécaniques * Bonne tenue en température	* Coloration difficile * Prix réduit



## Céramiques

Une céramique est réalisée par solidification à haute température d'une pâte humide plastique, ou par frittage d'une poudre sèche préalablement comprimée, sans passer par une phase liquide.

### Utilisations en mécanique principalement

- alumine (oxyde d'aluminium  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) : bonne tenue mécanique aux températures élevées, bonne conductivité thermique, grande résistivité électrique, grande dureté, bonne résistance à l'usure, inertie chimique.
- nitrure de silicium  $\text{Si}_3\text{N}_4$  : grande dureté, bonne résistance à l'usure et à l'abrasion, bonne inertie chimique, bonne résistance aux chocs thermiques. Il existe deux types de nitrure de silicium : lié par nitruration de poudre de silicium comprimée ou par pressage de la poudre de nitrure de silicium à température élevée
- sialon : solution solide de nitrure de silicium, de nitrure d'aluminium et de d'oxyde d'aluminium.
- carbure de bore  $\text{B}_4\text{C}$ .
- carbure de silicium ou carborundum  $\text{SiC}$  : grande dureté, bonne résistance aux chocs thermiques, grande conductivité thermique, faible dilatation thermique, excellente inertie chimique.
- cordiérite (silicate alumineux ferro-magnésien) : bonne résistance aux chocs thermiques, bonne conductivité thermique.
- zircone (oxyde de zirconium  $\text{ZrO}_2$ ) : excellentes propriétés mécaniques aux températures élevées, conductivité thermique faible à température ambiante, conducteur électrique à  $T > 1000^\circ\text{C}$ , grande dureté, bonne résistance à l'usure, bonne inertie chimique, bonne résistance aux attaques des métaux.
- oxyde de magnésium  $\text{MgO}$  : résistance aux métaux fondus, bonne résistance mécanique

### Utilisations en électricité ou autres hors mécanique

- mullite  $\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$  : bonne résistance aux chocs thermiques, conductivité thermique faible, résistivité électrique importante.
- nitrure d'aluminium  $\text{AlN}$  : conductivité thermique élevée, bonne résistance électrique, transparent aux longueurs d'onde du visible et de l'infra-rouge.
- nitrure de bore  $\text{BN}$  : haute conductivité thermique, faible dilatation thermique, excellente résistance aux chocs thermiques, haute résistance diélectrique, faible constante diélectrique, inerte chimiquement, transparent aux micro-ondes, facilement usinable.
- borure d'aluminium  $\text{AlB}_2$ .
- oxyde de zinc  $\text{ZnO}$ .
- oxyde magnétique de fer  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .
- pérovskites : elles constituent une vaste famille de matériaux cristallins de formule  $(\text{A})(\text{B})\text{O}_3$  comme  $\text{BaTiO}_3$ ,  $\text{CaTiO}_3$ ,  $\text{SrTiO}_3$  ou  $(\text{PbSr})\text{TiO}_3$ ,  $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.5}\text{Ti}_{0.5})\text{O}_3$
- stéatite (silicate de magnésium  $(\text{SiO}_4)\text{Mg}_2$ ) : bonne résistivité électrique.
- silicates d'aluminium (argiles).
- oxyde d'uranium  $\text{UO}_2$ .

## Celloron

Stratifié industriel constitué de tissus de coton spéciaux imprégnés de résines synthétiques, puis agglomérés sous forte pression et haute température dans des presses spécialement adaptées. Il en résulte une excellente cohésion entre les couches, une bonne résistance aux chocs et aux frottements. Les résines peuvent être chargées avec des différents additifs destinés à les adapter à leur usage final. Ex : bisulfure de molybdène, graphite...

## Basalte

Ce produit est élaboré à partir de roches éruptives sélectionnées et fondues entre  $1245^\circ$  et  $1290^\circ\text{C}$ . Il est fondu aux caractéristiques de résistance à l'abrasion exceptionnelles. Ses performances sont obtenues grâce à l'imbrication d'oxydes métalliques purs dans une phase vitreuse.

Il convient dans les cas d'abrasion sévère avec impacts modérés ; c'est son excellent coefficient de glissement qui favorise l'écoulement ( applications : goulottes, trémies, tuyaux...)

### Maintenance

Pour réduire les coûts directs et indirects de maintenance, avant de penser à des remplacements de pièces, les solutions apportées par les revêtements sont certainement à envisager.

A l'heure actuelle, les solutions techniques sont multiples d'une part, et les sociétés spécialisées dans ces domaines sont très nombreuses.

La liste des matériaux présentée ci-après n'est peut-être pas complètement exhaustive, mais elle peut sans doute contribuer à faire les bons choix.

#### Revêtements anti-usure avec abrasion légère

- Revêtements plastiques :
  - ✓ époxy,
  - ✓ nylon,
  - ✓ éthylène-chloro trifluoroéthylène (E-CTFE)
  - ✓ perfluoro alcoyle alcane (PFA)
  - ✓ polyester
  - ✓ polytétrafluoroéthylène (PTFE)
  - ✓ polyuréthane (PU)
- Métaux compatibles en frottement avec l'antagoniste, utilisés purs ou alliés : plomb, indium, étain, bronze, etc. ;

#### Revêtements anti-abrasion modérée

- Matières plastiques et élastomères : le Rilsan, utilisable jusqu'à 80-100 °C, a une bonne résistance au frottement, à l'abrasion, à la cavitation.
- Caoutchoucs à base de polyuréthane ou de néoprène ; ils présentent l'intérêt de protéger face à une abrasion par chutes de grosses particules
- Céramiques : nitrure de silicium  $\text{Si}_3\text{N}_4$
- Métaux durs contre l'abrasion, éventuellement en couches épaisses de 1 mm et plus : chrome, molybdène... ;

#### Revêtements anti-abrasion forte

- Alliages très durs pour contrer l'abrasion, éventuellement à chaud, sous forme de couches plutôt épaisses, voire de rechargement : nickel-chrome, nickel-chrome-bore, cobalt-chrome-tungstène-bore.
- Céramiques : carbures métalliques, alumine, zircone.
- Carbure de tungstène
- Basalte fondu

#### Revêtements anti-corrosion

- Cataphorèse ; ce procédé d'anticorrosion permet par électrophorèse de réaliser un dépôt de peinture à base de résine époxy sur un substrat métallique après les opérations de préparations de surfaces.
- Distillats de goudron, pour empêcher les infiltrations d'eau
- Peintures liquides ; plusieurs familles de peinture sont mises en œuvre en fonction des propriétés recherchées, telles que :
  - alkyde ou glycéro, utilisé principalement en primaire antirouille
  - époxy, pour la tenue à la corrosion
  - polyuréthane, pour l'aspect (tendu) et la tenue à l'extérieur aux UV
- Peintures poudres : elles se déclinent en 3 grandes familles :
  - époxy
  - époxy polyester (mixte),
  - polyester

### **Maintenance**

- Rilsan
- Epoxy
- PTFE
- Teflon
- Phosphatation Zinc et fer
- Chromatation
- Zingage
- Galvanisation
- Composites : alliance d'un métal (nickel – chrome) avec un fluoropolymère

### Revêtements anti-cavitation

- Rilsan, utilisable jusqu'à 80-100 °C, a une bonne résistance au frottement, à l'abrasion, à la cavitation.
- Caoutchoucs à base de polyuréthane ou de néoprène.

### Revêtements anti-adhérence

- Celoron imprégné de bisulfure de molybdène
- Les PTFE, particulièrement le Téflon
- Silicones, particulièrement les élastomères et les résines, mais les silicones seuls n'ont pas une grande longévité
- Fibres de verre tissées recouvertes de silicone
- Composites : alliance d'un métal (nickel – chrome) avec un fluoropolymère
- Certaines céramiques

## Protection cathodique

La protection cathodique est la technique qui permet de conserver dans son intégrité la surface extérieure des structures en acier enterrées ou immergées, en s'opposant au processus électrochimique d'attaque du métal par le milieu ambiant, c'est-à-dire **la corrosion**. Les canalisations acier constituent le champ d'application principal de cette protection. Les réseaux en acier, même anciens et dégradés, peuvent bénéficier de cette technique dans des conditions économiques admissibles.

On distingue deux types de protection cathodique :

- ✓ la protection passive ;
- ✓ la protection active.

### Protection passive

Elle est constituée par un revêtement extérieur dont le rôle est de créer un effet de barrière électrique entre le métal des canalisations et le milieu environnant.

Aujourd'hui les anodes réactives ou sacrificielles revêtent différentes formes et sont faites en utilisant des alliages de zinc, d'aluminium et de magnésium. Le potentiel électrique de ces alliages est plus bas que ceux du fer (qui jouent le rôle de cathodes).

Par exemple, les voitures automobiles d'aujourd'hui sont en acier galvanisé ou électrozingué (recouvert de zinc).

Ce revêtement ne constitue cependant pas une protection absolue et définitive en raison des imperfections ou blessures susceptibles de se produire lors de la pose ou au cours de la vie de l'ouvrage. C'est pourquoi on maîtrise ces risques potentiels par l'installation d'une protection cathodique.

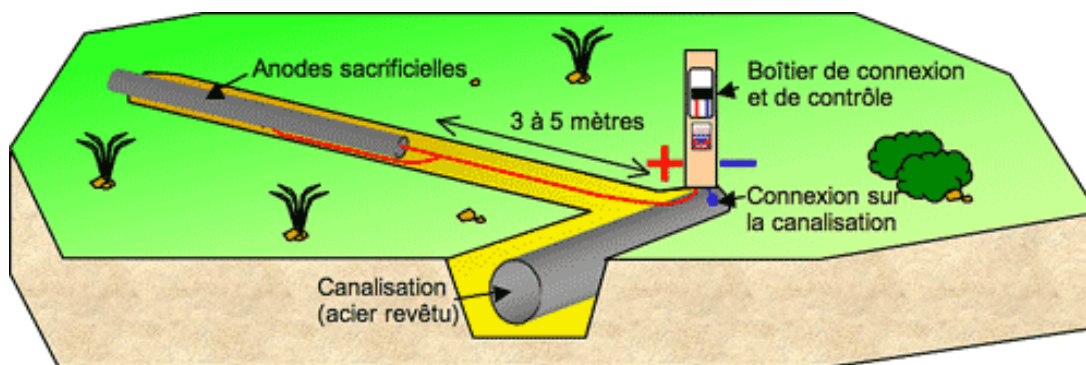
### Protection active

Elle consiste à amener par des moyens extérieurs et artificiels l'ensemble de la surface extérieure du métal à un potentiel suffisamment négatif pour rendre le métal entièrement cathodique et supprimer ainsi tout risque de corrosion extérieure. Le critère de protection cathodique est la valeur du potentiel au-dessous duquel l'acier ne peut se corroder. Pour l'acier enterré ou immergé le critère de protection est mesuré avec une électrode de référence Cu/CuSO<sub>4</sub> en contact avec le milieu situé au voisinage immédiat du métal de – 850 mV. Ce n'est qu'à partir d'une certaine valeur de courant que le potentiel nécessaire est atteint.

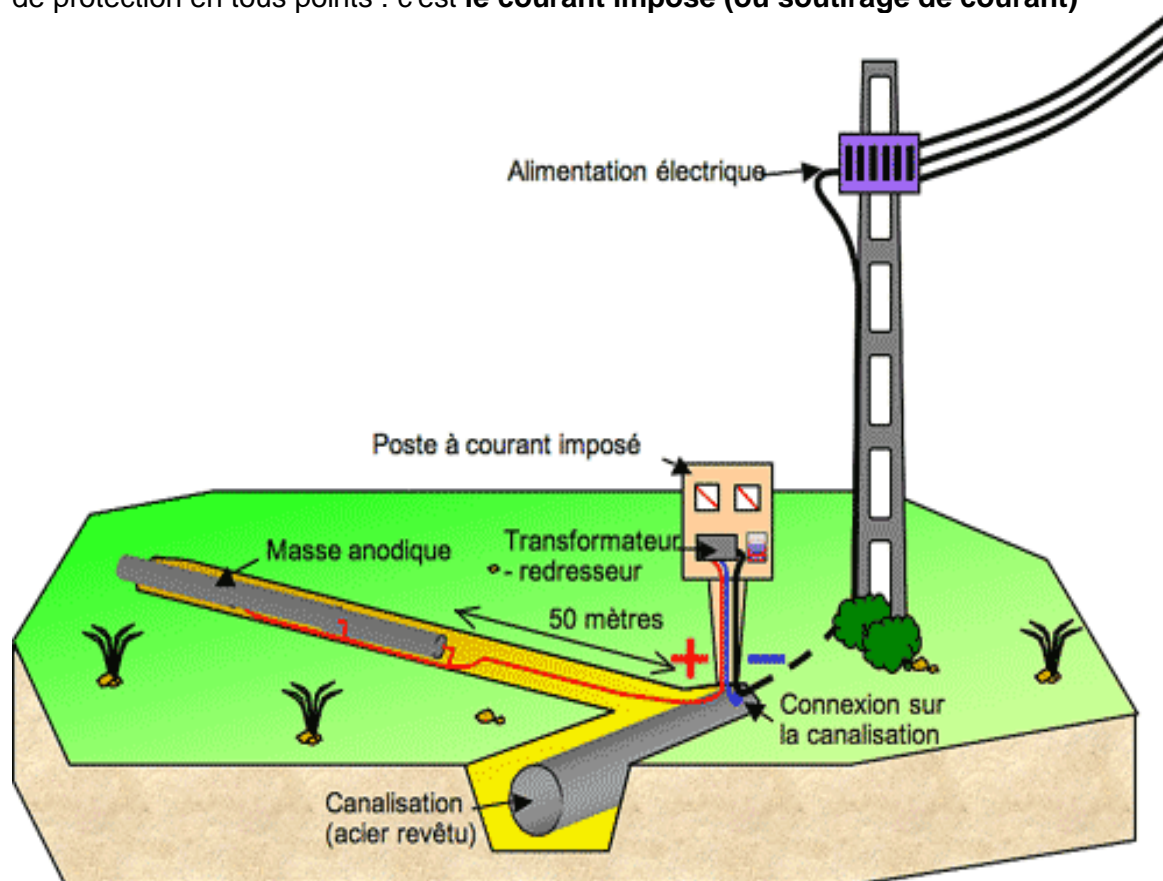
Pour réaliser la protection cathodique des canalisations enterrées en acier, il suffira donc :

- soit de constituer une pile à l'aide d'un métal plus électro-négatif que l'acier (magnésium ou zinc) : c'est la protection par **anode galvanique (sacrificielle)**

**Principe** : on crée un couple galvanique dont la canalisation métallique sera la cathode de la pile et l'anode un métal choisi pour son potentiel plus électronégatif (magnésium, aluminium, zinc).



- soit de les relier à une source électrique convenablement connectée de manière que l'acier devient la cathode du système et de vérifier que le potentiel de cette cathode atteint bien le critère de protection en tous points : c'est **le courant imposé (ou soutirage de courant)**



**Principe :** l'abaissement de potentiel des canalisations à la valeur voulue est obtenu en connectant le réseau, en un ou plusieurs de ses points, au pôle négatif d'une source électrique de courant continu.

Le champ électrique se répartit dans le sol par la prise de terre ou déversoir.

Les électrons gagnent la canalisation et pénètrent par leur surface latérale, cheminent longitudinalement dans les conduites jusqu'à la connexion au pôle négatif du redresseur. Il en résulte un abaissement du potentiel dans le réseau.

Cet abaissement de potentiel croît depuis les extrémités du réseau les plus éloignées de la connexion jusqu'au pôle négatif de l'alimentation pour être au maximum au droit de celle-ci. Il doit être suffisant pour que le critère de protection soit partout atteint et maintenu.

Ce type de protection est tout indiqué pour la protection des grands réseaux et offre une grande souplesse d'adaptation et de réglages.

Article de : C.C.T.A. sas - 3 rue de l'Adour 31500 TOULOUSE  
Tél: +33 (0)5 61 343 888

# Traitements thermiques

Grâce à un traitement thermique on va améliorer des caractéristiques mécaniques : dureté, ductilité, limite élastique, etc.

C'est par des procédés de chauffe et de refroidissement que l'on change la structure des atomes.

## Trempe

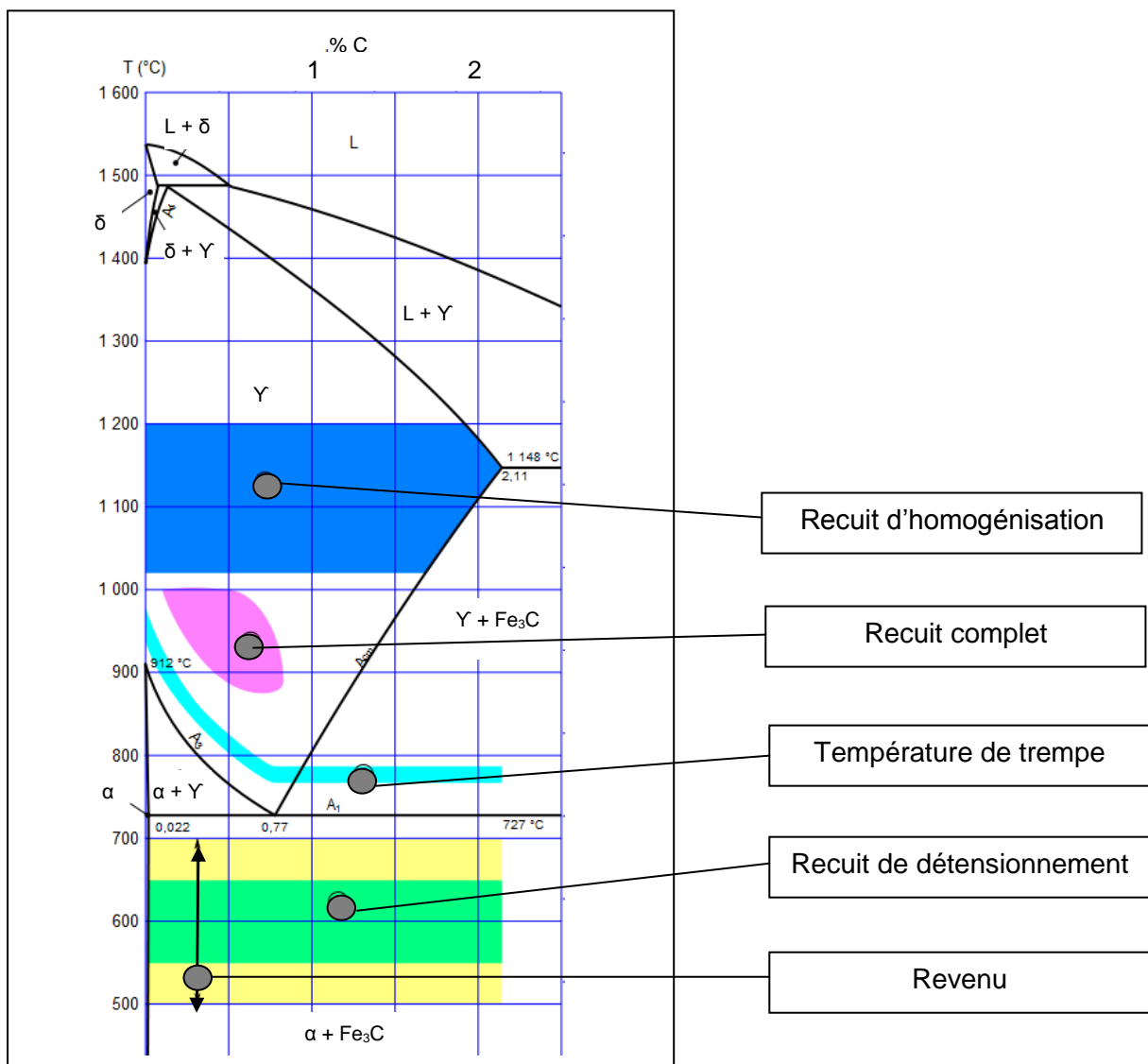
L'organisation des atomes change au-dessus d'une certaine température. Si l'on refroidit rapidement, ces atomes n'ont pas le temps de reprendre leur structure initiale.

A basse température l'acier est composé de cristaux de fer avec du carbone en solution solide : structure ferritique  $\alpha$ , et de cristaux de carbures de fer  $\text{Fe}_3\text{C}$  ; sa structure est de type cubique centré.

A haute température, sa structure est de type cubique à faces centrées : structure austénitique ou  $\gamma$ .

Lorsque l'on chauffe dans la zone austénitique les carbures se dissolvent.

Si l'on refroidit rapidement, on permet aux atomes de se réorganiser mais pas de reformer des carbures. On a alors une structure saturée en carbone qui durcit l'acier. On forme alors soit de la martensite, soit de la bainite.



Le refroidissement est obtenu en plongeant la pièce dans un liquide : eau, huile, plomb fondu, etc., ou on peut refroidir avec un gaz : air, azote

### Trempe superficielle

C'est un procédé de traitement thermique superficiel qui n'affecte que la surface de la pièce pour lui apporter une grande dureté tout en conservant un bon allongement et une grande résilience au cœur.

Les principaux avantages sont :

- ✓ emploi d'acier ordinaire à la place d'acier de cémentation,
- ✓ chauffage très localisé, rapide et économique,
- ✓ pas de déformation de la pièce.

Les procédés de trempe superficielle les plus courants sont :

- la trempe à la flamme est le plus simple des procédés de trempe avec le chalumeau oxyacétylénique comme moyen de chauffe ;
- la trempe par induction électromagnétique est le meilleur moyen pour obtenir un chauffage uniforme, rapide et de peu de profondeur (quelques 1/10 mm).

Il existe d'autres procédés qui n'ont pas d'applications en maintenance.

### Revenu

Le revenu se pratique après une trempe pour réduire les contraintes internes créées par cette trempe. Il permet de rétablir la résilience, donc de rendre l'acier moins fragile. Pour cela on chauffe la pièce à une température inférieure à celle d'austénisation puis on refroidit cette pièce très lentement.

### Recuits

On utilise des métaux ductiles pour certaines mises en forme telles que le laminage, le forgeage, le tréfilage, etc. Mais ce travail désorganise les atomes et crée un phénomène appelé écrouissage. Si l'on chauffe modérément le métal, on redonne de la mobilité aux atomes ; c'est ce que l'on appelle le recuit.

De fait on distingue plusieurs formes de recuit.

#### **Recuit de détensionnement**

Il s'agit là d'une restauration que l'on appelle parfois recristallisation. On le fait juste pour activer la mobilité des atomes.

#### **Recuit complet**

Le but du recuit complet est d'affiner le grain, d'affiner l'alliage pour améliorer les possibilités d'usinage. Pour cela on chauffe l'acier à une température supérieure à celle de la trempe puis on réalise un refroidissement lent dans une installation isolée thermiquement.

#### **Recuit d'homogénéisation**

On « rejoue » en quelque sorte la solidification, les grains de ferrite et de cémentite sont recréés à partir de l'austénite.

### Cémentation

La cémentation consiste à faire pénétrer en surface du carbone dans un acier dont le pourcentage en carbone est insuffisant pour que l'on puisse pratiquer la trempe.

L'épaisseur varie de 0,1 à 0,3 mm ; le % de carbone est environ de 0,85 %.

La cémentation se pratique par craquage d'un liquide organique à environ 900°C. Le liquide est un mélange d'azote et de méthanol qui donne du CO et du CO<sub>2</sub> du craquage. Le CO apporte le carbone naissant. Après cémentation les pièces sont trempées et subissent un revenu entre 175°C et 200°C.



**Les pièces cémentées ont une grande dureté en surface tout en restant ductiles à cœur. Elles résistent bien à l'usure et à la fatigue.**

Les roulements de marque Timken sont en acier cémenté.

### Nitruration

La nitruration consiste à plonger des pièces en aciers au chrome-aluminium dans un milieu susceptible de céder de l'azote (cyanures, ammoniac), entre 300°C et 500°C pendant 100 heures pour une pénétration de 1 mm.

Les résultats obtenus sont :

- ✓ **des qualités identiques à celles de la cémentation ;**
- ✓ **une résistance à la corrosion semblable à celle de l'acier inoxydable ;**
- ✓ **aucune déformation en raison de l'absence de trempe.**

Mais le procédé présente deux inconvénients :

- ✓ le temps nécessaire ;
- ✓ les pièces nitrurées ne supportent aucune déformation plastique.

### Maintenance

- 1 - Pour réduire les coûts directs et indirects de maintenance, avant de penser à des achats de pièces, on peut penser à fabriquer en interne de petites pièces. Bien sûr il n'y a plus maintenant de forge ou de four, dans les services de maintenance, permettant de faire des trempes complètes. Mais si l'on a un chalumeau, il y a la possibilité de faire des trempes superficielles ce qui est souvent très suffisant.
- 2 – Il est souvent utile de réaliser un recuit de détensionnement. Par exemple dans le cas de 3 soudures (en 3D) qui se touchent, il y a une nécessité de faire un recuit local sous peine d'avoir assez vite des criques. Un bon soudeur et un chalumeau sont la solution.

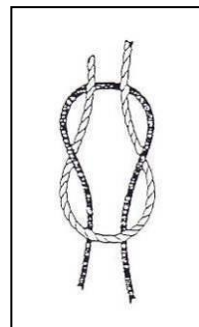
# Levage et manutention

## Types de nœuds

### Nœud droit simple

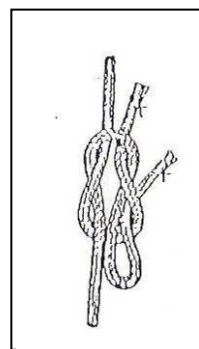
Il est utilisé pour réunir des cordages de même diamètre, en acier ou en corde.

Pour l'élingue acier, il est nécessaire de mettre une pièce en bois d'un diamètre égal à celui du câble dans le centre du nœud, en cherchant à réaliser un brelage en long au droit des deux embouts libres.



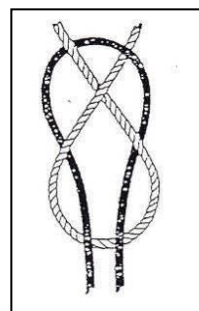
### Nœud droit Ganse

Principe identique au nœud droit simple, mais il y a une plus grande facilité pour défaire ce nœud.



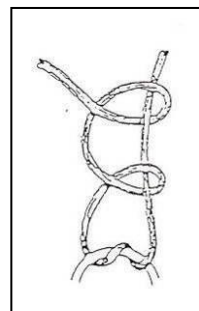
### Nœud d'élingueur

On l'utilise en lieu et place du nœud droit pour réunir des cordages de diamètres différents ou de composition acier/corde (dans ce dernier cas un brelage en long sur acier est nécessaire avec un nœud de batelier sur corde).



### Nœud d'ancre

On l'utilise habituellement pour l'amarrage à un anneau, une oreille de levage.

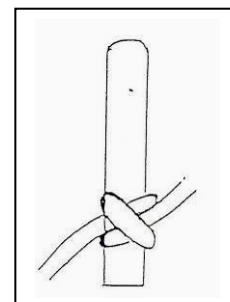


### Nœud de batelier

On l'utilise pour l'amarrage spécifique sur section circulaire (comme pour le nœud d'ancre).

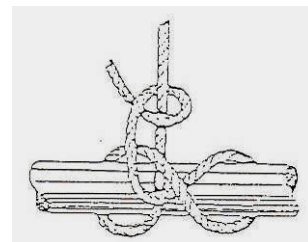
Avantage : il est auto-serrant, et il abîme peu le cordage.

Inconvénient : il est difficile à défaire.



Quand on le réalise avec un câble, il faut respecter un bon rapport entre le diamètre du support le diamètre du câble.

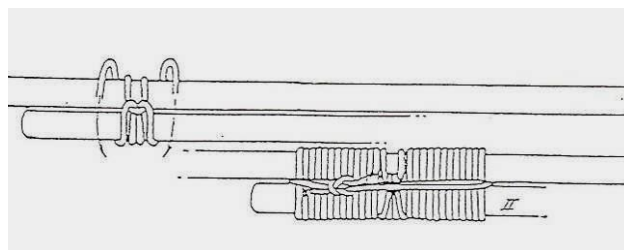
Ce nœud peut être à deux ou trois boucles, et il peut se combiner avec un nœud simple.



### Brelage en long

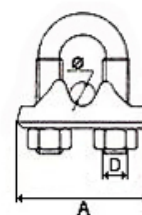
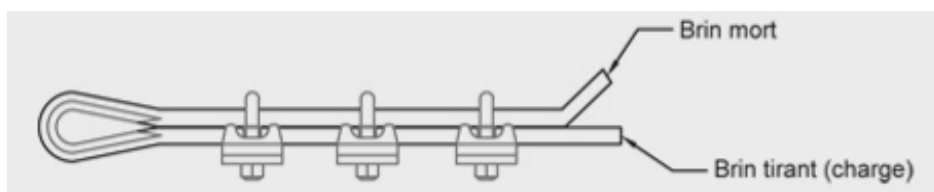
Le brelage en long réunit deux cordages rigides longitudinalement sans pour autant avoir la rigidité du serre-câble.

Il peut être réalisé avec du fil de fer ou de la corde.



## Règles à respecter concernant les cordages

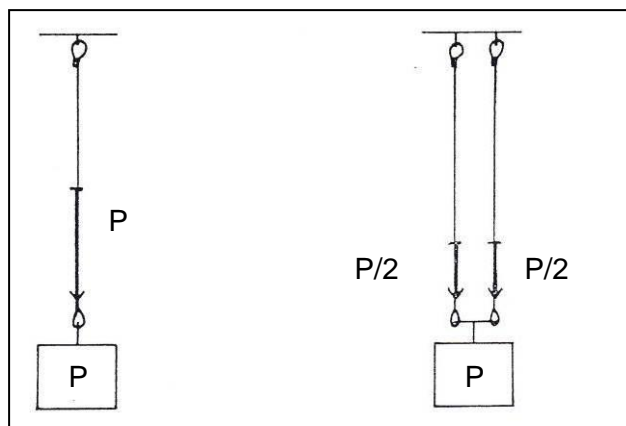
- ➔ Il faut bien considérer que tout nœud introduit dans le câble des contraintes supplémentaires à celles existant en traction. Le nœud droit, le nœud d'élingueur et le nœud d'ancre sont les plus critiques à ce sujet. Pour ces nœuds, il faut ramener la charge admissible en brin simple à 60% de sa valeur nominale.
- ➔ La « ficelle » du monteur ne peut être considérée comme un élément de résistance, mais plutôt comme un élément de sécurité empêchant le nœud du câble en acier de se défaire.
- ➔ La ficelle est généralement constituée de chanvre ; elle est vulnérable et putrescible. Son usage ne peut être que momentané.
- ➔ Utilisation des serre-câbles pour réaliser une ganse :
  - le nombre minimum est de 3 ;



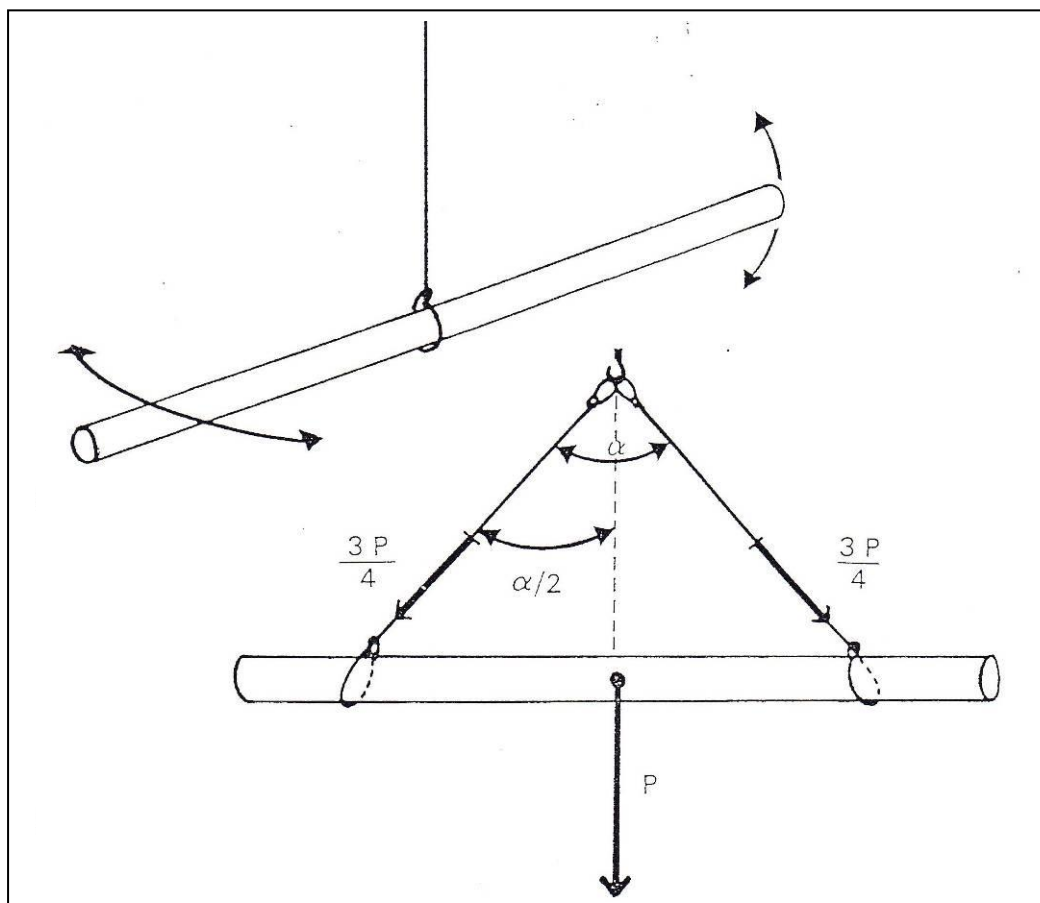
- la distance conseillée entre 2 serre-câbles est de 5 fois minimum le diamètre du câble ;
  - les 2 câbles doivent être dans l'alignement l'un de l'autre ;
  - le serrage doit être suffisant mais il faut éviter l'indentation interne des brins.
- ➔ Charge admissible des câbles acier en fonction de la température :
    - Au-delà de 100°C : charge admissible = 0,75 x charge normale.
    - Entre 0 et 100°C : charge admissible = charge normale.
    - Entre 0 et - 14°C : charge admissible = 0,75 x charge normale.
    - Sous les - 14°C : charge admissible = 0,5 x charge normale.
  - ➔ Les diamètres de gorge de poulie doivent avoir de 6 à 10% de plus en diamètre par rapport au diamètre du câble. Le contact entre gorge et câble doit être égal à un tiers du diamètre du câble.

## Influence de l'angle d'ouverture en élingage

Un élingage peut s'effectuer selon la charge à déplacer avec une ou plusieurs élingues, ou encore avec une élingue comportant plusieurs brins.



Mais l'élingage à un brin, simple ou double, risque de placer dans une position d'équilibre précaire les charges qui ne sont pas accrochées par une extrémité, par exemple les charges longues.



## Techniques spéciales : levage et manutention

Pour équilibrer la charge, il est nécessaire d'écarter les points d'accrochage et de ce fait on crée un angle entre les 2 brins qui supportent alors un effort supérieur à  $P/2$  par brin.

On détermine la résistance utile que chaque brin doit offrir en appliquant la formule (pour élingage à 2 brins) :  $F = \frac{P \times K}{2}$

F = Résistance utile que chaque brin doit offrir.

P = Poids de la charge.

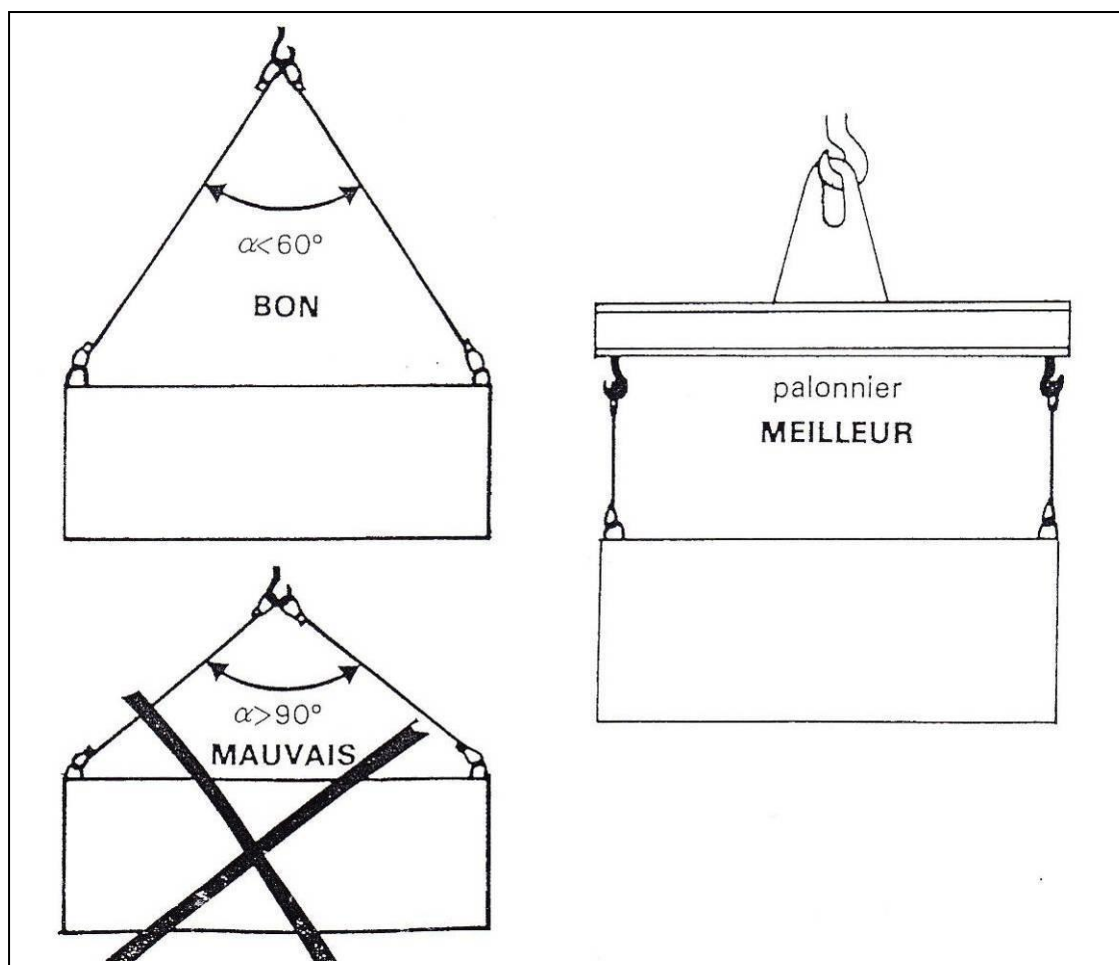
K = Coefficient proportionnel à l'angle d'écartement des brins :

$$K = \frac{1}{\cos \frac{\alpha}{2}}$$

(  $\alpha$  étant l'angle formé par les 2 brins )

Angle formé par les brins	45°	60°	90°	100°	110°	120°	140°	160°
Coefficient K	1,08	1,15	1,42	1,55	1,74	2	2,93	5,75

Il faut toujours s'efforcer de limiter à 90° l'angle des brins, en tous cas 120° est un maximum. Pour réduire l'angle d'élingage, il faut soit prendre des élingues plus longues, soit utiliser un palonnier.



Dans les **élingages à quatre brins**, un ou deux brins ne servent souvent qu'à l'équilibrage et ne supportent que peu ou pas de charge. Il faut donc considérer le plus grand des angles séparant deux brins opposés et faire le calcul comme s'il n'y avait en réalité que deux brins porteurs.

Pour les **élingages à trois brins**, il est préférable de considérer le plus grand des angles séparant deux brins consécutifs et calculer comme s'il n'y avait que deux brins portant la charge ; se réserver en supplément une marge de sécurité d'au moins 10%.

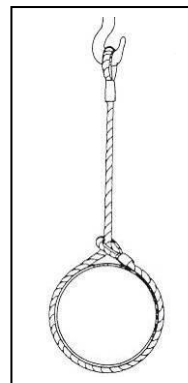
### Différents modes d'élingage

#### Elingue simple travaillant sur un brin

Ce mode d'élingage est déconseillé pour le levage à grande hauteur ou pour les charges longues (dans ce cas, il faut un palonnier) ; en effet, la charge risque d'être déséquilibrée ou de tourner autour de l'axe vertical. L'angle formé par le câble et son extrémité ne doit jamais dépasser 120°.

Attention aux charges présentant des angles vifs qui devront être protégés (charges à section carrée).

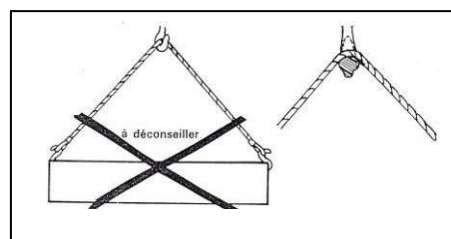
Ne pas suspendre une charge susceptible de tourner à une élingue simple épissée : risque d'ouverture de l'épissure par détorsion du cordage ou du câble.



#### Elingue simple travaillant en élingue à deux brins

Déconseillé : en cours de transport, l'élingue peut glisser sur le crochet et la charge se déséquilibrer.

Utiliser une élingue à deux brins ou une élingue à un brin avec un dispositif autobloquant. Attention : limiter l'angle des brins.

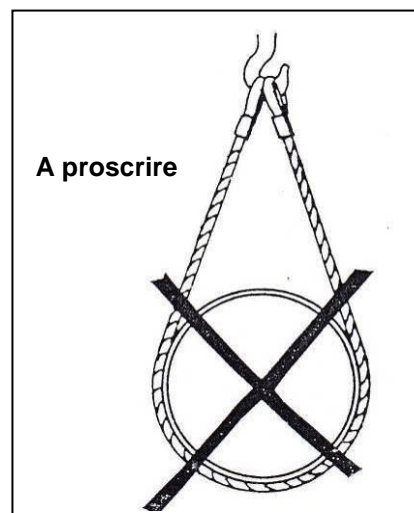


#### Elingue simple travaillant sur deux brins en panier

Elingue simple travaillant à deux brins « en panier »

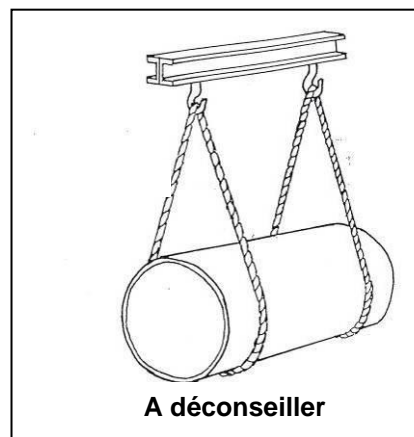
C'est à proscrire : la charge risque d'être déséquilibrée et de glisser.

Faire un « étranglement » ou un tour complet ou mieux utiliser deux élingues avec un palonnier si la charge est longue.

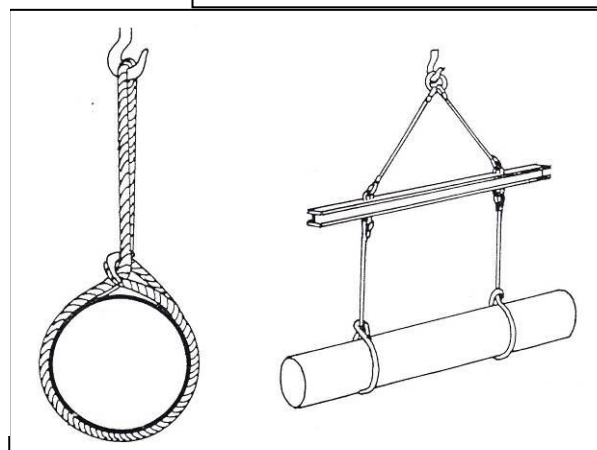


## Elingue sans fin travaillant en panier

A déconseiller : la charge glissera.

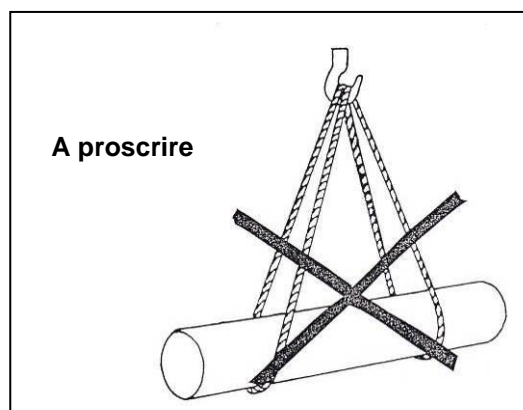


Plutôt utiliser en nœud coulant, ou mieux utiliser deux élingues simples travaillant en nœud coulant et suspendues à un palonnier.



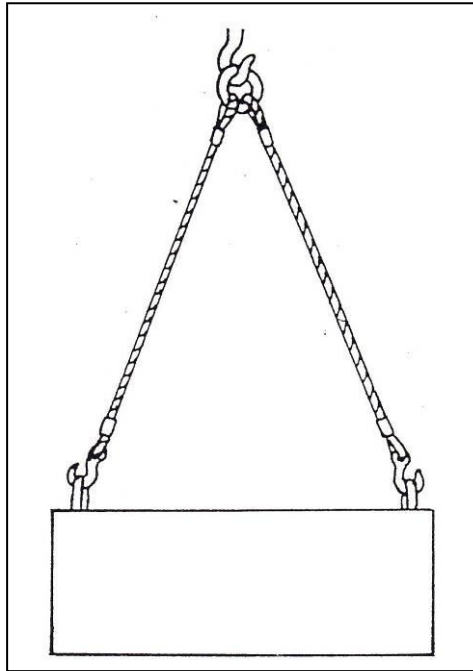
## Elingue sans fin travaillant en élingage à quatre brins

A proscrire en général : la charge n'est pas maintenue ; si elle est un peu longue l'équilibrage est difficile et incertain, de plus si la surface de l'objet est lisse les brins peuvent glisser et se rapprocher jusqu'à rompre l'équilibre. Faire un tour complet, ou mieux utiliser un palonnier et deux élingues.



## Elingue à plusieurs brins

Choisir des brins suffisamment longs pour limiter l'angle. Attention, positionner les crochets « becs vers le ciel ou à l'extérieur » ; ils résisteront mieux à la traction.



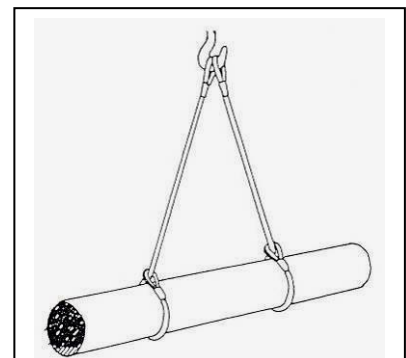
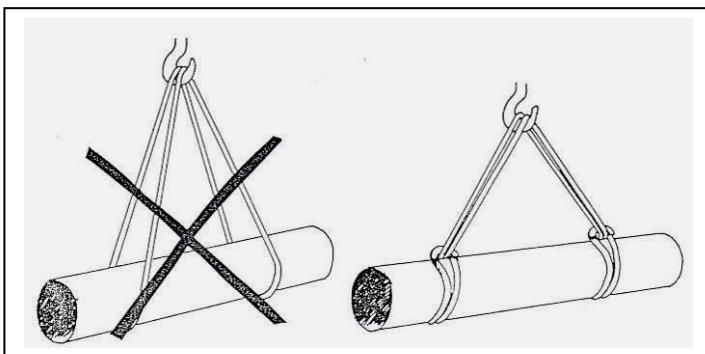
### Rappel important

L'élingage à quatre brins doit être considéré comme un élingage à deux brins : en effet, le plus souvent deux brins opposés supportent la plus grande partie de la charge. Pour l'évaluation des charges, considérer l'angle formé par les deux brins opposés les plus écartés.

## Elingages particuliers

### Charge de longueur moyenne – section ronde ou carrée

- ✓ Proscrire l'élingage à une seule élingue simple ou sans fin qui peut glisser sur le crochet.
- ✓ Utiliser deux élingues simples ou sans fin, travaillant en nœud coulant. Protéger l'élingue sur les angles avec un garnissage ; utiliser une cosse de protection ou un crochet coulissant à l'endroit du nœud coulant.



### Charge longue formée de quelques gros éléments

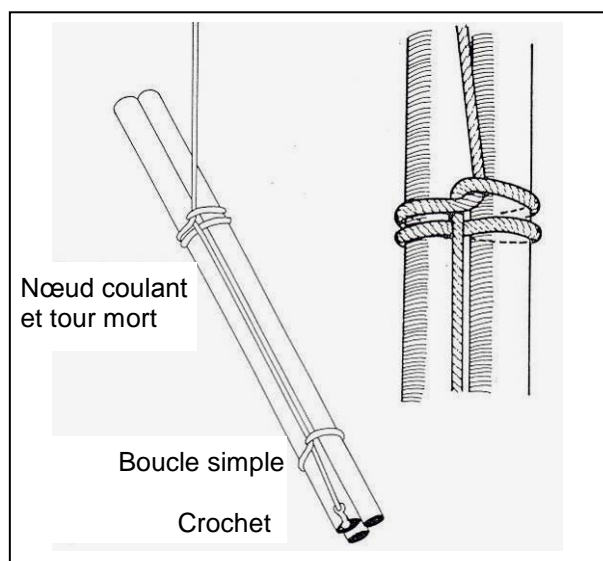
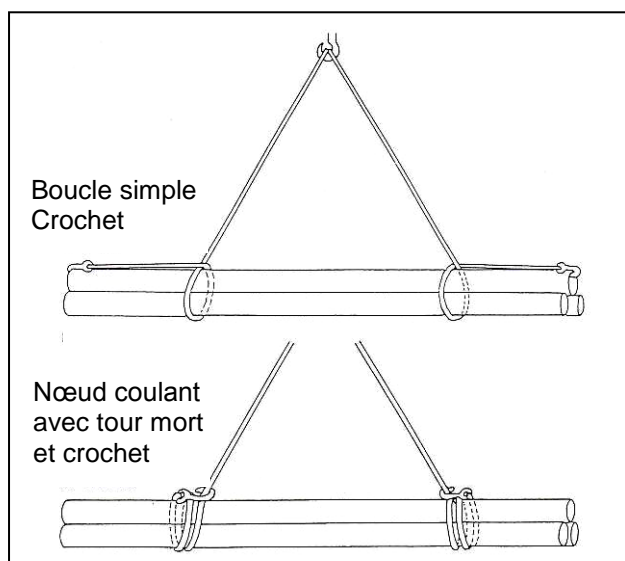
Utiliser deux élingues simples à œil et crochet, de longueurs suffisantes.

Lors du transport horizontal d'une telle charge, son basculement à la suite du glissement d'une boucle est le risque principal. Plusieurs méthodes permettent de le pallier :

- ✓ élingage à deux boucles simples avec fixation des crochets à l'extrémité du même tube ;
- ✓ élingage à nœud coulant avec tour mort (double boucle) ;
- ✓ utilisation d'un palonnier convenable.

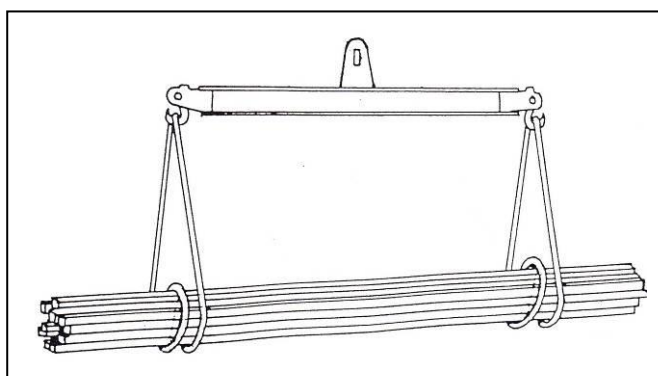


Une charge longue de cette composition peut être transportée verticalement à l'aide d'une élingue de grande longueur, dans la mesure où les tubes ne peuvent glisser vers le bas.



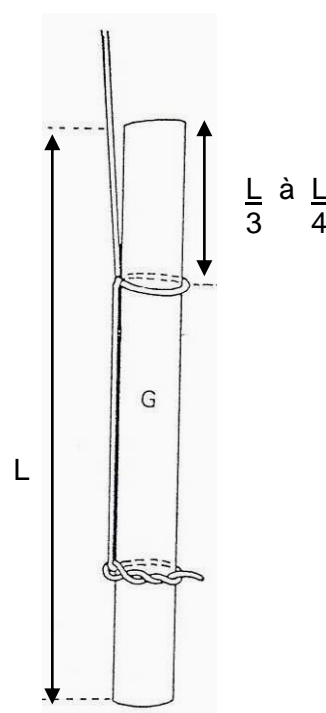
### Charge longue formée de nombreux éléments de petites sections.

- Si ces éléments peuvent glisser les uns sur les autres, les transporter avec un palonnier de longueur suffisante, en faisant autour de la charge un tour mort avec deux élingues simples ou estropes.
- Si la charge est trop flexible ajouter une ou deux élingues intermédiaires.



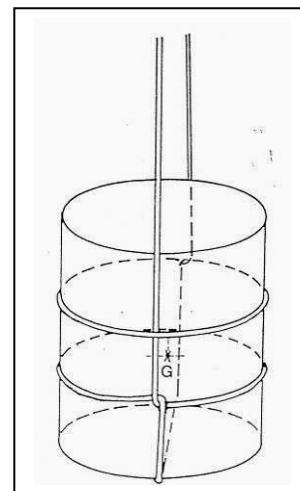
### Charge très longue unique

Transporter verticalement en élinguant comme montré ci-contre (si la charge n'est pas trop glissante, sinon utiliser des colliers, pinces ou mâchoires spéciales).



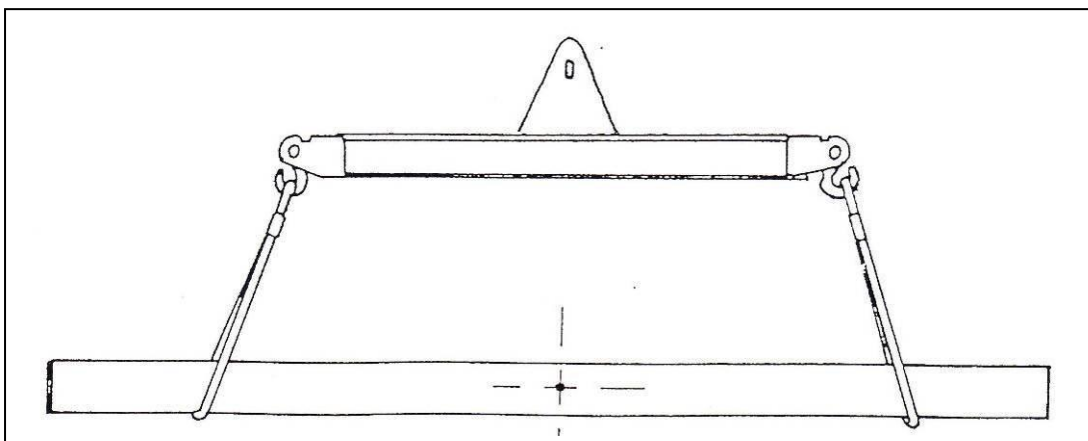
## ***Tonneau ou réservoir à lever verticalement***

Utiliser le nœud de tonneau, ceinturer largement au-dessus du centre de gravité



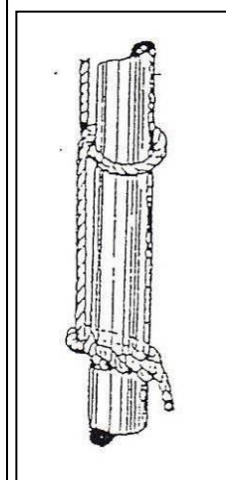
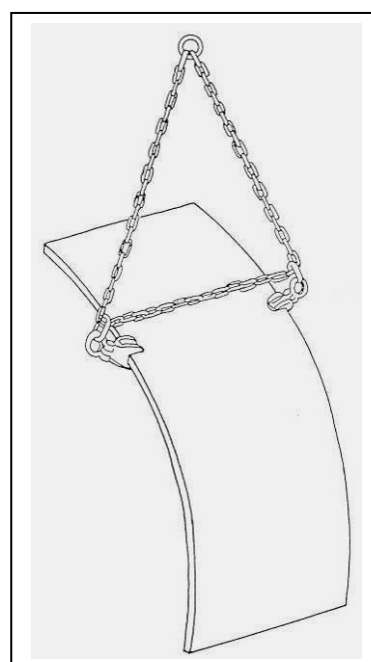
## ***Charge longue susceptible d'osciller par rapport à son palonnier***

Elinguer en trapèze avec un biais de 15 à 20° sur chaque brin ce qui réduit les risques d'oscillation.



## ***Tôles longues***

- Les transporter verticalement une à une avec une paire de pinces auto-serrantes avec un anneau articulé toutes directions.
- Ou les transporter horizontalement par petits paquets avec deux paires de pinces auto-serrantes convenablement écartées.
- Ou utiliser l'amarrage long pour hisser des pièces allongées ou tôles enroulées à la verticale.



## Recommandations concernant la manœuvre de la charge

### Avant la manœuvre

- ✓ Reconnaître le parcours qui sera effectué par la charge et préparer le lieu de dépose.
- ✓ S'assurer que le crochet de l'appareil de levage est bien au-dessus du centre de gravité de la charge.
- ✓ Avant de soulever la charge, mettre l'élingage en tension. Si la position du centre de gravité a été mal estimée, l'élingage se met en oblique ; on modifie alors la position.
- ✓ Avant de soulever une pièce composée de plusieurs parties, s'assurer que tous les éléments sont solidairement fixés entr'eux.
- ✓ S'assurer que personne ne se trouve en danger du fait de la manœuvre.

### Au début de la manœuvre

- Faire tendre doucement les élingues dès que la charge est accrochée, de manière à la décoller du sol.
- Ne jamais tenir les élingues à la main pendant leur mise en tension : la main peut être écrasée entre la charge et l'élingue, ou les doigts cisailés par un maillon de chaîne ou une partie du crochet.
- S'assurer que les élingues ne glissent pas et que leurs brins sont également tendus.
- Si la charge présente une résistance anormale au levage, ne pas insister mais rechercher la raison de cette résistance et y remédier en la dégagant si elle est accrochée à un obstacle.
- Si la charge est mal élinguée, ou mal équilibrée, la reposer et rectifier ou refaire l'amarrage.
- Le mouvement de levage doit être exécuté seul : il faut éviter de lever en biais.
- En principe, **il est interdit de tirer en oblique** ; si cette manœuvre délicate est absolument nécessaire, elle doit être exécutée sous la conduite d'un responsable qualifié. Il faut alors :
  - éviter tout balancement de la charge au décollage, pour qu'elle ne puisse heurter un obstacle ou une personne se placer sous le pont (au besoin la retenir avec des câbles ou des cordages appropriés ;
  - veiller à ce que les câbles de levage ne puissent toucher les trolley d'alimentation électrique de l'appareil.

### Pendant le déplacement

- ✓ Déplacer la charge près du sol, à allure modérée, à une hauteur suffisante pour franchir les petits obstacles ; la faire relever suffisamment avant de franchir les obstacles plus importants.
- ✓ Aucun travailleur ne doit demeurer sous la charge et ne jamais la faire passer au-dessus du personnel.
- ✓ Dans le cas de conduite au sol, veiller à conserver une bonne visibilité à l'avant de la charge ; se placer en conséquence. Ne jamais se déplacer à reculons.
- ✓ Si, pour une raison quelconque, un arrêt devait se produire, ne pas laisser la charge suspendue, notamment au-dessus d'un passage. La déposer au sol.

### A la dépose

- ✓ Ne commencer la descente de la charge que lorsqu'elle est immobilisée au-dessus de l'endroit choisi (éviter couvercles de trappes, caniveaux, etc.)
- ✓ Ne jamais la faire balancer, ou la tirer en biais pour la faire déposer plus loin que la zone d'action de l'appareil de levage.
- ✓ Ne pas déposer la charge dans une allée de circulation, ni à moins de 0,80 m du gabarit d'une voie ferrée.
- ✓ Déposer la charge sur des cales afin de faciliter le retrait d'élingues et sa reprise éventuelle.
- ✓ Avant de libérer les élingues, toujours s'assurer du bon équilibrage de la charge sur ses cales.
- ✓ Ne jamais tirer sur les élingues avec l'appareil de levage pour les retirer de sous la charge, mais tirer à la main.

### Déplacements à vide

Relever le crochet du pont à une hauteur suffisante pour que ce crochet ou les élingues (qui doivent être repliées sur le crochet) ne puissent heurter une personne ou un obstacle.

### Après les manœuvres

Remettre les élingues sur leur ratelier ou, si elles doivent rester suspendues, les rassembler sur plusieurs brins.

### Maintenance

La majorité des mécaniciens sont appelés à faire des manutentions avec un pont roulant, un monorail ou un chariot automoteur.

Or c'est souvent par ces manutentions qu'arrivent les accidents.

Il paraît donc nécessaire de leur donner une formation spécifique en ce domaine, soit en s'appuyant sur les recommandations précédentes, soit en faisant appel à une société spécialisée.

# Codification, symboles et normes

	Page
<b>Codification en boulonnerie.....</b>	<b>480</b>
<b>Codification des métaux ferreux.....</b>	<b>481</b>
<b>Codification des métaux non ferreux.....</b>	<b>486</b>
<b>Symboles en robinetterie.....</b>	<b>488</b>
<b>Symboles en hydraulique.....</b>	<b>492</b>
<b>Symboles en pneumatique.....</b>	<b>495</b>
<b>Codification des roulements.....</b>	<b>497</b>
<b>Normalisation des cotes et états de surface.....</b>	<b>505</b>
<b>Normes de maintenance.....</b>	<b>516</b>

# Codification en boulonnerie

## 1. Filetage métrique ISO à filetage triangulaire

Ce filetage est le plus utilisé en visserie-boulonnerie.  
Son profil est défini à partir d'un triangle équilatéral.  
La lettre **M** symbolise le filetage ISO

## 2. Filet gaz ou filetage pas du gaz

- Filetages étanches : vis à profil conique et écrou à profil cylindrique ; l'étanchéité est assurée par le serrage métal sur métal et, au besoin, par interposition d'une pâte à joint insensible à la nature du gaz. La lettre **R** est le symbole.
- Filetages non étanches : vis et écrou ont un profil cylindrique.  
La lettre **G** est le symbole.

## 3. Filet trapézoïdal

Il permet de réaliser des vis de manœuvre ou de transmission d'efforts et accepte mieux les traitements thermiques que le filet triangulaire. Symbole **Tr**

## 4. Profil rond

C'est le plus résistant aux chocs. Il peut supporter des efforts importants et sa forme arrondie limite le phénomène de concentrations de contraintes. Symbole **Rd**

### **Filetage à droite – filetage à gauche**

Le serrage d'une vis à droite est réalisé en tournant la tête dans le sens des aiguilles d'une montre et inversement pour une vis à gauche.

A l'intention de l'utilisateur on indique les pièces filetées à gauche par :

- une ou deux saignées légères ;
- un triangle ou une flèche orientés dans le sens du vissage.

Le repérage doit rester visible lorsque la pièce est dans son logement.

### **Cas des vis**

La classe est symbolisée par deux nombres.

Le premier est le centième de la résistance minimale à la rupture par traction ( $R_r$ ) du matériau en N/mm<sup>2</sup>.

Le second représente 10 fois le rapport entre la limite élastique ( $R_c$ ) minimale et la résistance à la rupture  $R_r$ .

Exemple : vis de classe 8-8

$R_r \text{ (mini)} = 100 \times 8 = 800 \text{ N/mm}^2 \text{ (80 Kg/mm}^2\text{)}$

$R_c \text{ (mini)} = R_r \times Y/10 = 800 \times 8/10 = 640 \text{ N/mm}^2 \text{ (64 Kg/mm}^2\text{)}$

Remarque

Le produit des deux nombres est égal à  $R_c$  en daN/mm<sup>2</sup>.

### **Cas des écrous**

La classe est symbolisée par un nombre indiquant le centième de la contrainte d'épreuve en N/mm<sup>2</sup>, c'est-à-dire de la limite obtenue par essai, réalisée par exemple avec une vis de classe supérieure.

### **Cas des boulons**

Leur symbolisation est identique à celle des vis.

# Codification des métaux ferreux

## Fontes

### Fontes à graphite lamellaire

#### **Codification numérique**

Après le préfixe **EN**, ces fontes sont codifiées par le symbole **JL** suivi d'un code numérique.

Exemple : EN-JL 1040

#### **Codification symbolique**

Après le préfixe **EN**, elles sont codifiées par le symbole **GJL** suivi de la valeur en mégapascals (1 Mpa = 1N/mm<sup>2</sup>) de la résistance minimale à la rupture par extension.

Exemple : EN-GJL 300

### Fontes à graphite sphéroïdal

#### **Codification numérique**

Après le préfixe **EN**, ces fontes sont codifiées par le symbole **JM** suivi d'un code numérique.

Exemple : EN-JM 1040

#### **Codification symbolique**

Après le préfixe **EN**, elles sont codifiées par le symbole **GJMW** ou **GJMB** suivi de la valeur en mégapascals (1 Mpa = 1N/mm<sup>2</sup>) de la résistance minimale à la rupture par extension et du pourcentage d'allongement après rupture.

Exemple : EN-GJMW 350-10

### Fontes malléables

#### **Codification numérique**

Après le préfixe **EN**, ces fontes sont codifiées par le symbole **JS** suivi d'un code numérique.

Exemple : EN-JS 1040

#### **Codification symbolique**

Après le préfixe **EN**, elles sont codifiées par le symbole **GJS** suivi de la valeur en mégapascals (1 Mpa = 1N/mm<sup>2</sup>) de la résistance minimale à la rupture par extension.

Exemple : EN-GJS 400-18

## Aciers – Codification par emploi

### Cas les plus usuels

#### **Aciers d'usage général**

Le code commence par la lettre **S**, et le nombre qui suit indique la valeur minimale de la limite d'élasticité en mégapascals.

Exemple : S 185

#### **Aciers de construction mécanique**

Le code commence par la lettre **E**, et le nombre qui suit indique la valeur minimale de la limite d'élasticité en mégapascals.

Exemple : E 335

#### **Aciers moulés**

Le code commence par la lettre **G**, et le nombre qui suit indique la valeur minimale de la limite d'élasticité en mégapascals.

Exemple : GE 275

## Détails

Une première lettre indique leur usage (les plus courants sont S et E) :

- ✓ B : fers à béton ;
- ✓ D : produits plats pour formage à froid (autres que H) ;
- ✓ E : pour construction mécanique ;
- ✓ H : produits plats pour formage (tôles laminées à plier, à emboutir) ;
- ✓ M : aciers magnétiques ;
- ✓ P : pour appareil de pression ;
- ✓ R : sous forme de rails ;
- ✓ S : pour construction (structure) ;
- ✓ T : aciers pour emballage (fer blanc, fer noir, fer chromé) ;
- ✓ Y : pour béton précontraint.

Puis suit la limite élastique en méga pascals ( $1 \text{ MPa} = 1 \text{ N/mm}^2 = 0,1 \text{ daN/mm}^2$ <sup>[3]</sup>). Par exemple, le S235 est un acier non-allié pour construction de limite élastique 235 Mpa

D'autres symboles peuvent compléter la désignation selon les particularités :

- ✓ J, K, L + lettre ou chiffre : énergie de rupture (résilience) garantie
- ✓ J : énergie de rupture de  $27 \text{ J/cm}^2$  garantie :
- ✓ JR : énergie de rupture de  $27 \text{ J/cm}^2$  garantie à  $20^\circ\text{C}$  (*room temperature*),
- ✓ JO : énergie de rupture de  $27 \text{ J/cm}^2$  garantie à  $0^\circ\text{C}$ ,
- ✓ J2 : énergie de rupture de  $27 \text{ J/cm}^2$  garantie à  $-20^\circ\text{C}$ ,
- ✓ ... J6 : énergie de rupture de  $27 \text{ J/cm}^2$  garantie à  $-60^\circ\text{C}$  ;
- ✓ K : énergie de rupture de  $40 \text{ J/cm}^2$  garantie (KR, KO, K2, ..., K6) ;
- ✓ L : énergie de rupture de  $60 \text{ J/cm}^2$  garantie (LR, LO, L2, ..., L6) ;
- ✓

Premier groupe de symboles additionnels :

G : autres caractéristiques

- ✓ G1 : non calmé,
- ✓ G2 : calmé,
- ✓ G3 : recuit de normalisation,
- ✓ G4 : état de livraison libre,
- ✓ GH : avec caractéristiques mécaniques spécifiées à température élevée (*heat*),
- ✓ M : formage thermomécanique,
- ✓ N : laminé ou laminage normalisant,
- ✓ Q : trempé et revenu ;

Deuxième groupe de symboles additionnels :

- ✓ C : formage à froid spécial,
- ✓ D : galvanisé,
- ✓ F : forgeage,
- ✓ L : pour application à basse température (*low temperature*),
- ✓ M : formage thermomécanique,
- ✓ N : laminé ou laminage normalisant,
- ✓ O : pour applications en haute mer (*offshore*),
- ✓ Q : trempé et revenu,
- ✓ S : pour construction navale,
- ✓ T : sous forme de tube ;
- ✓ W : résistant à la corrosion atmosphérique (*weather*).

Peuvent suivre des symboles précédés d'un signe + (plus) :

symboles indiquant des exigences spéciales :

- ✓ C : gros grains (*coarse grains*),
- ✓ F : grains fins (*fine grains*),
- ✓ H : trempabilité,
- ✓ Z15, Z25, Z35 : propriétés garanties dans le sens de l'épaisseur, striction minimale de 15, 25 ou 35 % ;



Symboles indiquant un revêtement :

- ✓ A : aluminium, par immersion à chaud,
- ✓ CU : cuivre,
- ✓ JC : revêtement inorganique,
- ✓ OC : revêtement organique (*organic coating*),
- ✓ Z : galvanisation (zinc),
- ✓ ZE : revêtement électrolytique de zinc,
- ✓ SN : revêtement de nickel et de zinc ;

Symboles indiquant une condition de traitement (aciers du groupe S uniquement) :

- ✓ A : recuit d'adoucissement (*annealing*),
- ✓ C : écroui à froid (*cold hardening*),
- ✓ CR : laminé à chaud (*rolling*), écroui à froid,
- ✓ S : traitement pour cisailage à froid (*shear*).

Par exemple, le S235 JR a une énergie de rupture garantie de 27 J/cm<sup>2</sup> à 20 °C tandis que le S235 JO a une énergie de rupture garantie de 27 J/cm<sup>2</sup> à 0 °C.

La désignation commence par un G s'il s'agit d'une pièce moulée. Par exemple, le GS235 JR est un acier S235 JR moulé.

### Désignation numérique

aciers de base : la désignation est du type 1.00xx ou 1.90xx ;

aciers de qualité : 1.01xx à 1.07xx et 1.91xx à 1.97xx ;

aciers spéciaux : 1.10xx à 1.13xx,

aciers à outil : 1.15xx à 1.18xx.

## Aciers – Codification par composition chimique

### Aciers non alliés

La teneur en manganèse doit être inférieure à 1 %.

Le code se compose de la lettre **C** suivie du pourcentage de la teneur moyenne en carbone multipliée par 100.

Exemple : C 30 ; soit 0,30 % de carbone.

S'il s'agit d'un acier moulé, le code est précédé de la lettre G.

Exemple : GC 30.

### Aciers faiblement alliés

La teneur en manganèse est supérieure à 1 % ; la teneur de chaque élément d'alliage est inférieure à 5 %.

Le code comprend dans l'ordre :

- ✓ un nombre entier égal à 100 fois la teneur en carbone ;
- ✓ les symboles chimiques des éléments de l'alliage rangés dans l'ordre des teneurs décroissantes ;
- ✓ une suite de nombres rangés dans le même ordre que les éléments d'alliage, et indiquant le pourcentage moyen de la teneur de chaque élément ; ces pourcentages sont multipliés par un coefficient multiplicateur variable suivant l'élément d'alliage.

Symboles chimiques internationaux								
Elément	Symbole	Coef	Elément	Symbole	Coef	Elément	Symbole	Coef
Aluminium	Al	10	Cobalt	Co	4	Nickel	Ni	4
Antimoine	Sb		Cuivre	Cu	10	Niobium	Nb	10
Argent	Ag		Etain	Sn		Plomb	Pb	10
Béryllium	Be	10	Fer	Fe		Silicium	Si	4
Bismuth	Bi		Gallium	Ga		Strontium	Sr	4
Bore	B	1000	Lithium	Li		Titane	Ti	10
Cadmium	Cd		Magnésium	Mg		Vanadium	V	10
Cérium	Ce	100	Manganèse	Mn	4	Zinc	Zn	
Chrome	Cr	4	Molybdène	Mo	10	Zirconium	Zr	10
Soufre	S	100	Tungstène	W	4	Titane	Ti	10

Par exemple, le 36NiCrMo16 (anciennement 35NCD16) contient

- $36/100 = 0,36$  %m de carbone,
- $16/4 = 4$  %m de nickel,
- ainsi que du chrome et du molybdène.

### Aciers fortement alliés

Teneur d'au moins un élément d'alliage > 5 %

La désignation commence par la lettre **X** suivie de la même désignation que celle des aciers faiblement alliés, à l'exception des valeurs des teneurs qui sont des pourcentages nominaux réels.

### Aciers rapides

La désignation comprend successivement les symboles suivants :

- ✓ Les lettres **HS**
- ✓ Les nombres indiquant les valeurs des éléments d'alliage dans l'ordre suivant :
  - tungstène (W)
  - molybdène (Mo)
  - vanadium (V)
  - cobalt (Co)
- ✓ Chaque nombre représente la teneur moyenne.

Exemple : HS 8,5-3,5-3,5-11

8,5 % de tungstène, 3,5 % de molybdène, 3,5 % de vanadium , 11 % de cobalt.

### Aciers inoxydables

Pour les aciers inoxydables, on utilise souvent la norme AISI : la nuance est désignée par un nombre de trois chiffres (p. ex. 316) ; on ajoute parfois une lettre :

L : acier bas carbone (*low carbon*),

N : addition d'azote,

F : addition de soufre (meilleure usinabilité),

Se : addition de sélénium (meilleure usinabilité).

**Aciers – Classification par emploi**

Acier doux	Acier dur	55Cr3	36NiCrMo16	Cémentation	Inoxydable
S185	C60	51CrV4	Formage à froid	C22	X4CrMoS18
S235	37Cr4	Trempe	S185	16MnCr5	X30Cr13
C22	34CrMo4	C35E	S235	20MnCr5	X2CrNi19-11
Acier mi-dur	42CrMo4	C40E	S275	15CrNi6	X5CrNi18-10
C30	36NiCrMo16	C45E	S355	17CrNiMo6	X6CrNiMoTi17-12
C35	51CrV4	C55E	Décolletage	Nitruration	X6CrNiTi18-10
C40	Acier extra-dur	C60E	S250Pb	31CrMo12	X6CrNiMoTi17-12
C45	100Cr6	Trempe superficielle	S250Si	41CrAlMo7	Fortes sollicitations
C50	Acier à ressort	C40	S300Pb	Chocs	36NiCrMo16
	51Si7	41Cr4	S300Si	51CrV4	20MnCr5
	60SiCr7	42CrMo4	X2CrMoTiS18-2		

**Maintenance**

Les codifications que nous rapportons sont les désignations alphanumériques européennes les plus usitées. Mais il existe d'autres désignations que l'on peut retrouver sur d'anciens plans : Appellation ISO – Ancienne appellation française – Ancienne appellation allemande (DIN) – Ancienne appellation britannique (BS) – Ancienne appellation italienne (UNI).- SAE – UNS – JIS – ASTM – AWS , etc..

Dans ce domaine il est plutôt conseillé de se référer aux documentations des fournisseurs de métaux qui, en principe, ont toutes les connaissances en ce domaine.

## Codification des métaux non ferreux

### Aluminium et alliages d'aluminium moulés

La désignation utilise un code numérique (norme EN 1780-1). Il peut être suivi éventuellement par une désignation utilisant les symboles chimiques des éléments et des nombres indiquant la pureté de l'aluminium ou la teneur nominale des éléments considérés.

Le code numérique comporte 5 chiffres.

Le premier chiffre indique le principal élément d'addition de l'alliage :

- ✓ série des 20000 : cuivre (exemple 21000)
- ✓ série des 40000 : silicium (exemple : 43300)
- ✓ série des 50000 : magnésium (exemple : 51200)
- ✓ série des 70000 : zinc (exemple : 71000)

Le deuxième chiffre indique le groupe d'alliage. Chaque groupe présente un ensemble de caractéristiques mécaniques et/ou physiques similaires.

Les trois chiffres suivants indiquent une variante

Exemples de désignations usuelles :

**EN AB-43000** ou **EN AB-43000 5Al Si 10 Mg**). Alliage d'aluminium moulé – Silicium 10% - Magnésium.

Exemple de désignation exceptionnelle : **EN AB-Al Si 10 Mg**

### Aluminium et alliages d'aluminium corroyés

La désignation utilise un code numérique. Il peut éventuellement être suivi par une désignation utilisant les symboles chimiques des éléments et de nombres indiquant la pureté de l'aluminium ou la teneur nominale des éléments considérés.

Le code numérique comporte 4 chiffres.

Le premier chiffre indique l'élément d'addition principal de l'alliage :

- ✓ 1XXX (série des 1000) : alliage comportant au minimum 99 % d'aluminium (exemple : 1050)
- ✓ 2XXX (série des 2000) : cuivre (exemple 2024)
- ✓ 3XXX (série des 3000) : Manganèse (exemple : 3003)
- ✓ 4XXX (série des 4000) : silicium (exemple : 4006)
- ✓ 5XXX (série des 5000) : magnésium (exemple : 5083)
- ✓ 6XXX (série des 6000) : magnésium, silicium (exemple : 061)
- ✓ 7XXX (série des 7000) : zinc (exemple : 7020)
- ✓ 8XXX (série des 8000) : autres éléments.

Le deuxième chiffre indique une variante (exemple : 7075 comporte 0,50 % de [fer](#) et le 7175 plus pur comporte 0,20 % de fer).

Les troisième et quatrième chiffres sont des numéros d'ordre et servent à identifier l'alliage. La seule exception est la série 1000, ces deux derniers chiffres y indiquant le pourcentage d'aluminium (exemple : 1050 qui comporte au minimum 99,50 % d'aluminium).

Exemples de désignations usuelles :

**EN AW-2017** ou **EN AW-2017 (Al Cu 4 Mg Si)**. Alliage d'aluminium – Cuivre 4% - Magnésium – Silicium.

Exemple de désignation exceptionnelle : **EN AW-Al Cu 4 Mg Si**

## Alliages de zinc moulés

D'une manière générale, les alliages de zinc normalisés en fonderie sont des alliages zinc-aluminium avec des teneurs variables en aluminium (de 4 à 30 %), de faibles additions de magnésium (de 0,012 à 0,06 %) et de cuivre (de 0 à 3 %).

- Les alliages **ZL3**, **ZL5** et **ZL2** (zamak) sont essentiellement utilisés en moulage sous pression (pour les pignons et les fermetures éclair par exemple), ils représentent environ 95 % du marché.
- Les alliages **Kayem** utilisés pour la fabrication économique d'outillages de presse (outils de découpe et d'emboutissage, moules d'injection, de thermoformage des matières plastiques).
- Les alliages ZL8, ZL12 et ZL27 avec:
  - Le **ZL8** qui apporte une bonne tenue en température, présente un ensemble de propriétés mécaniques d'un très bon niveau et qui est moulable sur les machines à chambre chaude,
  - Le **ZL12** (**ILZRO 12**) principalement utilisé dans la réalisation de prototypes ou de pré-séries de pièces qui seront ensuite réalisées en Zamak par moulage sous pression,
  - Le **ZL27** qui se caractérise par une charge de rupture élevée (de 400 à 450 MPa). C'est le seul alliage susceptible de recevoir un traitement thermique d'homogénéisation qui améliore sa ductilité.

## Magnésium et alliages de magnésium

La désignation utilise un code numérique ou les symboles chimiques des éléments avec des nombres indiquant la teneur nominale des éléments considérés.

Les alliages de magnésium sont intéressants pour leur légèreté et par leur capacité à absorber les bruits et vibrations.

Exemples : **EN-MC 21 120 5Mg Al 9 Zn 1** ; **EN-MC 65 110 (Mg ZN 4 RE 1 ZR)** ; **EN-MC 21 110 (Mg Al 8 Zn 1)**

## Titane et alliages de titane

La désignation utilise les symboles chimiques des éléments suivis de nombres indiquant la pureté du titane ou la teneur nominale des éléments considérés.

Exemples : **Ti 6 Al 4 V** (très utilisé) ; **Ti-P 99 002** ; **Ti-P 99 003**

## Cuivre et alliages de cuivre

La désignation utilise un code numérique ou les symboles chimiques. Dans ce dernier cas, on associe au symbole chimique de base (**Cu**) les symboles des éléments d'addition suivis des nombres indiquant les teneurs nominales de ces éléments.

Exemples de désignations usuelles : **CW 612 N** ou **Cu Zn 39 Pb 2**. Alliage de cuivre corroyé – Zinc 39 % - Plomb 2 %. ( **W** : matériaux corroyés ; **C** ou **B** : matériaux moulés ; **R** : cuivres bruts affinés )

Exemple de désignation globale : **CW 612 N 5Cu Zn 39 Pb 2**)







### Maintenance

Les codifications que nous rapportons sont les désignations alphanumériques européennes les plus usitées. Mais il existe d'autres désignations que l'on peut retrouver sur d'anciens plans : Appellation ISO – Ancienne appellation française – Ancienne appellation allemande (DIN) – Ancienne appellation britannique (BS) – Ancienne appellation italienne (UNI).



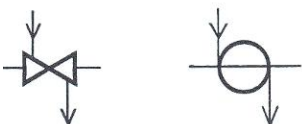
Dans ce domaine il est plutôt conseillé de se référer aux documentations des fournisseurs de métaux qui, en principe, ont toutes les connaissances en ce domaine.














# Symboles en robinetterie

## Symboles généraux

Robinet de tous types pour sectionnement.....	
Robinet de tous types pour réglage manuel ou automatique	
Soupape de sûreté (ou de décharge).....	
Disques de rupture en pression ou dépression.....	
Clapet de non retour.....	
Clapet d'arrêt.....	

## Symboles particuliers

Purgeur automatiques de tous types.....	
Purgeur automatique à filtre automatique.....	
Double enveloppe (exemples).....	

Robinet-vanne.....	
Robinet à soupape droit.....	
Robinet à soupape d'équerre.....	
Robinet à soupape à 3 voies.....	
Robinet à pointeau.....	
Robinet à piston.....	
Robinet à tournant droit.....	
Robinet à tournant d'équerre.....	
Robinet à tournant à 3 voies et 2 lumières.....	
Robinet à tournant à 3 voies et 3 lumières.....	
Robinet à papillon.....	
Robinet à obturateur déformable.....	
Détendeur ou déverseur	

Clapet combiné d'arrêt et de non retour.....	
Clapet de pied à crépine.....	
Clapet de non retour blocable.....	
Clapet d'arrêt à double effet.....	
Clapet à battant.....	
Clapet à boule.....	
Clapet à soupape.....	

## Symboles de raccordement

Brides.....			
Brides à bouts filetés males			
Manchons taraudés.....			
Soudure.....			



## Symboles de commande

Commande mécanique manuelle.....

Commande mécanique par flotteur.....

Commande mécanique à distance.....

Commande mécanique asservie.....

Commande par le fluide lui-même.....

Commande pneumatique ou hydraulique par membrane...

Commande pneumatique ou hydraulique par vérin.....

Commande pneumatique ou hydraulique par moteur  
hydraulique.....

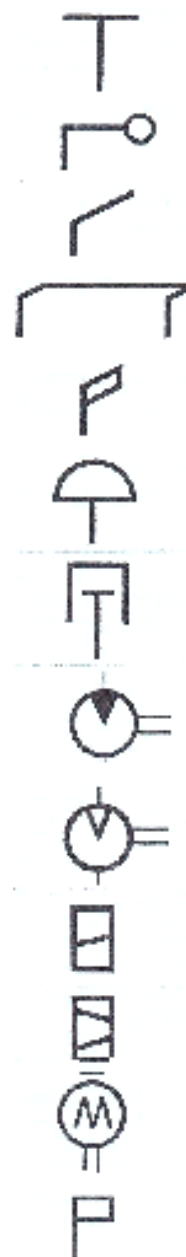
Commande pneumatique ou hydraulique par moteur  
pneumatique.....

Commande électrique par électro-magnétisme avec un  
enroulement.....



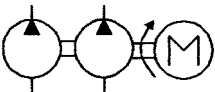




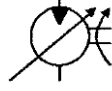

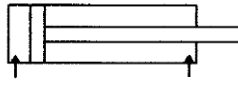
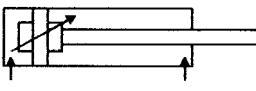
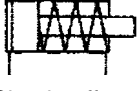
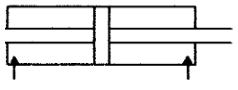
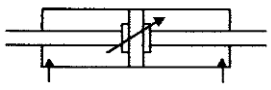

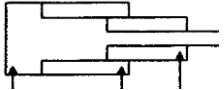
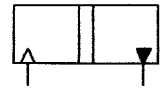

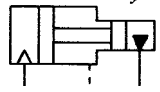


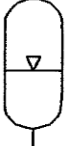
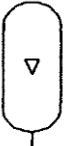




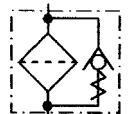
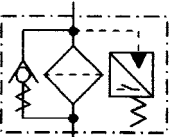
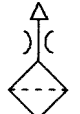




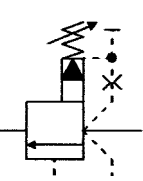
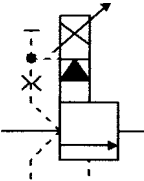
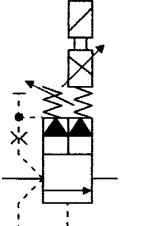
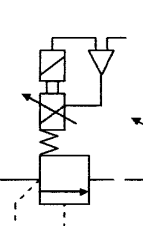
Commande électrique par électro-magnétisme avec deux  
enroulements.....


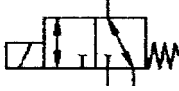
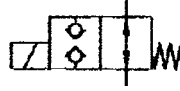

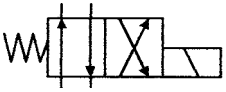
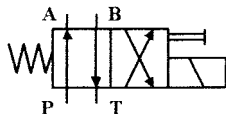
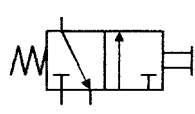
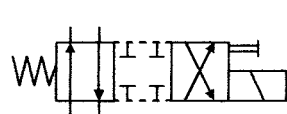
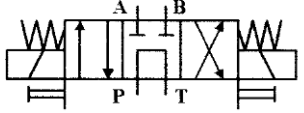
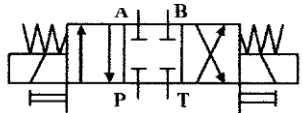
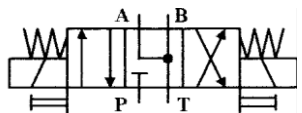
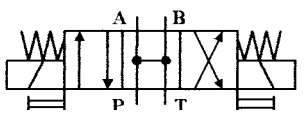
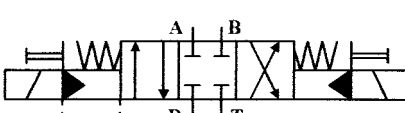
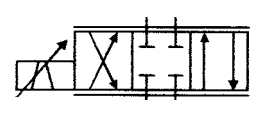






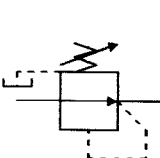
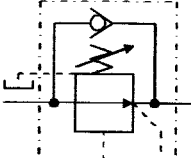
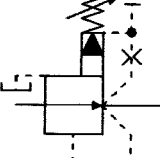
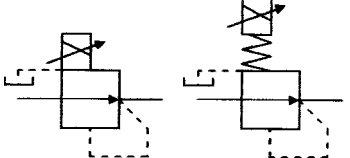
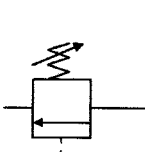
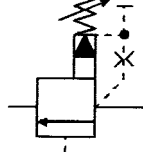
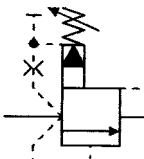
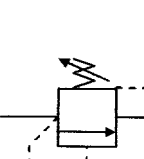


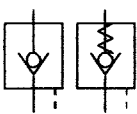
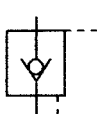
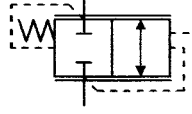
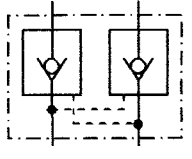
Commande électrique par moteur.....

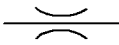

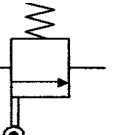
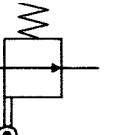
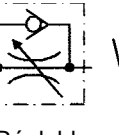
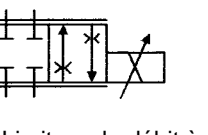
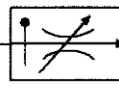
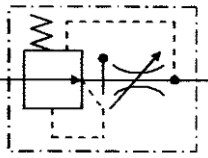
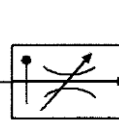
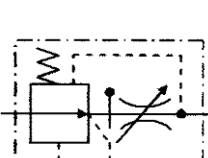





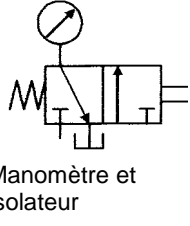





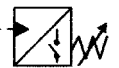



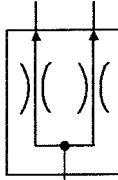



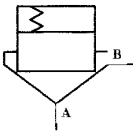
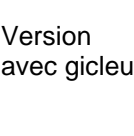
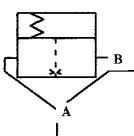
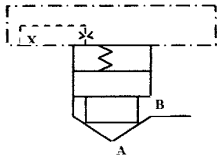
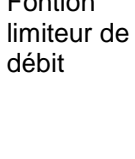
Télé indication de la position de l'obturateur.....




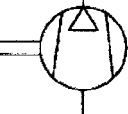

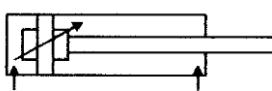
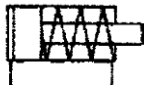
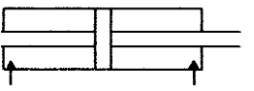
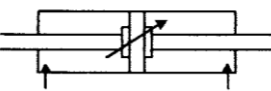
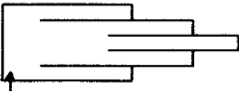



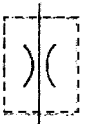

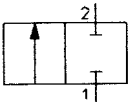
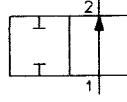
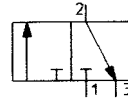
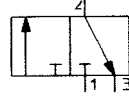
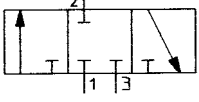
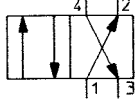
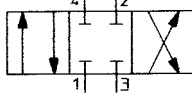
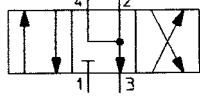
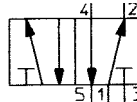
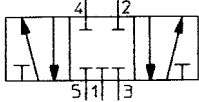
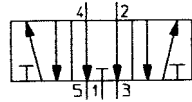
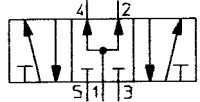








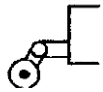


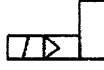


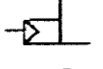

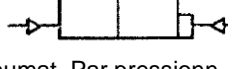
# Symboles en hydraulique

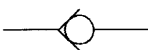

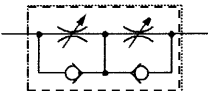
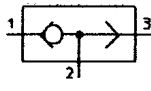
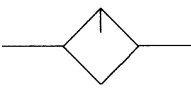
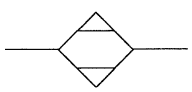
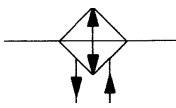
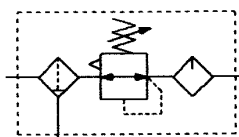
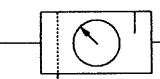
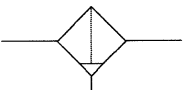
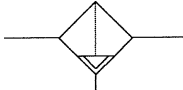
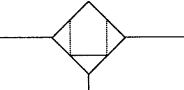
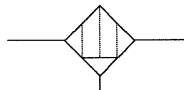
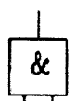
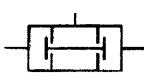
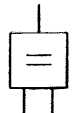
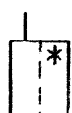
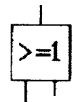
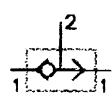
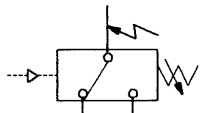
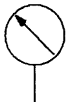


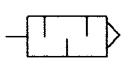
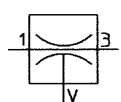
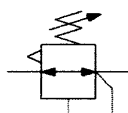
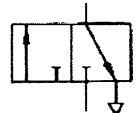
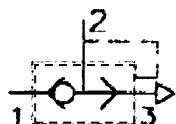
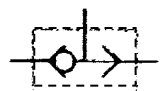
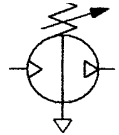



Pompes	     <p>A cylindrée variable    A cylindrée fixe    2 pompes entraînées par un moteur électrique    Pompe à cylindrée variable auto-réglatrice    Pompe avec commande proportionnelle</p>
Moteurs	    <p>A cylindrée fixe    A cylindrée fixe à 2 sens de rotation    A cylindrée variable    Vérin oscillant à 2 sens de rotation</p>
Vérins	       <p>Double effet    Double effet avec amortissements    Simple effet    Double tige    Double tige av amortissements    Télescopique simple effet    Télescopique double effet</p>
Echangeurs et multiplicateurs de pression	    <p>Echangeur Air/huile    Echangeur effet continu    Multiplicateur Air/huile    Echangeur effet continu</p>
Accumulateurs et réservoirs	     <p>Accumulateur    Accu hydro-pneumat    Bouteille à gaz    Réservoir    Réservoir en charge</p>
Filtres	     <p>Filtre    Avec élément magnétique    Avec by-pass    Avec indicateur de colmatage élect.    Filtre à air</p>
Echangeurs de température	    <p>Refroidisseur à air    Refroidisseur à eau    Réchauffeur    Régulateur de T°C</p>
Limiteurs de pression	    <p>A action pilotée    A action pilotée et cde proportionnelle    Action pilotée Cde proportion. , sécurité pression max, Capteur position    Action pilotée Cde proportion. Capteur position</p>

<p>Distributeurs</p>	<div style="display: flex; flex-wrap: wrap; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">               2/2 à tiroir         </div> <div style="text-align: center;">               3/2 à tiroir         </div> <div style="text-align: center;">               2/2 à bille étanche         </div> <div style="text-align: center;">               3/2 à bille étanche         </div> </div> <div style="display: flex; flex-wrap: wrap; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;">               4/2 cde électrique, retour par ressort         </div> <div style="text-align: center;">               4/2 cde électrique, retour par ressort, cde manuelle secours         </div> <div style="text-align: center;">               3/2 à cde manuelle         </div> <div style="text-align: center;">               4/2 cde électrique, monostable, et recouvrement positif         </div> </div> <div style="display: flex; flex-wrap: wrap; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;">               4/3 centre tandem, cde électrique, retour par ressort, cde manuelle sec.         </div> <div style="text-align: center;">               4/3 centre fermé, cde électrique, retour par ressort, cde manuelle sec.         </div> <div style="text-align: center;">               4/3 centre Y, cde électrique, retour par ressort, cde manuelle sec         </div> </div> <div style="display: flex; flex-wrap: wrap; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;">               4/3 centre ouvert, cde électrique, retour par ressort, cde manuelle secours         </div> <div style="text-align: center;">               4/3 centre fermé, 2 étages, cde électrohydraulique et manuelle de secours, pilotage et drain externe         </div> <div style="text-align: center;">               4/3 centre fermé, cde électrique proportion. à 2 enroulements         </div> </div>
<p>Commandes de distributeurs</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">       </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 5px;"> <span>Electrique</span> <span>hydraulique</span> <span>pneumatique</span> <span>manuelle crantée</span> <span>manuelle</span> <span>proportionnelle</span> </div>
<p>Réducteurs de pression</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">     </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 5px;"> <span>A action directe</span> <span>A action directe et CAR incorporé</span> <span>A action pilotée</span> <span>A action directe et commande proportionnelle</span> </div>
<p>Soupapes</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">     </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 5px;"> <span>A action directe</span> <span>A action pilotée</span> <span>A action pilotée et drain externe</span> <span>A action directe et drain externe</span> </div>
<p>Clapets</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">   </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;">               Clapet anti-retour piloté         </div> <div style="text-align: center;">               Clapet anti-retour piloté et drain ext.         </div> <div style="text-align: center;">               Clapet anti-retour piloté         </div> <div style="text-align: center;">               Double Clapet anti-retour piloté         </div> </div>

<p>Réducteurs de débit</p>	 Non réglable  Réglable  A commande par galet NF  A commande par galet NO  Réglable avec CAR  Limiteur de débit à cde proportionnelle
<p>Régulateurs de débit</p>	 Réglable  Réglable avec CAR  Réglable avec compensation de température  Réglable avec compensation de température et CAR
<p>Appareils de mesure</p>	 Indicateur de pression  Manomètre  Manomètre différentiel  Indicateur de Niveau  Thermomètre  Manomètre et isolateur  Indicateur de débit  Débitmètre  Compteur totalisateur  Tachymètre  Mesureur de couple
<p>Divers</p>	 Manocontact ou pressostat  Capteur de pression analogique  Manocontact à 2 seuils de réglage  Capteur de position  Diviseur de débit  Raccordement  Prise de pression  Vanne à 2 voies
<p>Valves en cartouche, logique 2 voies</p>	 Version sans gicleur  Version avec gicleur  Avec ouverture et fermeture progressives et amorties  Fonction anti-retour  Fonction limiteur de débit

# Symboles en pneumatique

Compresseur	<div>Moteur</div>  <div>Compresseur</div> 					
Vérins	<div>Double effet</div>  <div>Double effet avec amortissements</div>  <div>Simple effet</div>  <div>Double tige</div>  <div>Double tige av amortissements</div>  <div>Télescopique simple effet</div>  <div>Vérin rotatif</div> 					
Appareils de débit	<div>Régleur de vitesse</div>  <div>Restriction réglable</div>  <div>Restriction</div>  <div>Régleur de débit avec silencieux</div> 					
Electrodistributeurs	<div>Electrodistributeur 2/2 NF</div>  <div>Electrodistributeur 2/2 NO</div>  <div>Electrodistributeur 3/2 NF</div>  <div>Electrodistributeur 3/2 NO</div>  <div>Electrodistributeur 3/3 NF</div>  <div>Electrodistributeur 4/2</div>  <div>Electrodistributeur 4/2 NF</div>  <div>Electrodistributeur 4/2 NO</div>  <div>Electrodistributeur 5/2</div>  <div>Electrodistributeur 5/3 NF</div>  <div>Electrodistributeur 5/3 NO</div>  <div>Electrodistributeur 5/3 Centre sous pression</div> 					
Commandes	<div>Manuelle. Cas général</div>  <div>Manuelle. Poussoir</div>  <div>Manuelle. Levier</div>  <div>Manuelle. Pédale</div>  <div>Bi-manuelle. de sécurité</div>  <div>Electrique directe</div>  <div>Mécanique directe</div>  <div>Mécanique Galet</div>  <div>Mécanique Galet escam.</div>  <div>Mécanique Ressort</div>  <div>Mécanique crantée</div>  <div>Electrique pilotée</div>  <div>Pneumat. Par pression</div>  <div>Pneumat. Par purge</div>  <div>Pneumat. Par pression sur piston</div>  <div>Pneumat. Par ressort pneum.</div>  <div>Pneumat. Par pressionn avec piston différentiel</div> 					

Clapets anti-retour	 CAR sans ressort  CAR, rrégleur de débit  CAR double rrégleur de débit  CAR fonction « OU »
Traitement de l'air	 Lubrificateur  Assècheur  Refroidisseur  FRL Filtre / rrégulateur : lubrificateur  FRL Schéma simplifié
Filtres	 Filtre avec purge  Filtre avec purge automatique  Filtre micronique  Filtre submicronique
Logique de commande	 Fonction « ET »  Fonction « NON »  Fonction « OUI »  Mémoire  Fonction « OU »  Fonction « OU »
Divers	 Pressostat  Manomètre  Réservoir  Thermomètre  Silencieux  Générateur de vide, éjecteur  Régulateur de pression réglable  Vanne de sectionnement  Soupape d'échappement rapide  Sélecteur de circuit  Booster rrégulateur pneumatique commandé par manette  Vanne 2 voies  Prise de pression  Coupleur

# Codification des roulements

## Principes de la codification des roulements normalisés

Les roulements se différencient :

- par leur type : forme des corps roulants, conception interne...
- par leurs dimensions : proportion ( roulements étroits ou larges ), taille ( roulements légers ou forts ),
- par leur alésage.

Ces caractéristiques sont fixées par une norme et symbolisées par un code pour un certain nombre de roulements types.

Dans ce cas, la désignation de base consiste en trois, quatre ou cinq chiffres ou en une concentration de lettres et de chiffres.

### Types de roulements

Code	Désignation
<b>0</b>	Roulements à billes à contact oblique à deux rangées
<b>1</b>	Roulements à rotule sur billes
<b>2</b>	Roulements et butées à rotule sur rouleaux
<b>3</b>	Roulements à rouleaux coniques
<b>4</b>	Roulements rigides à billes à deux rangées
<b>5</b>	Butées à billes
<b>6</b>	Roulements rigides à billes à une rangée
<b>7</b>	Roulements à billes à contact oblique à une rangée
<b>8</b>	Butées à rouleaux cylindriques
<b>N</b>	Roulements à rouleaux cylindriques. suivant la lettre <b>N</b> , une ou deux lettres peuvent être ajoutées, illustrant la configuration d'épaulement, par exemple <b>NJ</b> , <b>NU</b> , <b>NUP</b> , etc. Les désignations des roulements à deux rangées ou plus commencent par les lettres <b>NN</b> . La désignation d'un <b>roulement à aiguilles</b> commence normalement par les lettres <b>NA</b> ou <b>NK</b> .
<b>QJ</b>	Roulements à billes à quatre points de contact
<b>T</b>	Roulements à rouleaux coniques avec dimensions selon ISO 355.. Voir détails après « Désignations auxiliaires »

### Séries de dimensions ISO

Elles sont représentées par les deuxième et troisième chiffres :

- le premier identifie la série de largeurs (B ou T) ou la série de hauteurs (H) pour les butées ;
- le second la série de diamètres extérieurs (D).

Les séries de largeur définissent les proportions du roulement, c'est-à-dire la relation entre la largeur et la hauteur de sa section.

La norme fixe cinq séries de largeur croissante ( 0, 1, 2, 3, 4, 5 ) qui passent progressivement d'une largeur inférieure à la hauteur de la section à une largeur supérieure à cette hauteur. Ces largeurs croissantes donnent des enveloppes adaptées :

- au nombre de rangées de corps roulants ( 1 à 2 )
- à la conception interne du roulement ( angle de contact...)

Les séries de diamètre extérieur définissent la taille du roulement.

Les diamètres croissants donnent des enveloppes permettant un renforcement progressif des bagues et corps roulants.

La norme fixe sept séries de diamètre extérieur ( 8, 9, 0, 1, 2, 3, 4 )

### ***Diamètre d'alésage***

#### Alésages en dessous de 10mm

Pour les roulements à billes de type 6, le dernier chiffre du symbole indique l'alésage en mm.

#### Alésages de 10 à 17 mm

10 mm	=	code 00
12 mm	=	code 01
15 mm	=	code 02
17 mm	=	code 03

#### Alésages au-dessus de 20 mm

Le code est donné par le 1/5 de l'alésage en mm, de 5 en 5 mm jusqu'à 110 mm et de 10 en 10 mm au-delà.

#### Alésages intermédiaires

Il existe trois alésages dits « intermédiaires » : 22, 28 et 32 mm.

Comme ces nombres ne sont pas multiples de 5, l'alésage en mm est donné en clair, précédé des trois premiers chiffres du symbole usuel.

Exemple : 320/32 = roulement à rouleaux coniques de la série 32000, d'alésage 32 mm.

### **Exemples**

- Symbole 6205

6 - - - : roulement à billes à contact radial, à une rangée de billes

- 2 - - : appartenant à la série de diamètre 2

- - 05 : alésage 25mm

- Symbole 22320

2 - - - : roulement à rouleaux sphériques

- 2 - - : appartenant à la série de largeur 2



-- 3 -- : et à la série de diamètre 3

--- 20 : alésage 100mm

## Note :

Dans certains cas, le chiffre indiquant le type de roulement et/ou le premier chiffre de la série de dimensions est omis.

## Désignations auxiliaires

La désignation d'un roulement peut comprendre plusieurs désignations auxiliaires.

En général, la désignation de base consiste dans l'identification du type de roulement (chiffre, lettre ou combinaison de lettres), la désignation de la série et l'identification codée du diamètre d'alésage, par exemple 23216 ou NU212. Les désignations auxiliaires sont placées soit avant, soit après la désignation de base.

- Les **préfixes** servent à identifier les éléments de roulements ; ils sont placés **avant** la désignation de base.
- Les **suffixes** sont utilisés pour identifier les variantes de conception ; ils sont placés **après** la désignation de base.

## Préfixes

Code	Désignation
<b>GS</b>	Rondelle-logement de butée à rouleaux cylindriques. Ex : GS 81107 – Rondelle logement de butée à rouleaux cylindriques 81107
<b>K</b>	Ensemble cage-rouleaux de butée à rouleaux cylindriques
<b>K-</b>	Bague intérieure avec ensemble cage-rouleaux (cône) ou bague extérieure (cuvette) d'un roulement à rouleaux coniques appartenant à une série standard AFBMA et ayant généralement des dimensions en inches.
<b>L</b>	Bague libre intérieure ou extérieure d'un roulement séparable.
<b>R</b>	Roulement séparable sans sa bague libre.
<b>WS</b>	Rondelle-arbre de butée à rouleaux cylindriques.

## Suffixes du premier groupe : Construction interne

Code	Désignation
<b>A</b> <b>B</b> <b>C</b> <b>D</b> <b>E</b>	Modification de construction interne. Exemples : 7205 BE – roulement à billes à contact oblique à une rangée avec angle de contact de 40° et en semble cage-billes renforcé. 23022 CC – roulement à rotule sur rouleaux avec amélioration du guidage des rouleaux et par suite frottement plus faible.

## Suffixes du deuxième groupe : caractéristiques externes

Code	Désignation
<b>CA</b> <b>CB</b> <b>CC</b>	Roulements à billes à contact oblique à une rangée pour montage par paire dans un ordre quelconque. Dans la disposition en O ou en X, les roulements auront un jeu axial, avant montage, qui sera faible (CA), normal (CB), ou plus grand que normal (CC°)
<b>-2F</b>	Défecteur des deux côtés du roulement (roulements Y)
<b>-2FF</b>	Défecteur floqué des deux côtés du roulement (roulement Y)
<b>G</b>	Roulements à billes à contact oblique à une rangée pour montage par paire selon disposition T, O, ou X. Dans la disposition en O ou en X, les roulements auront avant montage un certain jeu axial.
<b>GA</b> <b>GB</b> <b>GC</b>	Roulements à billes à contact oblique à une rangée pour montage par paire selon disposition T, O ou X. Dans la disposition O ou X, les roulements auront une précharge légère (GA), moyenne (GB), ou forte (GC)
<b>K</b>	Alésage conique, conicité 1 :12
<b>K30</b>	Alésage conique, conicité 1 :30
<b>-LS</b>	Joint d'étanchéité d'un côté du roulement, avec lèvre en appui sur la surface cylindrique de l'épaule de la bague intérieure qui ne présente pas d'embranchement.
<b>-2LS</b>	Joint LS des deux côtés du roulement
<b>N</b>	Rainure pour segment d'arrêt dans la surface extérieure de la bague extérieure.
<b>NR</b>	Comme <b>N</b> avec segment d'arrêt
<b>N2</b>	Deux encoches d'arrêt en rotation à 180° dans la bague extérieure.
<b>PP</b>	Joint d'étanchéité des deux côtés
<b>RS</b>	Joint d'étanchéité en caoutchouc synthétique ou polyuréthane d'un côté du roulement.
<b>-RS1</b>	Joint d'étanchéité en caoutchouc synthétique avec armature en tôle d'acier, d'un côté du roulement.
<b>-2RS1</b>	Joint RS1 des deux côtés du roulement.
<b>-2RS</b>	Joint RS des deux côtés du roulement.
<b>-RZ</b>	Joint à faible frottement en caoutchouc synthétique avec armature en tôle d'acier, d'un côté du roulement.
<b>-2RZ</b>	Joint RZ des deux côtés du roulement.
<b>X</b>	1. Dimensions d'encombrement modifiées selon standards ISO. 2. Bande de roulement cylindrique (pour galets)
<b>-Z</b>	Flasque de protection d'un côté du roulement.
<b>-2Z</b>	Flasque Z des deux côtés du roulement.
<b>-ZN</b>	Flasque ZN d'un côté du roulement et rainure pour segment d'arrêt dans la bague extérieure du côté opposé.
<b>-2ZN</b>	Flasque Z des deux côtés du roulement et rainure pour segment d'arrêt dans la bague extérieure.
<b>-ZNR</b>	Comme ZN, mais avec segment d'arrêt.
<b>-2ZNR</b>	Comme -2ZN, mais avec segment d'arrêt.

**Suffixes du troisième groupe : cage**

Code	Désignation
<b>F</b>	Cage massive en acier ou en fonte spéciale
<b>J</b>	Cage emboutie en tôle d'acier
<b>L</b>	Cage massive en alliage léger
<b>M</b>	Cage massive en laiton
<b>MP</b>	Cage massive en laiton, type à fenêtres
<b>P</b>	Cage moulée en polyamide renforcé de fibres de verre
<b>TN</b>	Cage moulée en matière plastique
<b>Y</b>	Cage emboutie en tôle de laiton
<b>V</b>	Roulement à billes ou rouleaux jointifs (sans cage)
<b>VH</b>	Roulement à rouleaux jointifs non séparables (roulement à rouleaux cylindriques)

Pour indiquer comment la cage est guidée dans le roulement, le suffixe identifiant la cage peut être suivi des lettres A ou B, A indiquant que la cage est centrée sur la bague extérieure, B indiquant qu'elle est centrée sur la bague intérieure. L'absence de lettre indique que la cage est centrée sur les éléments roulants.

**Suffixes du quatrième groupe : autres caractéristiques d'exécution**

Une barre oblique précède les suffixes de ce groupe.

Précision	
Code	Désignation
<b>CLN</b>	Correspond à la classe de tolérances ISO 6X pour roulements à rouleaux coniques à cotes métriques
<b>CL0</b>	Correspond à la classe de tolérances ISO 0 pour roulements à rouleaux coniques à cotes en inches
<b>CL3</b>	Correspond à la classe de tolérances ISO 3 pour roulements à rouleaux coniques à cotes en inches
<b>CL7A</b>	Qualité standard de roulement à rouleaux coniques pour montages de pignons d'attaque
<b>CL7C</b>	Qualité spéciale de roulement à rouleaux coniques pour montages de pignons d'attaque
<b>P4</b>	Précision dimensionnelle et exactitude de rotation selon ISO classe de tolérance 4 (plus précis que P5)
<b>P4A</b>	Précision dimensionnelle selon ISO classe de tolérance 4 et exactitude de rotation selon AFBMA classe ABEC 9
<b>P5</b>	Précision dimensionnelle et exactitude de rotation selon ISO classe de tolérance 5 (plus précis que P6)
<b>P6</b>	Précision dimensionnelle et exactitude de rotation selon ISO classe de tolérance 6
<b>PA9A</b>	Précision dimensionnelle et exactitude de rotation selon AFBMA classe ABEC 9
<b>PA9B</b>	Précision dimensionnelle selon AFBMA classe ABEC 9, exactitude de rotation meilleure que PA9A
<b>SP</b>	Précision dimensionnelle analogue à P5, exactitude de rotation analogue à P4
<b>UP</b>	Précision dimensionnelle analogue à P4, exactitude de rotation meilleure que P4

Jeu interne, classes C	
Code	Désignation
<b>C1</b>	Jeu interne plus petit que C2
<b>C2</b>	Jeu plus petit que Normal
<b>C3</b>	Jeu plus grand que Normal
<b>C4</b>	Jeu plus grand que C3
<b>C5</b>	Jeu plus grand que C4

Si elle se présente en même temps que les suffixes P4, P5 ou P6, la lettre C est omise. Exemple : P6 + C2 = P62.

Vibrations, classes Q	
Code	Désignation
<b>QE5</b>	Qualité spéciale pour moteurs électriques, silence de fonctionnement exceptionnel
<b>QE6</b>	Qualité standard pour moteurs électriques, fonctionnement silencieux
<b>Q05</b>	Niveau de crêtes de vibration très réduit
<b>Q06</b>	Niveau de crêtes de vibration réduit
<b>Q5</b>	Niveau de vibration très réduit
<b>Q6</b>	Niveau de vibration réduit
<b>Q55</b>	Q5 + Q05
<b>Q66</b>	Q6 + Q06

Stabilisation : les bagues de roulements peuvent être stabilisées du point de vue dimensionnel pour les températures de fonctionnement suivantes :	
Code	Désignation
<b>S0</b>	Jusqu'à + 150°C
<b>S1</b>	Jusqu'à + 200°C
<b>S2</b>	Jusqu'à + 250°C
<b>S3</b>	Jusqu'à + 300°C
<b>S4</b>	Jusqu'à + 350°C

Lubrification périodique	
Code	Désignation
<b>W20</b>	Trois trous de lubrification dans la bague extérieure
<b>W26</b>	Six trous de lubrification dans la bague intérieure
<b>W33</b>	Rainure et trois trous de lubrification dans la bague extérieure
<b>W33X</b>	Rainure et six trous de lubrification dans la bague extérieure
<b>W513</b>	W26 + W33
<b>W518</b>	W20 + W26

Lubrifiants	
Les suffixes utilisés pour identifier la graisse dont sont garnis les roulements comprennent une combinaison de lettres précisant la plage de températures de fonctionnement admissibles, suivie d'un nombre à deux chiffres caractéristique du type de graisse utilisé. Les combinaisons de lettres sont indiquées ci-après.	
Code	Désignation
<b>HT</b>	Graisse pour hautes températures ( -20 à +130°C )
<b>LHT</b>	Graisse pour hautes et basses températures ( -40 à +140°C )
<b>LT</b>	Graisse pour basses températures ( -50 à +80°C )
<b>MT</b>	Graisse pour moyennes températures ( -30 à +110°C ) Le suffixe MT n'est utilisé que si la graisse n'est pas standard.
Lorsque les quantités de graisse s'écartent de la normale (25 à 35% de l'espace libre dans le roulement), l'identification s'effectue par une lettre supplémentaire : A quantité de graisse inférieure au standard B quantité de graisse supérieure au standard C quantité de graisse supérieure à B. Exemple : 6210-2Z/HT51B – roulement rigides à billes avec deux flasques de protection, garni d'une quantité de graisse hautes températures, supérieure au standard.	

Autres caractéristiques : les combinaisons de la lettre V avec une autre lettre et un nombre à trois chiffres identifient les variantes par rapport à la conception standard qui ne sont pas couvertes par d'autres suffixes établis.

**Note** : ces informations sont extraites de la documentation **SKF**

## Cas des roulements à rouleaux coniques

Une nouvelle norme de dimension et de symbolisation des roulements à rouleaux coniques a été fixée en 1977 : Norme ISO 355.

Généralement les constructeurs ont gardé l'ancienne codification pour les séries existantes, et ont adopté la symbolisation ISO 355 pour les nouvelles séries.

Norme ISO 355

Code du type	Code de la série d'angle	Code de la série de diamètre	Code de la série de largeur	Alésage en mm		
	Chiffre	Lettre	Lettre	Chiffres		
<b>T</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>

## Série d'angle

Le code est constitué d'un chiffre caractéristique d'une certaine gamme d'angles de contact.

Code de la série d'angle	$\alpha$	
	Au-dessus de	Jusqu'à
1	Réservé	
2	10°	13°52 '
3	13°52 '	5°49 '
4	15°59 '	18°55 '
5	18°55 '	23°
6	23°	27°
7	27°	30°

## Série de diamètre

Le code est constitué d'une lettre caractéristique d'une certaine gamme de valeurs du rapport entre diamètre extérieur et alésage.

La norme définit 7 séries de diamètre ( A, B, C, D, E, F, C )

## Série de largeur

Le code est constitué d'une lettre, caractéristique d'une certaine gamme de valeurs du rapport entre la largeur et la hauteur de section.

La norme définit 5 séries de largeur ( A, B, C, D, E )

## Exemple

Symbole T7FC060 :

T : roulement à rouleaux coniques

7 : code se série d'angle

FC : code d'encombrement

060 : alésage en mm

## Codification des roulements dérivés des roulements normalisés

Les exigences particulières des applications du roulement ont conduit les fabricants à créer de très nombreuses variantes des roulements de base normalisés; ces variantes portent sur les caractéristiques suivantes :

- Géométrie externe :  
diamètre, alésage, largeur, tolérances, arrondis, rainures, gorges, collets, trous de lubrification, appariement...
- Géométrie interne :  
angle de contact, jeu, précision, etc...
- Composants :  
matière, traitement thermique, cage, graisse..
- Protection et étanchéité

Ces modifications sont codifiées par des suffixes ou des préfixes alpha-numériques accolés au code normalisé.

La codification des variantes n'est pas normalisée : elle est propre à chaque fabricant.

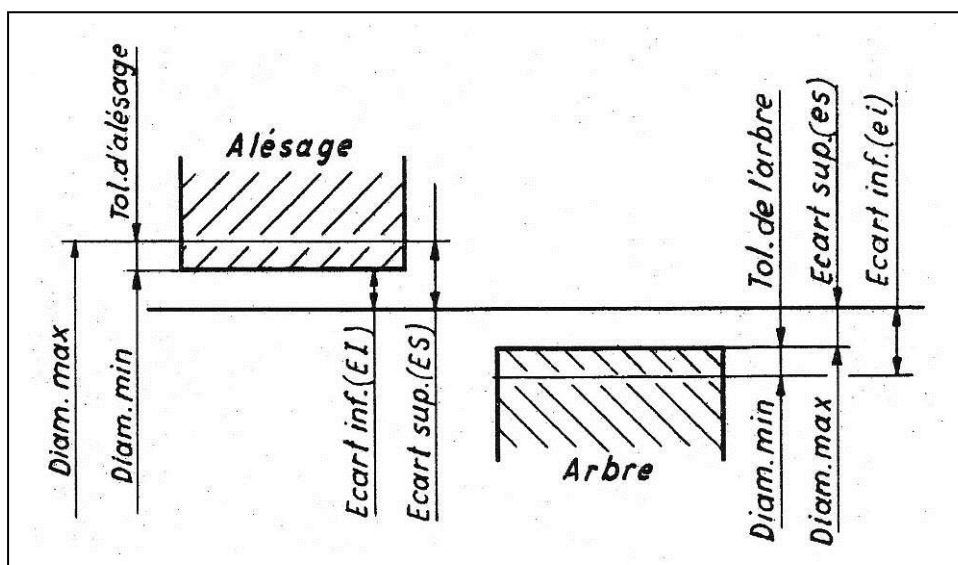
# Normalisation des cotes et états de surface

## Cotes des arbres et alésages

### Généralités

Pour la facilité des inscriptions, on assigne à la pièce une dimension nominale, généralement ronde, et on définit chacune des deux limites par son écart par rapport à cette dimension nominale. La valeur absolue et le signe de l'écart s'obtiennent en retranchant la dimension nominale de la dimension limite envisagée.

L'exemple ci-après, purement conventionnel, permet de situer plus clairement les positions des écarts de l'arbre et de l'alésage.



### Vocabulaire usuel en matière de toléranciation

#### Dimension

Nombre exprimant, dans l'unité choisie, la valeur numérique d'une grandeur.

La dimension est appelée « cote » lorsqu'elle est inscrite sur un dessin.

#### Dimension nominale N

Dimension de référence par rapport à laquelle sont définies les dimensions limites.

#### Dimension effective

Dimension d'une pièce effectivement réalisée telle qu'elle résulte d'un mesurage.

#### Dimensions limites

Dimensions extrêmes admissibles (maximale et minimale) entre lesquelles doit se trouver la dimension effective.

#### Dimension maximale M

La plus grande des deux dimensions limites.

#### Dimension minimale m

La plus petite des deux dimensions limites.

#### Ecart effectif

Différence algébrique entre la dimension effective et la dimension nominale correspondante.

#### Ecart supérieur ES

Différence algébrique entre la dimension maximale et la dimension nominale correspondante :  $ES = M - N$ .

#### Ecart inférieur EI

Différence algébrique entre la dimension minimale et la dimension nominale correspondante :  $EI = m - N$ .

## Ligne zéro

La ligne zéro est la ligne d'écart nul et correspond à la dimension nominale.

Par convention, lorsque la ligne zéro est tracée horizontalement, les écarts positifs sont au dessus et les écarts négatifs en dessous.

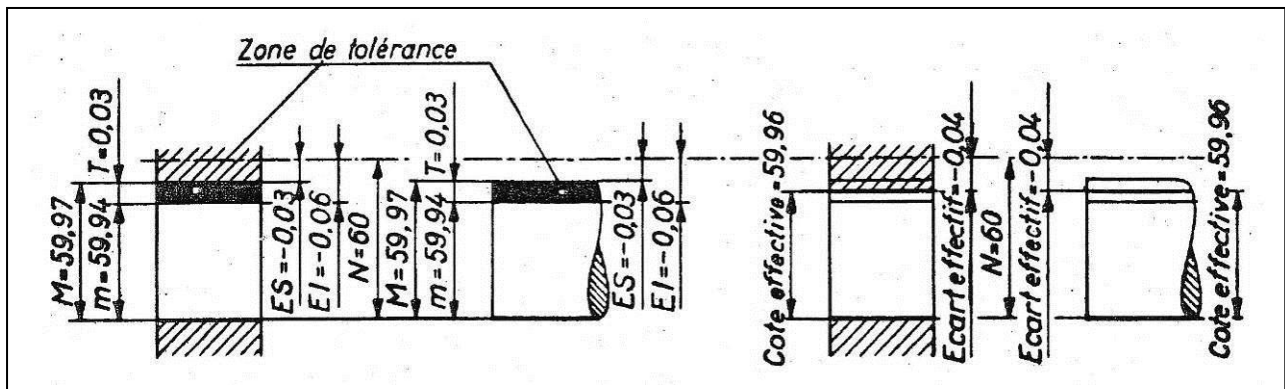
## Tolérance T

Différence entre la dimension maximale et la dimension minimale ou valeur absolue de la différence algébrique entre l'écart supérieur et l'écart inférieur.

$$T = M - m = ES - EI.$$

## Zone de tolérance

Dans la représentation graphique des tolérances, c'est la zone comprise entre les deux lignes représentant les limites de la tolérance et définie en grandeur et en position par rapport à la ligne zéro.



## Ecart fondamental

Celui des deux écarts conventionnellement choisi pour définir la position de la zone de tolérance par rapport à la ligne zéro.

## Arbre

Terme utilisé par convention pour désigner toute dimension extérieure d'une pièce.

## Alésage

Terme utilisé par convention pour désigner toute dimension intérieure d'une pièce.

## Arbre normal

Arbre dont l'écart supérieur est nul. Plus généralement, arbre choisi pour base d'un système d'ajustement à arbre normal.

## Alésage normal

Alésage dont l'écart inférieur est nul. Plus généralement, alésage choisi pour base d'un système d'ajustement à alésage normal.

## Ajustement

Relation résultant de la différence, avant assemblage, entre les dimensions des deux pièces destinées à être assemblées.

## Tolérance d'ajustement

Somme arithmétique des tolérances des deux éléments d'un ajustement.

## Jeu J

Différence avant assemblage, entre la dimension de l'alésage et la dimension de l'arbre, lorsque cette différence est positive.

## Serrage S

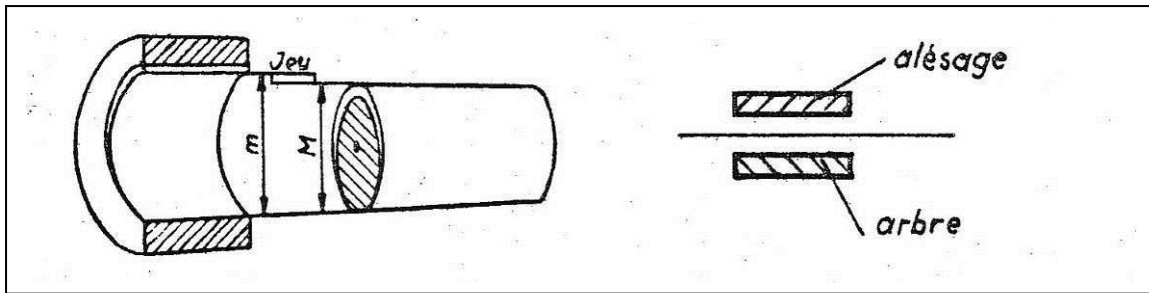
Différence avant assemblage, entre la dimension de l'alésage et la dimension de l'arbre, lorsque cette différence est négative.

## Ajustement avec jeu.

Ajustement assurant toujours un jeu.

La zone de tolérance de l'alésage est entièrement au-dessus de la zone de tolérance de l'arbre.

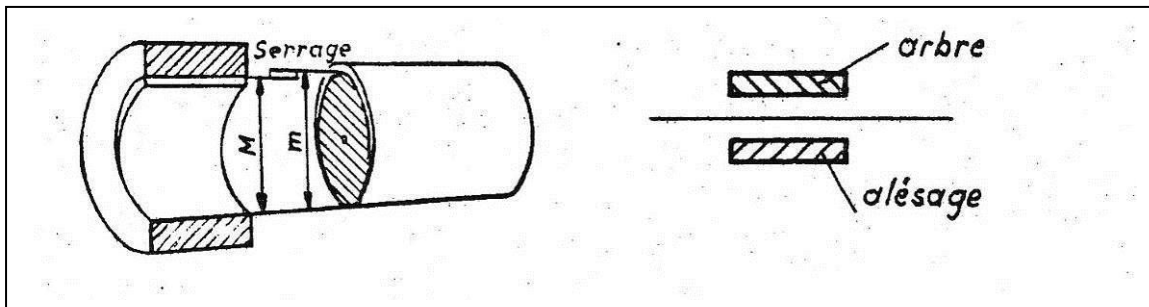




#### Zone avec serrage

Ajustement assurant toujours un serrage.

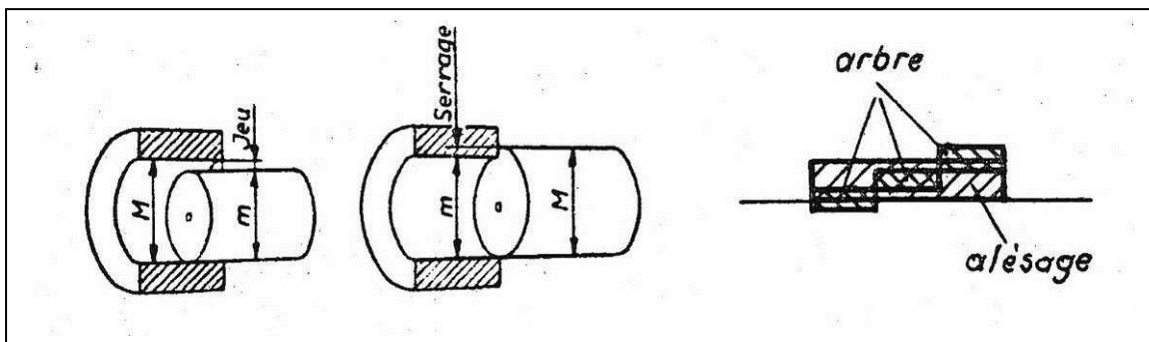
La zone de tolérance de l'alésage est entièrement en-dessous de la zone de tolérance de l'arbre.



#### Ajustement incertain

Ajustement pouvant comporter tantôt un jeu, tantôt un serrage.

Les zones de tolérance de l'alésage et de l'arbre se chevauchent.



#### Jeu minimal $j_m$

Dans un ajustement avec jeu, différence entre la dimension minimale de l'alésage et la dimension maximale de l'arbre.

#### Jeu maximal $J_M$

Dans un ajustement avec jeu ou dans un ajustement incertain, différence entre la dimension maximale de l'alésage et la dimension minimale de l'arbre.

#### Serrage minimal $s_m$

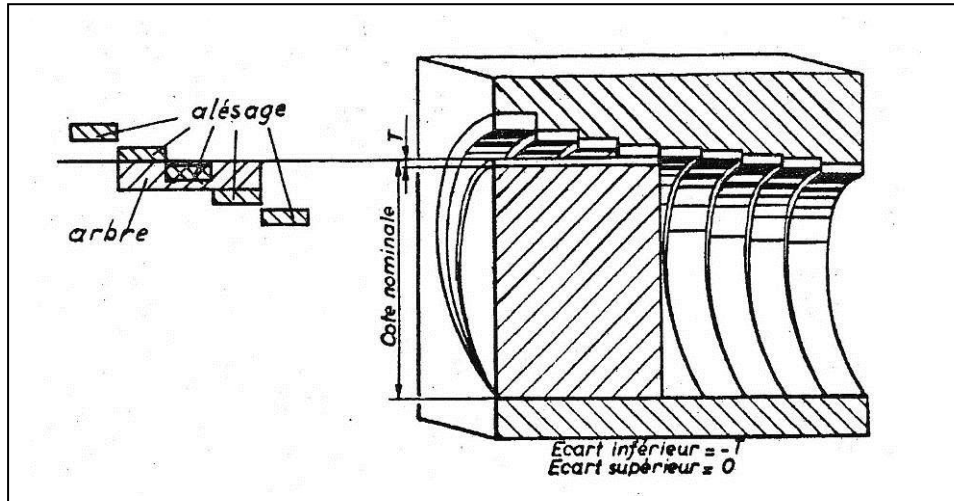
Dans un ajustement avec serrage, valeur absolue de la différence négative entre la dimension maximale de l'alésage et la dimension minimale de l'arbre, avant assemblage.

## Serrage maximal SM

Dans un ajustement avec serrage ou dans un ajustement incertain, valeur absolue de la différence négative entre la dimension minimale de l'alésage et la dimension maximale de l'arbre, avant assemblage.

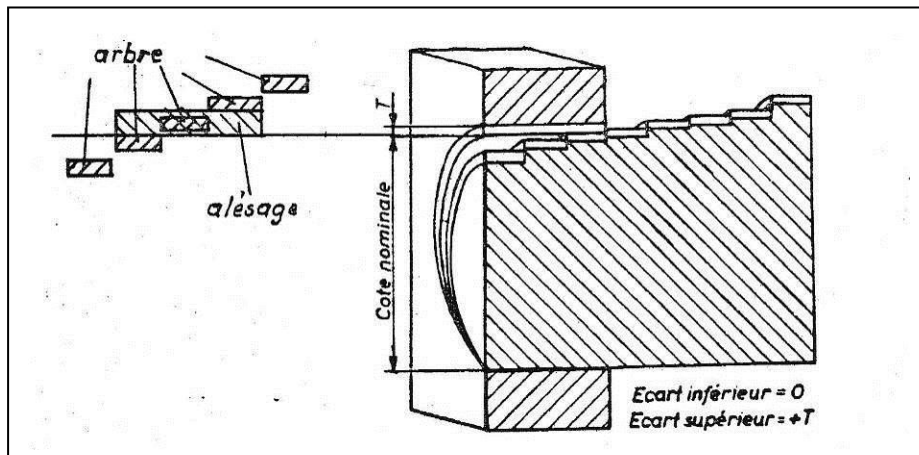
## Système d'ajustement à arbre normal

Ensemble systématique d'ajustement dans lequel les différents jeux et serrages sont obtenus en associant des alésages variés avec un arbre normal ( arbre avec écart supérieur nul ). Quel que soit l'ajustement, c'est la tolérancement de l'alésage qui conditionne le caractère de l'ajustement et qui permet de réaliser le jeu ou le serrage désiré.



## Système d'ajustement à alésage normal

Ensemble systématique d'ajustement dans lequel les différents jeux et serrages sont obtenus en associant des arbres variés avec un alésage normal (alésage avec écart inférieur nul ). Quel que soit l'ajustement, c'est la tolérancement de l'arbre qui conditionne le caractère de l'ajustement et qui permet de réaliser le jeu ou le serrage désiré.



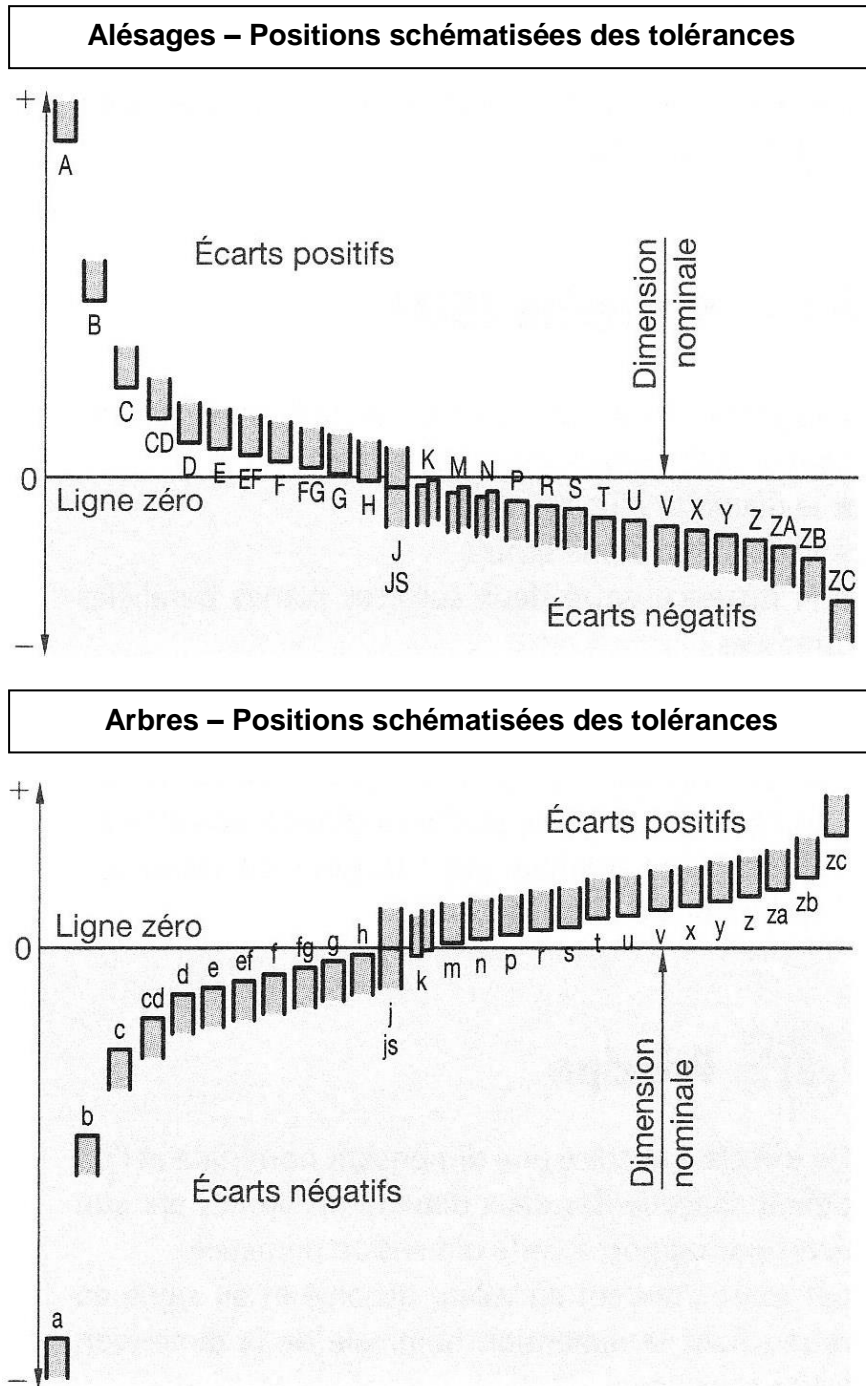
## Système de tolérances ISO

Pour mettre en pratique les notions énoncées ci-dessus, et pour satisfaire aux besoins courants, il fallait fixer numériquement les écarts aussi bien pour les pièces isolées que pour les ajustements.

Dans ce but, dans le système ISO il est prévu pour chaque dimension nominale d'une part, toute une gamme de tolérances et, d'autre part, toute une gamme d'écarts définissant la position de ces tolérances par rapport à la ligne zéro.

La **tolérance**, dont la valeur est fonction de la dimension nominale, est symbolisée par un **numéro**, dit « qualité », la **position** de la zone de tolérance par rapport à la ligne zéro, fonction de la dimension nominale, est symbolisée par un **symbole littéral** ( 1 ou 2 lettres), **majuscule pour les alésages, minuscules pour les arbres**.

L'ISO a adopté 27 positions de champs de tolérances pour les dimensions allant de 0 à 500 mm.



En ce qui concerne la qualité des tolérances, ISO a adopté 18 qualités suffisant aux divers fabricants de l'industrie mécanique de précision jusqu'à la grosse mécanique.

Pour être pratiques, nous figurons ci-après les tolérances les plus usuelles.

## Alésages en mm – Ecart en micromètres

	3 6	6 10	10 18	18 30	30 50	50 80	80 120	120 180	180 250	250 315	315 400
F7	+22 +10	+28 +13	+34 +16	+41 +20	+50 +25	+60 +30	+71 +36	+83 +43	+96 +50	+108 +56	+119 +62
G6	+12 +4	+14 +5	+17 +6	+20 +7	+25 +9	+29 +10	+34 +12	+39 +14	+44 +15	+49 +17	+54 +18
H6	+8 0	+9 0	+11 0	+13 0	+16 0	+19 0	+22 0	+25 0	+29 0	+32 0	+36 0
H7	+12 0	+15 0	+18 0	+21 0	+25 0	+30 0	+35 0	+40 0	+46 0	+52 0	+57 0
H8	+18 0	+22 0	+27 0	+33 0	+38 0	+46 0	+54 0	+63 0	+72 0	+81 0	+89 0
H9	+30 0	+36 0	+43 0	+52 0	+62 0	+74 0	+87 0	+100 0	+115 0	+130 0	+140 0
H10	+48 0	+58 0	+70 0	+84 0	+100 0	+120 0	+140 0	+160 0	+185 0	+210 0	+230 0
H11	+75 0	+90 0	+110 0	+130 0	+160 0	+190 0	+210 0	+250 0	+290 0	+320 0	+360 0
H12	+120 0	+150 0	+180 0	+210 0	+250 0	+300 0	+350 0	+400 0	+460 0	+520 0	+570 0
H13	+180 0	+220 0	+270 0	+330 0	+390 0	+460 0	+540 0	+630 0	+720 0	+810 0	+890 0
J7	+6 -6	+8 -7	+10 -8	+12 -9	+14 -11	+18 -12	+22 -13	+26 -14	+30 -16	+36 -16	+39 -18
K6	+2 -6	+2 -7	+2 -9	+2 -11	+3 -13	+4 -15	+4 -18	+4 -21	+5 -24	+5 -27	+7 -29
K7	+3 -9	+5 -10	+6 -12	+6 -15	+7 -18	+9 -21	+10 -25	+12 -28	+13 -33	+16 -36	+17 -40
M7	0 -12	0 -15	0 -18	0 -21	0 -25	0 -30	0 -35	0 -40	0 -46	0 -52	0 -57
N7	-4 -16	-4 -19	-5 -23	-7 -28	-8 -33	-9 -39	-10 -45	-12 -52	-14 -60	-14 -66	-16 -73

## Arbres en mm – Ecart en micromètres

	3 6	6 10	10 18	18 30	30 50	50 80	80 120	120 180	180 250	250 315	315 400
f8	-10 -28	-13 -35	-16 -43	-20 -53	-25 -64	-30 -76	-36 -90	-43 -106	-50 -122	-56 -137	-62 -151
g6	-4 -12	-5 -14	-6 -17	-7 -20	-9 -25	-10 -29	-12 -34	-14 -39	-15 -44	-17 -49	-18 -54
h5	0 -5	0 -6	0 -8	0 -9	0 -11	0 -13	0 -15	0 -18	0 -20	0 -23	0 -25
h7	0 -12	0 -15	0 -18	0 -21	0 -25	0 -30	0 -35	0 -40	0 -46	0 -52	0 -57
h8	0 -18	0 -22	0 -27	0 -33	0 -39	0 -46	0 -54	0 -63	0 -72	0 -81	0 -89
h9	0 -30	0 -36	0 -43	0 -52	0 -62	0 -74	0 -87	0 -100	0 -115	0 -130	0 -140
h11	0 -75	0 -90	0 -110	0 -130	0 -160	0 -190	0 -220	0 -250	0 -290	0 -320	0 -360
h13	0 -180	0 -220	0 -270	0 -330	0 -390	0 -460	0 -540	0 -630	0 -720	0 -810	0 -890
j6	+6 -2	+7 -2	+8 -3	+9 -4	+11 -5	+12 -7	+13 -9	+14 -11	+16 -13	+16 -16	+18 -18
js5	+2,5 -2,5	+3 -3	+4 -4	+4,5 -4,5	+5,5 -5,5	+6,5 -6,5	+7,5 -7,5	+9 -9	+10 -10	+11,5 -11,5	+12,5 -12,5
js9	+15 -15	+18 -18	+21 -21	+26 -26	+31 -31	+37 -37	+43 -43	+50 -50	+57 -57	+66 -66	+70 -70
js11	+37 -37	+45 -45	+55 -55	+65 -65	+80 -80	+95 -95	+110 -110	+125 -125	+145 -145	+160 -160	+180 -180
k6	+9 +1	+10 +1	+12 +1	+15 +2	+18 +2	+21 +2	+25 +3	+28 +3	+33 +4	+36 +4	+40 +4
m6	+12 +4	+15 +6	+18 +7	+21 +8	+25 +9	+30 +11	+35 +13	+40 +15	+46 +17	+52 +20	+57 +21
n6	+16 +8	+19 +10	+23 +12	+28 +15	+33 +17	+39 +20	+45 +23	+52 +27	+60 +31	+66 +34	+73 +37
p6	+20 +12	+24 +15	+29 +18	+35 +22	+42 +26	+51 +32	+59 +37	+68 +43	+79 +50	+88 +56	+98 +62

## Etats de surface

### Rugosité

La rugosité caractérise l'état de surface d'une pièce. On distingue :

**R<sub>p</sub>** : Profondeur moyenne de rugosité. Moyenne arithmétique des valeurs de l'ordonnée y de tous les points du profil sur une longueur de base L.




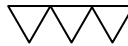

**R<sub>a</sub>** : Écart moyen arithmétique. Moyenne arithmétique des valeurs absolues de l'ordonnée y' (entre chaque point de la courbe et l'axe Ox').

R<sub>p</sub> et R<sub>a</sub> s'expriment en micromètres.

Rugosité de surfaces brutes :

- ✓ Estampage :  $R_a / R \ 12,5 / 40 - 3,2 / 10 - (1,6 / 4)$
- ✓ Forgeage :  $R_a / R \ 3,2 / 10$
- ✓ Laminage à froid (sur cuivre) :  $R_a \ 0,6 \text{ à } 0,08\mu\text{m} / R_{max} = 1,0 \text{ à } 1,5\mu\text{m}$
- ✓ Rugosité de surfaces usinées :
  - Alésage :
    - outil acier rapide  $R_a / R \ (6,3 / 16) - 3,2 / 10 - 1,6 / 4 - (0,8 / 2)$
    - outil carbure ou diamant  $R_a / R \ (3,2 / 10)' - 1,6 / 4 - 0,8 / 2 - (0,4 / 1)$
    - à l'alésoir  $R_a / R \ (6,3 / 16) - 3,2 / 10 - 0,8 / 2 - (0,4 / 1)$
  - Tournage :
    - outil acier rapide  $R_a / R \ (12,5 / 40) - 6,3 / 16 - 1,6 / 4 - (0,8 / 2)$
    - outil carbure ou diamant  $R_a / R \ (3,2 / 10) - 3,2 / 10 - 0,4 / 1 - (0,4 / 1)$

### Ancienne norme

N	N <sup>10</sup>	N <sup>9</sup>	N <sup>8</sup>	N <sup>7</sup>	N <sup>6</sup>	N <sup>5</sup>	N <sup>4</sup>	N <sup>3</sup>	N <sup>2</sup>
<b>R<sub>p</sub> microns</b>	45	25	15	8	4	2			
<b>R<sub>a</sub> microns</b>	12,5	6,3	3,2	1,6	0,8	0,4	0,2	0,1	0,05
<b>R<sub>a</sub> micro- inch</b>	500/√	250/√	125/√	63/√	32/√	15/√	8/√	4/√	2/√
									

Cette norme était pratique dans les ateliers, car avec les triangles on reconnaissait immédiatement quel était la qualité d'usinage requise.

La nouvelle norme est plus difficilement compréhensible, d'autant qu'il n'y a pas de moyen simple de mesure de la rugosité.

**Nouvelle norme**

Symboles de base		Indications de l'état de surface	
Surface prise en considération. Ce symbole ne signifie aucune exigence pour l'état de surface	✓	L'état de surface Ra de limite supérieure 6,3µm peut être obtenu par un procédé d'élaboration quelconque	✓ Ra6,3
Surface à usiner par enlèvement de matière, sans spécification d'exigence pour l'état de surface	▽	L'écart moyen arithmétique du profil Ra doit être compris entre une limite supérieure de 6,3µm et une limite supérieure de 1,6 µm	✓ Ra6,3 Ra1,6
Surface où l'enlèvement de matière est interdit, sans spécification d'exigence pour l'état de surface	⌒	L'état de surface Ra de limite supérieure 3,2 µm doit obligatoirement être obtenu par usinage	▽ Ra3,2
Surface avec spécification d'exigence complémentaire pour l'état de surface	✓	L'état de surface Ra de limite supérieure 0,8 µm doit être obtenu par un procédé sans enlèvement de matière	⌒ Ra0,8
L'état de surface est le même pour toutes les surfaces de la pièce	⌒	L'état de surface doit respecter deux paramètres de rugosité : Ra limite supérieure à 0,8 µm, Rz limite inférieure 6,3 µm	√ U Ra0,8 L Rz6,3
		La profondeur moyenne d'ondulation du profil W doit être au maximum de 0,3 µm	√ W0,3

**Techniques de fabrication en fonction de l'état de surface**

Pour reconnaître plus facilement quels sont les types d'usinage requis nous donnons ici un tableau en 2 parties : sans et avec enlèvement de matière.

		Ra en µ	50	25	12,5	6,3	3,2	1,6	0,8	0,4	0,2	0,1	0,05	0,025
Rugosités obtenues par finis naturels et usinages sans enlèvement de matière	Brunissage													
	Estampage													
	Forgeage													
	Grenaillage													
	Laminage	Filage. Ext. À ch.												
		Tréfil. Etir. À fr.												
	Matriçage	A chaud												
		A froid												
	Moulage	Sable												
		Cire perdue												
		Coq. Par gravité												
		Coq. sous pression												
	Sablage													
Signes de façonnage			~	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽

		Ra en $\mu$	50	25	12,5	6,3	3,2	1,6	0,8	0,4	0,2	0,1	0,05	0,025
Rugosités obtenues par usinages avec enlèvement de matière	Alésage	outil acier												
		carbure ou diamant												
		alésoir												
	Brochage													
	Découpage (presse )													
	Electro-érosion													
	Fraisage	en bout												
		en roulant												
	Grattage													
	Limage (traits croisés et paral.)													
	Meulage	à main												
		à disque												
		électrolytique												
	Mortaisage													
	Oxycoupage													
	Perçage au foret													
	Polissage	mécanique												
		électrolytique												
	Rabotage													
	Rectification	cylindrique												
		plane												
		diamant												
	Rodage	à la pierre												
		au rodoir												
	Sciage													
	Superfinition													
	Taillage	fraise module												
		fraise mère												
	Tournage	outil acier												
		carbure ou diamant												

	Valeurs usuelles
	Valeurs exceptionnelles

## Symboles

Parfois la valeur de rugosité est complété :

- par un indice fonction ; *exemple ED-FG : surface d'étanchéité dynamique et de frottement ;*
- par un indice de procédé ; *exemple rd : rodage.*



Fonctions	Symboles	Fonctions	Symboles
Frottement de glissement.....	<b>FG</b>	Assemblage fixe avec contraintes.....	<b>AC</b>
Frottement de roulement.....	<b>FR</b>	Adhérence (collage).....	<b>AD</b>
Frottement fluide.....	<b>FF</b>	Dépôt électrolytique.....	<b>DE</b>
Résistance au matage.....	<b>RM</b>	Mesure.....	<b>ME</b>
Étanchéité dynamique.....	<b>ED</b>	Revêtement (peinture).....	<b>RE</b>
Étanchéité statique.....	<b>ES</b>	Résistance aux efforts alternés.....	<b>EA</b>
Assemblage fixe (contraintes faibles)	<b>AF</b>	Outils coupants (arête).....	<b>OC</b>

Procédés	Symboles	Procédés	Symboles
Alésage.....	<b>al</b>	Laminage à chaud.....	<b>lac</b>
Brochage.....	<b>br</b>	Laminage à froid.....	<b>laf</b>
Découpage.....	<b>de</b>	Matriçage.....	<b>ma</b>
Dressage.....	<b>dr</b>	Meulage.....	<b>me</b>
Electro-érosion.....	<b>ée</b>	Moulage coquille.....	<b>moc</b>
Electro-formage.....	<b>éf</b>	Moulage sable.....	<b>mos</b>
Electro-polissage.....	<b>ep</b>	Perçage.....	<b>pe</b>
Estampage.....	<b>es</b>	Pierrage.....	<b>pi</b>
Etincelage.....	<b>ei</b>	Polissage.....	<b>po</b>
Etirage.....	<b>et</b>	Rabotage.....	<b>rb</b>
Filetage.....	<b>fl</b>	Rectification cylindrique.....	<b>rcc</b>
Fraisage en bout.....	<b>frb</b>	Rectification plane.....	<b>rcp</b>
Fraisage en roulant.....	<b>frr</b>	Rodage.....	<b>rd</b>
Forgeage.....	<b>fo</b>	Sablage humide.....	<b>sah</b>
Galetage.....	<b>ga</b>	Sablage à sec.....	<b>sas</b>
Grattage.....	<b>gr</b>	Sciage.....	<b>sc</b>
Grenaillage angulaire.....	<b>gna</b>	Superfinition.....	<b>sf</b>
Grenaillage sphérique.....	<b>gns</b>	Tournage.....	<b>to</b>
Lamage.....	<b>lm</b>		

## Maintenance

En Mécanique, pour une bonne maintenance des équipements, il y a trois procédés à respecter :

- ➔ **Serrer** correctement avec toutes les précautions nécessaires pour éviter les desserrages.
- ➔ Respecter les **tolérances ISO** (jeu – serrage).
- ➔ **Graisser** correctement en quantité et en qualité.

Malheureusement, pour le deuxième point on constate trop souvent qu'en maintenance on ne respecte pas assez les indications d'un plan. D'ailleurs beaucoup de services de maintenance n'ont pas les tableaux des tolérances ISO.

On constate aussi que de plus en plus de jeunes techniciens sortis de l'école avec un diplôme technique connaissent à peine ces tolérances (parfois pas du tout), alors qu'il y a trois ou quatre décennies tout titulaire d'un CAP les connaissait.

**C'est très dommageable**, car ce sont les durées de vie des équipements qui en pâtissent.

# Normes de maintenance

## Concepts de maintenance

- NF EN 13306 - Juin 2001 : Terminologie de la maintenance
- FD X 60-000 - Mai 2002 : Maintenance industrielle - Fonction maintenance
- NF X 60-012 - Août 2006 - Remplace FD X 60-012 d'avril 2006 : Maintenance - Termes et définitions des éléments constitutifs et de leurs approvisionnements
- NF EN 15341 - Juin 2007 - Remplace XP X 60-020 d'août 1995 : Maintenance - Indicateurs de performances clés pour la maintenance

## Contrats de maintenance

- X 60-101 - Décembre 1981 : Règles de l'appel d'offres pour un contrat privé de maintenance
- X 60-104 - Décembre 1982 : Cahier des clauses administratives particulières - Types applicables aux contrats de maintenance de certains matériels ou équipements
- X 60-600 - Février 1988 : Logistique de soutien - Clauses contractuelles, moyens et prestations de soutien logistique
- X 60-150 - Décembre 1994 : Maintenance industrielle - Questionnaire-type d'évaluation préliminaire d'une entreprise prestataire en maintenance
- FD X 60-090 - Décembre 1995 : Maintenance - Critères de choix du type de contrat de maintenance - Contrat de moyens - Contrats de résultats
- FD X 60-008 - Août 2002 : Maintenance industrielle - Projet d'externalisation de la maintenance - Démarche pré-contractuelle
- NF EN 13269 - Novembre 2006 - Remplace XP ENV 13269 d'août 2001 : Maintenance - Lignes directrices pour la préparation des contrats de maintenance
- FD X 60-100 - Mars 2007 - Remplace NF X 60-100 de décembre 1981 : Maintenance - Préalables aux contrats de maintenance - Inventaires et expertise d'états de biens

## Documentation

- X 60-250 (Novembre 1983) : Maintenance - Fonction "documentation technique utilisateur" - Recommandations pour sa mise en place ou son organisation chez les constructeurs de biens d'équipement
- NF EN ISO 3952-1 (Mai 1995) - NF EN ISO 3952-1/A1 (Novembre 2004) : Schémas cinématiques - Symboles graphiques - Partie 1
- NF EN ISO 3952-2 (Mai 1995) : Schémas cinématiques - Symboles graphiques - Partie 2
- NF EN ISO 3952-3 (Mai 1995) : Schémas cinématiques - Symboles graphiques - Partie 3

- XP X 50-435 (Septembre 1995) : Management des systèmes - Gestion documentaire - Concepts généraux
- NF EN ISO 2203 (Février 1998) : Dessins techniques - Représentation conventionnelle des engrenages
- NF EN 13460 (Avril 2003) : Maintenance - Documents pour la maintenance
- FD X 60-212 (Août 2006) - Remplace NF X 60-212 de novembre 1983 : Maintenance - Référentiel des instructions de maintenance - Définitions et principes généraux de rédaction et de présentation
- NF X 60-200 (Avril 2008) : Maintenance - Documentations techniques associées à un bien tout au long de son cycle de vie

### **Disponibilité**

- X 60-503 (Novembre 1985) : Introduction à la disponibilité
- X 60-520 (Mai 1988) : Prévisions des caractéristiques de fiabilité, maintenabilité et disponibilité

### **Fiabilité**

- X 06-501 (Septembre 1984) : Applications de la statistique - Introduction à la fiabilité
- X 60-502 (Décembre 1986) : Fiabilité en exploitation et après-vente
- X 60-500 (Octobre 1988) : Terminologie relative à la fiabilité - Maintenabilité – Disponibilité
- X 60-520 (Mai 1988) : Prévisions des caractéristiques de fiabilité, maintenabilité et disponibilité
- NF EN 60812 (Août 2006) - remplace X 60-510 de décembre 1986 : Techniques d'analyse de la fiabilité du système - Procédure d'analyse des modes de défaillance et de leurs effets (AMDE)

### **Maintenabilité**

- X 60-301 (Mai 1982) : Guide pour la prise en compte des critères (Maintenabilité des biens durables à usage industriel et professionnel)
- X 60-310 (Novembre 1986) : Guide de Maintenabilité de matériel : Introduction, exigences et programme
- X 60-313 (Mai 2000) : Guide de Maintenabilité de matériel : planification de la maintenance et de la logistique de maintenance
- X 60-314 (Mai 2000) : Guide de Maintenabilité de matériel : essais pour diagnostic
- X 60-315 (Mai 2000) : Guide (Maintenabilité de matériel - Partie 6 : section 9 : méthodes statistiques pour l'évaluation de la maintenabilité
- NF EN 60706-2 (Septembre 2006) - remplace X 60-311 de février 1991 : Maintenabilité pendant la phase de conception et de développement
- NF EN 60706-3 (Octobre 2006) - Remplace X 60-312 de mai 1988 : Maintenabilité de matériel : vérification et recueil, analyse et présentation de données

## **Durabilité**

- NF EN 60300-1 (Décembre 2004) : Gestion de la sûreté de fonctionnement - Partie 1 : gestion du programme de sûreté de fonctionnement
- NF X 50-501 (Septembre 2007) - Remplace X 50-501 de février 1982 : Maintenance - États de référence des biens : vocabulaire des activités de rénovation et de reconstruction

# Lois et valeurs physiques

	Page
Unités de mesure.....	520 .
Densités.....	526
Températures.....	529
Dilatations.....	530
Informations techniques diverses.....	532
Algèbre et géométrie.....	540
Duretés.....	546
Propriétés des différents métaux.....	547 ..
Production de vapeur d'eau.....	553 ..
NPSH et hauteur manométrique.....	557

# Unités de mesure

## Tableau des unités légales

### Grandeurs de base

Longueur.....	<b>mètre</b> (m) – micron ( $\mu$ ) – kilomètre (km)
Masse.....	<b>kilogramme</b> (kg) – tonne (t) – carat métrique
Temps.....	<b>seconde</b> (s) – minute (mn) – heure (h) – jour (j)
Intensité de courant électrique.....	<b>ampère</b> (A)
Température.....	<b>degré Kelvin</b> ( $^{\circ}\text{K}$ ) – degré Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ )
Intensité lumineuse.....	<b>candela</b> (cd)

### Grandeurs géométriques dérivées

Aire ou surface.....	<b>mètre carré</b> ( $\text{m}^2$ ) – are (a)
Volume.....	<b>mètre cube</b> ( $\text{m}^3$ ) – litre (l) – stère (st)
Angle plan.....	<b>radian</b> (rd ou rad) – tour (tr) – grade (gr) – degré ( $^{\circ}$ ) – minute ( $'$ ) – seconde ( $''$ )
Angle solide.....	<b>stéradian</b> (sr)

### Grandeurs massiques dérivées

Masse volumique.....	<b>kilogramme par mètre cube</b> $\text{Kg}/\text{m}^3$ gramme par centimètre cube ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )
Titre alcoométrique.....	<b>degré alcoométrique centisémal</b> ( $^{\circ}\text{GL}$ )

### Grandeur dérivée du temps

Fréquence.....	<b>Hertz</b> (Hz)
----------------	-------------------

### Grandeurs mécaniques et calorifiques

Vitesse.....	<b>mètre par seconde</b> (m/s) – nœud
Accélération.....	<b>mètre par seconde par seconde</b> ( $\text{m}/\text{s}^2$ )
Force.....	<b>newton</b> (N) – dyne (dyn)
Travail et énergie.....	<b>joule</b> (J) – erg - watt-heure (Wh) –elect.volt (eV)
Quantité de chaleur.....	<b>joule</b> (J) – calorie (cal) – thermie (th) – frigorie (fg)
Puissance.....	<b>watt</b> (W) – erg par seconde
Contrainte et pression.....	<b>pascal</b> (Pa) – bar (bar) – barye ( $\text{dyn}/\text{cm}^2$ )
Viscosité dynamique.....	<b>poiseuille</b> (Pl) – poise (Po)
Viscosité cinématique.....	<b>poiseuille</b> ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) – stokes (St)

### Grandeurs électriques dérivées

Fem, différence de potentiel.....	<b>volt</b> (V)
Résistance.....	<b>ohm</b> ( $\Omega$ )
Quantité d'électricité.....	<b>coulomb</b> (C) – ampère-heure (Ah)
Capacité électrique.....	<b>Farad</b> (F)
Inductance électrique.....	<b>henry</b> (H)
Flux magnétique.....	<b>weber</b> (Wb) – maxwell (M)
Induction magnétique.....	<b>tesla</b> (T) – gauss (G)

### Grandeurs optiques dérivées

Flux lumineux.....	<b>lumen</b> (lm)
Eclairement.....	<b>lux</b> (lx) – phot (ph)
Luminance.....	<b>candela par mètre carré</b> ( $\text{cd}/\text{m}^2$ )
Vergence des systèmes optiques.....	<b>dioptrie</b> (d)

### Grandeurs de la radioactivité

Activité nucléaire..... curie (Ci)

Quantité de rayonnement..... roentgen (R)

### Multiples et sous-multiples décimaux

Multiples		
Facteur de multiplication	Préfixe	Symbole
$10^{12} = 1\,000\,000\,000\,000$ .....	téra	T
$10^9 = 1\,000\,000\,000$ .....	giga	G
$10^6 = 1\,000\,000$ .....	méga	M
$10^3 = 1\,000$ .....	kilo	k
$10^2 = 100$ .....	hecto	h
$10^1 = 10$ .....	déca	da

Sous-multiples		
Facteur de multiplication	Préfixe	Symbole
$10^{-1} = 0,1$ .....	déci	d
$10^{-2} = 0,01$ .....	centi	c
$10^{-3} = 0,001$ .....	milli	m
$10^{-6} = 0,000\,001$ .....	micro	$\mu$
$10^{-9} = 0,000\,000\,001$ .....	nano	n
$10^{-12} = 0,000\,000\,000\,001$ .....	pico	p
$10^{-15} = 0,000\,000\,000\,000\,001$ .....	femto	f
$10^{-18} = 0,000\,000\,000\,000\,000\,001$	atto	a

## Conversion des mesures françaises

- acre** : 1 acre = 4 047 m<sup>2</sup>, 40,47 a, 4 840 sq.yd.
- ampère-heure** : 1 Ah = 3 600 C.
- ampère par mètre** : 1 A/m = (4π/1 000) oersted.
- angle droit** : 1 L = π/2 rad, 1,570 796 rad, 100 gr, 90°, 540', 32 400".
- angström** : 1 Å = 10<sup>-7</sup> mm, 10<sup>-4</sup> μ.
- are** : 1 a = 100 m<sup>2</sup>, 0,02471 acre.
- atmosphère ou pression atmosphérique normale** : 1 atm = 101 325 Pa, 1,013250 bar (ou hpz), 760 mm Hg, 10 332,2 mm CE, 1,033228 kgf/cm<sup>2</sup> ou kg/cm<sup>2</sup>, 14,696 psi.
- bar** : 1 bar = 100 000 Pa, 1 hpz, 1,0197 kgf/cm<sup>2</sup> ou kg/cm<sup>2</sup>, 750,06 mm HG, 10 197 mm CE, 14,504 psi, 29,53 in.Hg.
- barrel** (pour raffinage) : 1 barrel = 0,15898 m<sup>3</sup>, 158, 984 l, 5,6145 cu.ft, 42 gal (USA), 39,97 gal (U.K.).
- barye** : 1 barye = 0,1 Pa, 1 dPa, 1 dyn/cm<sup>2</sup>, 1 μbar.
- bel** : 1 dB = 0,115 Np.
- biot** : 1 Bi = 10 A.
- calorie** : 1 cal = 4,1855 J, 0,42686 kg.m, 10<sup>-6</sup> th, 1 kcal = 3,967 Btu.
- calorie par heure** : 1 cal/h = 0,001163 W, 1 kcal/h = 1,163 W.
- calorie par seconde** : 1 cal/s = 4,1855 W, 0,4268 kg.m/s.
- carat** : 1 carat = 0,2 g, 2dg.
- cheval-heure** : 1 ch.h = 0,7355 kWh.
- cheval-vapeur** : 1 ch = 0,7355 kW, 75 kg.m/s, 0,987 HP.
- coulomb** : 1 C = 1/3 600 Ah, 10<sup>10</sup>/3,33563 Fr.
- degré d'angle** : 1° = π/180 rd, 1,111 gr, 60', 3 600 ".
- degré de température** : T°K = t°C + 273,16, t°C =  $\frac{5}{9}(t^{\circ}\text{F} - 32)$
- degré Baumé** : si D est la densité du liquide et n le nombre de degrés Baumé, on a les 2 relations suivantes :
- pour un liquide moins dense que l'eau :  $D = \frac{144,32}{134,32 + n}$
- pour un liquide plus dense que l'eau :  $D = \frac{144,32}{144,32 - n}$
- dyne** : 1 dyn = 10<sup>-5</sup> N, 10μN, 10<sup>-8</sup>sn, 10 nsn.
- électron-volt** : 1 eV = 1,59 x 10<sup>-19</sup> J.
- erg** : 1 erg = 10<sup>-7</sup> J, 0,1 μJ.
- franklin** : 1 Fr = 333,563 pC.
- gal** : 1 Gal = 0,01 m/s<sup>2</sup>.
- gauss** : 1 G ou Ga = 0,1 mT.
- gilbert** : 1 gilbert = (10/4 π)A.
- grade** : 1 gr = (π/200) rad, 0,01508 rad, 0°54'0".
- grain** : 1 gr = 0,064799 g.
- gramme-force ou gramme-poids** : 1 gf ou gp (ou g) = 0,009806 N.
- gramme par centimètre carré** : 1 gf/cm<sup>2</sup> ou gp/cm<sup>2</sup> (ou g/cm<sup>2</sup>) = 98,0665 Pa, 10 mm CE, 0,736 mm Hg, 0,98066 mbar.
- gramme par centimètre cube** : 1 g/cm<sup>3</sup> = 1 000 kg/m<sup>3</sup>, 1 kg/dm<sup>3</sup> ou kg/l, 1 t/M<sup>3</sup>.
- hertz** : 1 Hz = 1 période par seconde.



**heure** : 1 h = 60 mn ou min, 3 600 s.

**joule** : 1 J = 0,0002778 W.h, 0,101972 kg.m, 0,23892 cal,  $10^7$  erg, 0,737609 ft.lb.

**jour** : 1 j = 24 h, 86400 s.

**kilogramme** : 1 kg = 2,20462 lb.

**kilogramme par centimètre carré** :  $1 \text{ kgf/cm}^2 = 98065,5 \text{ Pa ou N/m}^2$ , 0,980665 bar ou hpz, 0,967841 atm, 10 000 mm CE, 14,223 psi, 735,5576 mm Hg.

**kilogramme par mètre cube** :  $1 \text{ kg/m}^3 = 0,001 \text{ g/cm}^3$ .

**kilogramme-force ou kilogramme-poids** : 1 kgf ou kgp = 9,80665 N, 2,204623 lbf.

**kilogrammètre** : 1 kgm = 9,80665 J, 0,002724 Wh, 7,233 ft.lb.

**kilogrammètre par seconde** :  $1 \text{ kgm/s} = 9,80665 \text{ W}$ .

**kilomètre par heure** :  $1 \text{ kgm/h} = 0,27777 \text{ m/s}$ , 0,62137 mph.

**litre** : 1 l =  $1 \text{ dm}^3$ ,  $1\,000 \text{ cm}^3$ .

**lux** : 1 lx = 100  $\mu$ ph.

**maxwell** : 1 M (ou Mx) = 10 nWb.

**mètre** : 1 m = 1,09361 yd, 3,28083 ft, 39,37 in.

**mètre carré** :  $1 \text{ m}^2 = 1\,550 \text{ sq.in}$ , 10,7639 sq.ft, 1,19599 sq.yd.

**mètre carré par seconde** :  $1 \text{ m}^2 / \text{s} = 10^6 \text{ cSt}$ .

**mètre cube** :  $1 \text{ m}^3 = 1\,000 \text{ dm}^3$  ou l, 35,3147 cu.ft, 1,30795 cu.yd, 28,368 bushel (USA), 27,496 bushel (UK), 6,290 barrel, 0,8828 shipping ton, 0,3531 registered ton.  
 $1 \text{ dm}^3$  ou l = 61,024 cu.in, 0,0353 cu.ft, 1,057 liq.quart (USA), 0,908 dry quart (USA), 0,8799 quart (UK).

**mètre par seconde** :  $1 \text{ m/s} = 3,6 \text{ km/h}$ .

**mètre par seconde par seconde** :  $1 \text{ m/s}^2 = 100 \text{ Gal}$ .

**micron** :  $1 \mu = 0,001 \text{ mm}$ ,  $10^{-6} \text{ m}$ ,  $10^4 \text{ Å}$ .

**millimètre de colonne d'eau** : 1 mm CE = 9,80665 Pa,  $10^{-4} \text{ kg/cm}^2$ , 0,07361 mmHg.

**millimètre de mercure** : 1 mm Hg = 133,322 Pa, 13,59 mm CE, 1/760 atm, 1,357465 g/cm<sup>2</sup>.

**minute d'angle** :  $1' = 60''$ , 0,01851 gr, 0,000290 rad.

**minute de temps** : 1 mn (ou min) = 60 s.

**neper** : 1 Np = 8,69 dB.

**newton** : 1 N = 0,001 sn, 1 msn,  $10^5 \text{ dyn}$ , 100 kdyn, 0,101971 kgf, 7,233 pdl, 0,2248 lbf.

**nœud** : 1 nœud = 15,43 m (1/120 de mille marin), 0,999361 knot (UK)  
 correspond à 1 mille/h ou 0,514 m/s.

**oersted** : 1 oersted =  $(1000/4\pi) \text{ A/m}$ .

**pascal** : 1 Pa ou N/m<sup>2</sup> = 10  $\mu$ bar, 10 baryes, 1 mpz, 0,0075 mm Hg, 0,10197 mm CE, 0,000145 psi, 0,004015 in.H<sub>2</sub>O, 0,010197 g/cm<sup>2</sup>.  
 $1 \text{ daPa} = 0,10197 \text{ g/cm}^2$ , 1 Mpa = 10 bar.

**phot** : 1 ph =  $10^4 \text{ lx}$ .

**pièze** : 1 pz =  $10^3 \text{ Pa}$ , 1 kPa,  $10^4 \text{ baryes}$ , 10,197 g/cm<sup>2</sup>, 0,01 bar, 10 mbar, 101,97 mmCE, 7,5006 mm Hg.

**poise** : 1 Po = 0,1 Pl.

**poiseuille** : 1 Pl = 10 Po.

**poncelet** : 1 poncelet = 100 kg.m/s.

**quintal** : 1 q = 100 kg.

**radian** : 1 rd ou rad =  $200/\pi$  ou 63,663 gr.

**seconde d'angle** :  $1'' = 1/60'$ ,  $1/3600^\circ$ .  
**seconde de temps** :  $1\text{ s} = 1/60\text{ mn}$ ,  $1/3600\text{ h}$ .  
**spat** :  $1\text{ sp} = 4\pi\text{ sr}$ .  
**stère** :  $1\text{ st} = 1\text{ m}^3$ .  
**sthène** :  $1\text{ sn} = 1\,000\text{ N}$ ,  $1\text{ kN}$ .  
**stilb** :  $1\text{ sb} = 10\,000\text{ cd/m}^2$ .  
**stoke** :  $1\text{ St} = 1/10\,000\text{ m}^2/\text{s}$ .  
**tesla** :  $1\text{ T} = 10\,000\text{ Gs}$ .  
**thermie** :  $1\text{ th} = 1\,000\text{ kcal}$ ,  $10^6\text{ cal}$ ,  $4,1855 \times 10^6\text{ J}$ ,  $1,1626\text{ kW.h}$ ,  $3\,967\text{ Btu}$ .  
**tonne** :  $1\text{ t} = 1\,000\text{ kg}$ ,  $10^6\text{ g}$ .  
**tonne par mètre cube** :  $1\text{ t/m}^3 = 1\,000\text{ kg/m}^3$ ,  $1\text{ g/cm}^3$ .  
**tonneau** :  $1\text{ tonneau} = 2,83168\text{ m}^3$ ,  $1\text{ registered ton}$ .  
**tout par minute** :  $1\text{ tr/mn} = 2\pi/60$ ,  $0,104719\text{ rd/s}$ .  
**var** :  $1\text{ var} = 1\text{ VA}$ .  
**watt** :  $1\text{ W} = 1\text{ J/s}$ ,  $10^7\text{ erg/s}$ ,  $0,101972\text{ Kg.m/s}$ ,  $0,86011\text{ kcal/h}$ ,  $0,7376\text{ lb/s}$ .  
 $1\text{ kW} = 0,23892\text{ kcal/s}$ ,  $1,3596\text{ ch}$ ,  $1,341\text{ HP}$ .  
**watt-heure** :  $1\text{ W.h} = 3\,600\text{ J}$ ,  $367,098\text{ kg.m}$ ,  $1\text{ kWh} = 860\text{ kcal}$ ,  $1,359\text{ ch-h}$ .  
**Weber** :  $1\text{ Wb} = 10^8\text{ M}$ .

## Conversion des mesures anglo-saxonnes

**british thermal unit** :  $1\text{ Btu} = 1055,06\text{ J}$ ,  $0,2521\text{ kcal}$ .  $1\text{ Btu/lb} = 0,55573\text{ kcal/kg}$ .  
 $1\text{ Btu/cu.ft} = 8,90195\text{ kcal/m}^3$ .  
**bushel (UK)** :  $1\text{ bu (UK)} = 36,3677\text{ l}$ ,  $1,284315\text{ cu.ft}$ .  
**bushel (USA)** :  $1\text{ bu (USA)} = 35,2383\text{ l}$ ,  $1,244430\text{ cu.ft}$ .  
**cubic foot** :  $1\text{ cu.ft} = 28,317\text{ dm}^3\text{ ou l}$ ,  $1\,728\text{ cu.in}$ .  
**cubic foot per pound** :  $1\text{ cu.ft/lb} = 0,062428\text{ m}^3/\text{kg}$ .  
**cubic inch** :  $1\text{ cu.in} = 16,387\text{ cm}^3$ .  
**cubic inch per pound** :  $1\text{ cu.in/lb} = 36,137\text{ cm}^3/\text{kg}$ .  
**cubic yard** :  $1\text{ cu.yd} = 0,764555\text{ m}^3$ ,  $27\text{ cu.ft}$ ,  $43656\text{ cu.in}$ .  
**foot** :  $1\text{ ft} = 304,8\text{ mm}$ ,  $12\text{ in}$ .  
**foot of water** :  $1\text{ ft.H}_2\text{O} = 2\,989\text{ Pa}$ ,  $304,8\text{ mm CE}$ ,  $12\text{ in. H}_2\text{O}$ .  
**foot-pound** :  $1\text{ ft.lb} = 1,35573\text{ J}$ ,  $0,138245\text{ kg.m}$ .  
**foot-pound per second** :  $1\text{ ft.lb/sec} = 1,356\text{ W}$ .  
**gallon (UK)** :  $1\text{ gal (UK)} = 4,54596\text{ dm}^3\text{ ou l}$ ,  $277,41\text{ cu.in}$ ,  $1,201\text{ gal (USA)}$ ,  $4\text{ quart (UK)}$ ,  
 $8\text{ pt (USA)}$ .  
**gallon (USA)** :  $1\text{ gal (USA)} = 3,78533\text{ dm}^3\text{ ou l}$ ,  $231\text{ cu.in}$ ,  $0,8327\text{ gal (UK)}$ ,  $4\text{ liq.quart (USA)}$ ,  
 $8\text{ liq.pt (USA)}$ .  
**horse-power** :  $1\text{ HP} = 0,7457\text{ kW}$ ,  $1,0139\text{ ch}$ .  
**horse-power-hour** :  $1\text{ HP-h} = 2\,684,5\text{ kJ}$ ,  $2\,544,4\text{ B.t.u}$ .  
**hundredweight** :  $1\text{ cwt} = 50,802\text{ kg}$ ,  $112\text{ lb}$ ,  $1/20\text{ ton ou long ton}$ .  
**short hundredweight** :  $1\text{ sh.cwt} = 45,359\text{ kg}$ ,  $100\text{ lb}$ ,  $1/20\text{ sh.ton}$ .  
**inch (pluriel : inches)** :  $1\text{ in} = 25,4\text{ mm}$ .  
**inch of water** :  $1\text{ in H}_2\text{O} = 289,089\text{ Pa}$ .

**inch of mercury** : 1 in Hg = 3 386,39 Pa.

**knot (UK)** : 1 kn (UK) = 1 nautical mile /h, 1,853 184 Km/h, 0,514 772 m/s, 1,000 639 nœud.

**mile (nautical UK)** : 1 mile = 1 853,184 m, 1,000 630 mille marin international, 6 080 ft.

**mile (statute)** : 1 mile = 1 609,344 m, 1 760 yd.

**mile per hour** : 1 m.p.h. = 1,609 344 Km/h.

**mile per gallon** : 1 m.p.g. (USA) = 235,2 l/100km. 1 m.p.g. (UK) = 282,5 l/100km.

**mille (marin, international)** : 1 mille = 1 852 m, 0,999 4 nautical mile UK.

**ounce** : 1 oz = 28,349 g.

**fluid ounce (UK)** : 1 fl.oz (UK) = 28,412 cm<sup>3</sup>.

**fluid ounce (USA)** : 1 fl.oz (USA) = 29,573 cm<sup>3</sup>.

**pint (UK)** : 1 pt (UK) = 0,568 l, 34,676 cu.in.

**liquid pint (USA)** : 1 liq.pt. (USA) = 0,473 l, 28,874 cu.in.

**pound** : 1 lb = 453,592 g, 16 oz.

**pound-force** : 1 lbf = 4,448 22 N, 453,6 gf, 32,174 pdl.

**pound per cubic foot** : 1 lb/cu.ft. = 16,018 kg/m<sup>3</sup>.

**pound (force) per square inch** : 1 lbf/sq.in. ou **psi** = 0,068 947 bar.

**poundal** : 1 pdl = 0,138 255 N.

**quart (UK)** : 1 quart (UK) = 1,136 49 l, 69,352 7 cu.in.

**dry quart (USA)** : 1 dry quart (USA) = 1,101 l, 67,199 cu.in.

**liquid quart (USA)** : 1 liq.quart (USA) = 0,946 3 l, 57,746 cu.in, 2 liq.pints.

**square foot** : 1 sq.ft. = 929,031 cm<sup>2</sup>. 144 sq.in.

**square inch** : 1 sq.in. = 645,161 mm<sup>2</sup>, 0,069 444 sq.ft.

**square yard** : 1 sq.yd. = 0,836 m<sup>2</sup>, 9 sq.ft., 1 296 sq.in.

**ton (UK) ou long ton (USA)** : 1 ton = 1,016 05 t, 2 240 lb.

**ton (USA) ou short ton (UK)** : 1 sh.ton = 0,907 185 t, 2 000 lb.

**registered ton** : 1 registered ton = 2,831 m<sup>3</sup>, 1 **tonneau**, 100 cu.ft.

**shipping ton** : 1 shipping ton = 1,132 m<sup>3</sup>, 40 cu.ft.

**ton of refrigeration** : 1 ton of refrigeration = 0,84 fg/s, 3,516 kW.

**british commercial ton of regrigeration** : 1 brit. comm. ton of ref. = 0,927 726 fg/s, 3,883 kW.

**tonneau** : 1 tonneau = 2,831 m<sup>3</sup>, 1 registered ton.

**yard** : 1 yd = 0,914 4 m, 3 ft, 36 in.

# Densités

## Densités des solides

Solide	Densité
Acier coulé	7,8
Acier de cémentation	7,25-7,8
Acier forgé	7,84
Acier inoxydable	8,02
Aluminium	2,67
Alliages d'aluminium	2,74
Alpax	2,65
Alun	1,72
Antimoine	6,69
Anthracite	1,4
Ardoise	2,7
Argent	10,53
Argile	1,93
Arsenic	5,7
Asphalte	1,33
Béton	1,9-2,8
Bismuth	9,8
Bois : Acajou	0,56-0,85
Bois : Acacias	0,78
Bois : Aulne	0,46
Bois : Balsa	0,12
Bois : Bouleau	0,62
Bois : Buis de France	0,91
Bois : Buis de Hollande	1,32
Bois : Cèdre du Liban	0,9
Bois : Charme	0,8
Bois : Chataigner	0,55
Bois : Chêne blanc	0,61
Bois : Chêne 60 ans	1,17
Bois : Chêne vert	0,98
Bois : Cyprès	0,66
Bois : Ebène	1,12
Bois : Erable	0,56
Bois : Frêne	0,84
Bois : Hêtre	0,8
Borax	0,12

Solide	Densité
Brique ordinaire	1,6
Brique réfractaire	2,2
Bronze d'aluminium	7,45
Bronze des cloches	8,8
Bronze phosphoreux	8,7
Calcium	1,6
Caoutchouc pur	0,98
Caoutchouc vulcanisé	1,1
Cadmium	8,69
Céruse	6,43
Charbon de bois	0,25
Chaux	3,15
Chrome	6,7
Cobalt	8,8
Coke	0,4
Constantan	8,9
Craie	1,25
Cristal	3,33
Cuivre fondu	8,6-8,8
Cuivre en fils	8,8-9
Cupronickel	8,95
Duralumin	2,8
Diamant	3,52
Eméri	4
Etain fondu	7,3
Etain martelé	7,35
Farine	1,03
Fer pur	7,32
Ferro-nickel	8,4
Fonte blanche	7,4
Fonte grise	7,3
Glucinium	1,85
Graisse	0,92
Granit	2,8
Houille	1,3
Inconel	8,25

Solide	Densité
Iridium	21,15
Ivoire	1,92
Laiton	8,47
Laiton laminé	8,5
Liège	0,25
Lithium	0,53
Magnésium	1,74
Maillechort	8,3-8,6
Manganèse	7,39
Métal anglais	7,2
Métal blanc	7,1
Moellons	2,4
Nickel	8,7
Or pur	19,32

Solide	Densité
Or fondu	19,2
Or martelé	19,3
Pierre de Taille	2,1
Platine	21,5
Plomb	11,37
Titane	5
Terre argileuse	1,3-2
Titane	5
Verre	2,5
Zinc étiré	7,2
Zinc fondu	6,8-7,05
Zinc laminé	7,15
Zirconium	6,5

### Densités des matières plastiques et polymères

Matière plastique ou Elastomère	Densité
Acétate de cellulose	1,24
Acétobutyrate de cellulose	1,2
Acrylique	1,09
Aminoplastes	1,5
Acrylonitrile	0,99
Butadiène	0,99
Butyl	0,92
Chloroprène	1,24
Epoxyde (Araldite)	1,1
Elastomère polyester	1,17
Ethylène - propylène	0,86
Elastomère fluoré ( Viton )	1,85
Néoprène	1,24
Perbunan	1,00
Phénoplastes	1,25
Polyacétal	1,4
Polyméthacrylate de méthyle	1,17
Polyamide type 6-6	1,09
Polyamide type 11	1,04

Matière plastique ou Elastomère	Densité
Polycarbonate	1,2
Polyéthylène haute densité	0,94
Polyéthylène basse densité	0,91
Polytétrafluoréthylène	2,1
Polyoxyméthylène	1,42
Polypropylène	0,9
Polystyrène	1,04
Polystyrène résistant aux chocs	0,98
Polystyrèneacrylonitrile	1,07
Polychlorure de vinyle (PVC dur)	1,35
Polychlorure de vinyle (PVC mou)	1,16
Phénoplaste (bakélite)	1,35
Polyester	1,65
Polyester renforcé (verre) 30%	1,4
Polyester renforcé (verre) 60%	2,3
Polyuréthane	1,1
Résine epoxyde renforcée	1,4/2,3
Styrène	0,99

**Densités des liquides**

Liquide	Densité	Liquide	Densité
Alcool absolu	0,8	Huile d'amande douce	0,92
Alcool méthylique	0,8	Huile de baleine	0,92
Acide sulfurique	1,84	Huile de lin	0,94
Acide nitrique fumant	1,52	Huile de noix	0,92
Acide nitrique (HNO <sub>3</sub> )	1,42	Huile de ricin	0,96
Acide chlorydrique	1,1	Huile de machine	0,85
Benzène	0,9	Huile hydraulique minérale	0,89
Eau de vie	0,92	Lait	1,03
Ether Ordinaire	0,73	Mercure	13,55
Essence de térébenthine	0,86	Pétrole	0,82
Essence de pétrole	0,68	Perchloréthylène	1,66
Fréon	13,06	Tétrachlorure de carbone	1,63
Glycérine	1,26	Trichloréthylène	1,47

# Températures

## Températures maximales pour matières plastiques et élastomères

Matière plastique ou Elastomère	Température maximale	Matière plastique ou Elastomère	Température maximale
Acétate de cellulose	46	Polycarbonate	120
Acétobutyrate de cellulose	45	Polyéthylène haute densité	120
Acrylique	170	Polyéthylène basse densité	100
Aminoplastes	120	Polytétrafluoréthylène	260
Acrylonitrile	60	Polyoxyméthylène	85
Butadiène	60	Polypropylène	135
Butyl	150	Polystyrène	66
Chloroprène	120	Polystyrène résistant aux chocs	60
Epoxyde (Araldite)	120	Polystyrèneacrylonitrile	90
Elastomère polyester	120	Polychlorure de vinyle (PVC dur)	60
Ethylène - propylène	150	Polychlorure de vinyle (PVC mou)	40
Elastomère fluoré ( Viton )	200	Phénoplaste (bakélite)	120
Néoprène	120	Polyester	149
Perbunan	130	Polyester renforcé (verre) 30%	125
Phénoplastes	110	Polyester renforcé (verre) 60%	125
Polyacétal	100	Polyuréthane	106
Polyméthacrylate de méthyle	70	Résine epoxyde renforcée	120
Polyamide type 6-6	226	Styrène	60
Polyamide type 11	226		

## Températures de fusion des métaux

Métal	T°C	Métal	T°C
Acier	1400	Fonte aciérée	1200 à 1300
Aluminium	660	Fonte blanche	1100
Antimoine	630	Fonte grise	1230
Argent	960	Fonte malléable	1300
Bronze	950	Nickel	1455
Cuivre	1090	Or	1063
Etain	232	Platine	1773
Fer doux	1520	Plomb	327
Fonte de fer	1250	Zinc	419

# Dilatations

## Dilatation linéaire des métaux

Le tableau ci-après donne la dilatation linéaire en millimètres par mètre et par °C de différence de température entre la température ambiante et la température du métal.

**Problème.-** Quelle sera la dilatation d'un profilé de 4,50 m, en acier à 18% de Cr et 8% de Ni, porté à une température de 180°C, la température ambiante étant de 10°C ?

**Solution.** - Elévation de température du profilé :  $180 - 10 = 170^{\circ}\text{C}$ .

En cherchant dans le tableau de dilatation pour un acier 18/8 et pour une température de 180°C (prendre la colonne 200°C), nous trouvons 0,01715 mm/m. Dilatation du profilé :  $0,01715 \times 170 \times 4,5 = 13,12 \text{ mm}$ .

Nature du métal	Dilatation en millimètres par mètre et par °C pour température jusqu'à						
	100°C	200°C	300°C	400°C	500°C	600°C	700°C
Acier au carbone :							
0,10-0,20 % C.....	0,01170	0,01242	0,01296	0,01350	0,01422	0,01440	0,01458
0,30-0,40 % C.....	0,01152	0,01188	0,0126	0,01332	0,01404	0,01422	0,01449
0,50-0,60 % C.....	0,01116	0,01179	0,01242	0,01314	0,01386	0,01404	0,01440
Acier au chrome :							
12 % Cr.....	0,01098	0,01152	0,01206	0,01224	0,01296	0,01314	0,01332
17 % Cr.....	0,01053	0,01121	0,01152	0,01179	0,01211	0,01231	0,01251
25-30 % Cr.....	0,01062	0,01070	0,0108	0,01110	0,01130	0,01148	0,01180
Acier au chrome-nickel :							
18 % Cr 8 % Ni.....	0,01670	0,01715	0,0176	0,01811	0,01850	0,01875	0,01908
25 % Cr 12 % Ni.....	0,01499	0,01570	0,01641	0,01679	0,01720	0,01760	0,01782
Acier au chrome-molybdène :							
0,5 % Cr 0,5 % Mo.....	0,01170	0,01242	0,01296	0,01350	0,01422	0,01440	0,01458
1 % Cr 0,5 % Mo.....	0,01206	0,01260	0,01319	0,01380	0,01431	0,01461	0,0147
5 % Cr 0,5 % Mo.....	0,01101	0,01155	0,01211	0,01260	0,01299	0,01328	0,01339
Acier au nickel :							
36 % Ni (métal Invar).....	0,00297	0,00599	0,00865	0,01074	0,01224	0,01332	0,0134
Aluminium.....	0,02394	0,02466	0,02502	0,02610	0,02664	0,02790	0,02826
Argent.....	0,01970	0,02000	0,02027	0,02057	0,02086	0,02115	0,02173
Béryllium.....	0,01220	0,01314	0,01391	0,01481	0,01551	0,01600	0,01674
Bronze-laiton.....	0,01746	0,01773	0,01854	0,01890	0,01926	0,01998	0,02052
Constantan.....	0,01520	0,01560	0,01603	0,01642	0,01682		
Cuivre.....	0,01656	0,01692	0,01728	0,01782	0,01818	0,01854	0,0189
Etain.....	0,02670						
Fonte pure.....	0,01206	0,01251	0,01332	0,01386	0,01422	0,01458	0,01476
" grise.....	0,01044	0,01098	0,01170	0,01242			
" malléable.....	0,00900	0,00990	0,0108	0,01188			
" 5 % nickel.....	0,00774	0,00954	0,01116	0,01206			
" Ni-resist.....	0,01854	0,01872	0,01908	0,0198			
" 30 % nickel.....	0,00738	0,00918	0,01224	0,01314			
" 36 % nickel.....	0,00414	0,00666	0,00882	0,01026			
Magnésium.....	0,02610	0,027	0,02790	0,02898			
Molybdène.....	0,00489	0,00504	0,00513	0,00522	0,00550	0,00558	0,00567
Monel.....	0,01269	0,01485	0,01521	0,01548	0,01566	0,01591	0,01602



Nature du métal	Dilatation en millimètres par mètre et par °C pour température jusqu'à						
	100°C	200°C	300°C	400°C	500°C	600°C	700°C
Nickel pur.....	0,01296	0,0135	0,01404	0,01476	0,01499	0,01530	0,01548
Ni 62 %, Cr 15 %, Fe 23 %.....	0,01371	0,01395	0,01431	0,01467	0,01499	0,01530	0,01566
Ni 60 %, Mo 20 %, Fe 20 %.....	0,01098	0,01152	0,01188	0,01242	0,01296	0,01332	0,01386
Or.....	0,01420						
Platine.....	0,00900	0,00915	0,00927	0,00940	0,00954	0,00966	0,0098
Plomb.....	0,02916	0,0297					
Stellite 60% Co, 30% Cr, 4% W	0,01098	0,0117	0,01242	0,01296	0,01314	0,01350	0,01388
Tungstène.....	0,00426	0,00437	0,0044	0,00450	0,00459	0,00468	0,00477
Zinc pur.....	0,03870	0,03924					

## Dilatation cubique des gaz à 700 mm Hg et température comprise entre 0 et 100°C

$\alpha$  = coefficient de dilatation à pression constante.

$\beta$  = coefficient d'augmentation de pression à volume constant.

Gaz	$\alpha \times 10^6$	$\beta \times 10^6$	Gaz	$\alpha \times 10^6$	$\beta \times 10^6$
Acide chlorhydrique	3 734	3 721	Hélium.....	3 659	3 661
Air.....	3 671	3 672	Hydrogène.....	3 660	3 663
Ammoniac.....	3 790	3 768	Krypton.....	3 697	3 690
Argon.....	3 672	3 672	Méthane.....	3 682	3 679
Anhydride carbonique	3 725	3 711	Néon.....	3 661	3 663
Anhydride sulfureux.....	3 880	3 840	Oxyde de carbone.....	3 672	3 673
Azote.....	3 671	3 672	Oxygène.....	3 674	3 673
Chlore.....	3 830	3 803	Protoxyde d'azote.....	3 732	3 719
Cyanogène.....	3 870	3 830	Xénon.....	3 739	3 720
Ethylène.....	3 735	3 722			

## Informations techniques diverses

### Forces

#### Définition

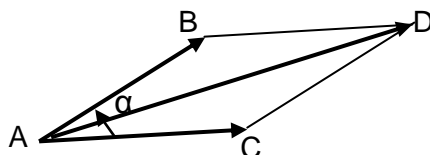
On appelle force toute action qui tend à changer l'état de repos d'un corps auquel elle est appliquée. Elle est caractérisée par : sa grandeur, son point d'application, sa direction. Elle se représente par un vecteur, anciennement en kilogramme-force.

Le kilogramme-force (kgf) est la force exercée par une masse de 1 kg dans le champ de pesanteur terrestre (au niveau de la mer), et qui vaut donc environ 9,81 N, ainsi que la sthène qui vaut 1 kN. L'aéronautique et l'astronautique ont fait un grand usage d'un multiple du kilogramme-force : la tonne de poussée. Là où l'on utilisait le kgf, on utilise maintenant le décanewton (daN) :

$$1 \text{ daN} = 10 \text{ N} = 1,02 \text{ kgf.}$$

#### Principe du parallélogramme

Soit deux forces représentées par les vecteurs AB et AC et faisant entre elles un angle  $\alpha$ . En les appliquant au point A d'un corps, leur action est équivalente à celle d'une seule force représentée par le vecteur AD.



#### Loi d'équilibre

Deux forces ne peuvent être en équilibre que dans le cas où elles ont des grandeurs égales, des sens opposés et une même ligne d'action.

#### Principe de superposition

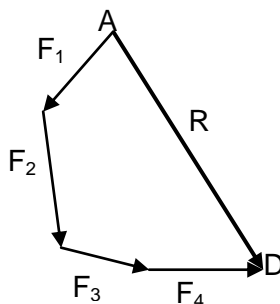
L'action d'un système donné de forces sur un solide n'est modifiée en rien si on lui ajoute ou retranche un autre système de forces en équilibre.

#### Loi de l'action et de la réaction

Toute pression sur un appui crée une pression égale et opposée de la part de l'appui, de sorte que l'action et la réaction sont deux forces égales et opposées.

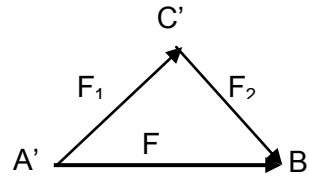
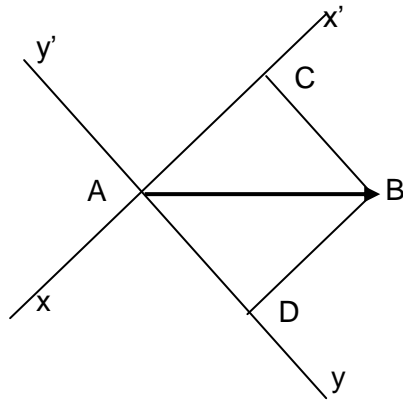
#### Composition des forces concourantes

On applique autant de fois qu'il est nécessaire le principe du parallélogramme ou mieux la méthode de Varignon.



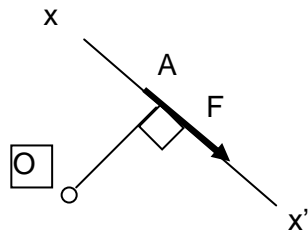
#### Décomposition d'une force

Elle est basée sur le principe du parallélogramme.



### Moment d'une force par rapport à un point

On appelle moment d'une force par rapport à un point, le produit de cette force par sa distance au point considéré.

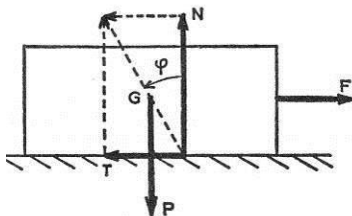


$$\text{Moment} = OA \cdot F$$

### Frottement

On appelle coefficient de frottement  $\mu$  de deux corps en contact le rapport  $T/N$  de la réaction tangentielle à la réaction normale :  $F = T = \mu N$  ;

$$\text{tg } \varphi = \frac{T}{N} = \mu$$

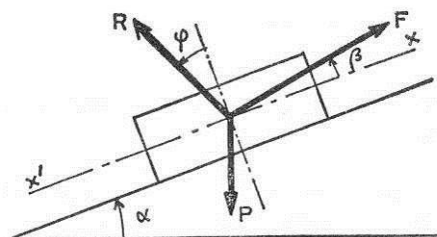


Lois :

- Le coefficient de frottement est pratiquement constant pendant le mouvement.
- Il est indépendant de l'intensité de la réaction normale.
- Il est indépendant de l'étendue des surfaces en contact, donc de la pression.
- Il dépend de la nature des matériaux en contact et de l'état de leurs surfaces.

Le coefficient de frottement au repos est beaucoup plus élevé que le coefficient de frottement en mouvement. La force amorçant un mouvement est donc toujours supérieure à celle exercée pendant le mouvement.

### Frottement sur le plan incliné

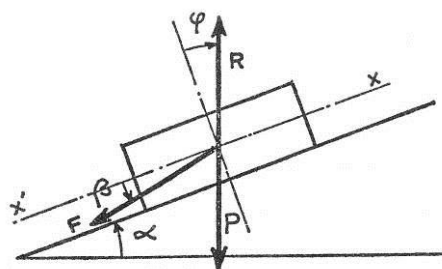


Premier cas

Le corps remonte le plan incliné sous l'action d'une force F.

Premier cas : La force agit au-dessus de l'axe  $xx'$  :

$$F = P \cdot \frac{\sin(\alpha + \varphi)}{\cos(\beta - \varphi)}$$



Deuxième cas

Deuxième cas : La force agit au-dessous de l'axe xx' :

$$F = P \cdot \frac{\sin(\alpha + \varphi)}{\cos(\beta + \varphi)}$$

Dans le cas où la force F est horizontale (vis à filets carrés)  $\beta = \alpha$ , et on a :

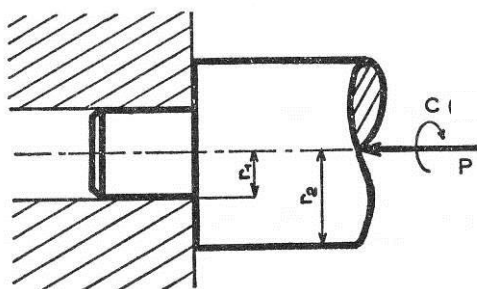
$$F = P \cdot \tan(\alpha + \varphi)$$

Lorsque le corps est sur le point de descendre, l'intensité de la force capable d'empêcher ce mouvement ou de le permettre a pour expression :

$$F = P \cdot \frac{\sin \alpha - \mu \cos \alpha}{\cos \beta + \mu \sin \beta} = P \cdot \frac{\sin(\alpha - \varphi)}{\cos(\beta \pm \varphi)}$$

Les signes  $\pm$  indiquent que F agit au-dessus ou au-dessous de l'axe xx'.

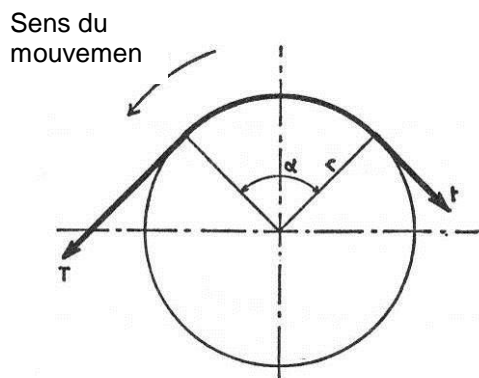
### Frottement d'un disque ou d'un épaulement sur sa butée



Les calculs du couple de frottement C donnent le résultat suivant :

$$C = \frac{2}{3} \mu P \frac{r_2^3 - r_1^3}{r_2^2 - r_1^2}$$

### Frottement d'un disque ou d'un épaulement sur sa butée



Si  $\alpha$  est l'arc d'enroulement d'un lien flexible sur un tambour fixe, la relation existant entre T, tension motrice et t, tension résistante, est donnée par :

$$\frac{T}{t} = e^{\mu \alpha}$$

avec  $\mu$  coefficient de frottement entre le lien et le tambour et e base des logarithmes népériens.

Pour qu'une poulie puisse transmettre l'effort tangentiel F qu'on s'impose, il faut que la tension initiale  $T_0$  de la courroie soit :

$$T_0 > \frac{F}{2} \frac{e^{\mu \alpha} + 1}{e^{\mu \alpha} - 1}$$

Pendant la marche, la tension des différents brins est :

$$T = F \frac{e^{\mu \alpha}}{e^{\mu \alpha} - 1} \quad \text{pour le brin menant ;}$$

$$t = \frac{F}{e^{\mu \alpha} - 1} \quad \text{pour le brin mené.}$$

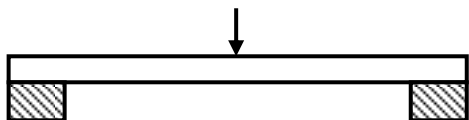
Valeur de $\alpha$ en degrés	Valeur de $e^{\mu\alpha}$						
	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,50
90°	1,26	1,37	1,48	1,60	1,73	1,87	2,19
105°	1,32	1,44	1,58	1,73	1,89	2,08	2,50
120°	1,36	1,52	1,68	1,87	2,07	2,31	2,82
135°	1,42	1,60	1,80	2,03	2,26	2,57	3,25
150°	1,48	1,69	1,92	2,19	2,50	2,85	3,70
165°	1,54	1,78	2,05	2,37	2,74	3,16	4,22
180°	1,59	1,87	2,19	2,57	3,00	3,51	4,81
195°	1,67	1,98	2,34	2,78	3,29	3,90	5,48
210°	1,73	2,08	2,50	3,00	3,70	4,55	6,24
225°	1,80	2,19	2,67	3,25	3,94	4,81	7,09
240°	1,87	2,31	2,85	3,51	4,32	5,32	8,10
255°	1,95	2,44	3,04	3,80	4,75	5,93	9,25
270°	2,02	2,57	3,25	4,11	5,20	6,59	10,55
285°	2,11	2,70	3,47	4,45	5,70	7,31	12,04

## Résistance des matériaux

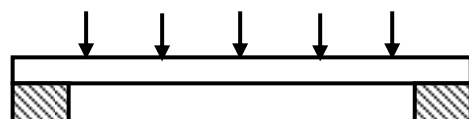
### Charges à la flexion

P : charge totale en kgs  
L : longueur de la poutre en mm  
R : charge par mm<sup>2</sup>  
I : moment d'inertie de la section

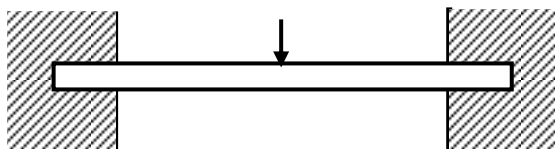
v : distance de la fibre neutre à celle la plus fatiguée  
 $\frac{I}{v}$  : moment résistant



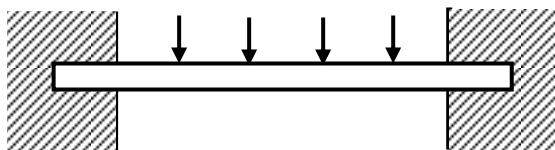
$$\frac{PL}{4} = R \frac{I}{v}$$



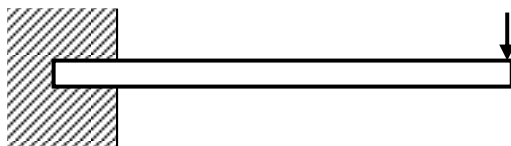
$$\frac{pL \times L}{8} = \frac{PL}{8} = R \frac{I}{v}$$



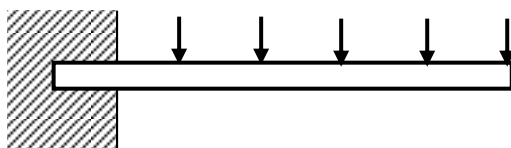
$$\frac{PL}{8} = R \frac{I}{v}$$



$$\frac{PL}{12} = R \frac{I}{v}$$



$$PL = R \frac{I}{v}$$



$$\frac{PL}{2} = R \frac{I}{v}$$

### Efforts de torsion

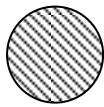
P = efforts en kgs  
L = bras de levier en mm  
R = charge par mm<sup>2</sup>  
D = diamètre en mm  
C = couple

Pour solides à section ronde.

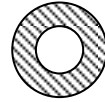
$$C = PL = \frac{R \pi D^3}{16}$$

$$\text{Autres cas : } C = PL = R \frac{I}{v}$$

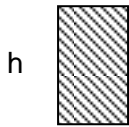
## Moments résistants $\frac{I}{v}$



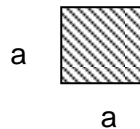
$$\frac{I}{v} = \frac{\pi D^3}{16}$$



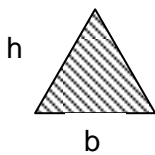
$$\frac{I}{v} = \frac{\pi D^4 - d^4}{16 D}$$



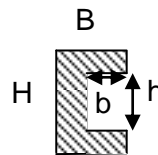
$$\frac{I}{v} = \frac{b h^2}{6}$$



$$\frac{I}{v} = \frac{a^3}{6}$$



$$\frac{I}{v} = \frac{b h^2}{24}$$



$$\frac{I}{v} = \frac{BH^3 - bh^3}{6 H}$$

## Durée de vie des roulements

La détermination de la durée de vie et de la fiabilité des roulements est très dépendante de la définition de bon fonctionnement appliquée à chaque cas particulier. Certaines utilisations sont plus exigeantes que d'autres en niveau de couple, bruit... Les méthodes de calcul répondent à des cas d'utilisations moyennes.

La durée de vie est une durée L10 ; elle implique que 90% des roulements atteignent au minimum sa valeur. Pour les roulements courants la durée de vie moyenne est de l'ordre de 3 à 5 fois la durée L10.

$$L10 = \left[ \frac{C}{P} \right]^r$$

C : Charge dynamique de base en daN, donnée par les fabricants

P : Charge appliquée en daN

r : Exposant pris égal à 3 pour les roulements à billes et à 10/3 pour les roulements à contacts linéaires.

Pour la charge appliquée P, sur la charge réelle il convient d'appliquer un coefficient de sécurité pour tenir compte des conditions d'utilisation : à coups, surcharges temporaires, nombre d'arrêts/remise en marche, pollution, etc. Pour des conditions moyennes on prend généralement 2. Pour des conditions plus dures on peut prendre 3, voire plus.

Par ailleurs, pour simplifier les calculs, prendre un exposant de 3 dans tous les cas est raisonnable.

La durée de vie L10 est en millions de tours. Pour l'avoir en heures, il suffit de diviser par 60 RPM (valeur moyenne dans le cas d'une vitesse variable).

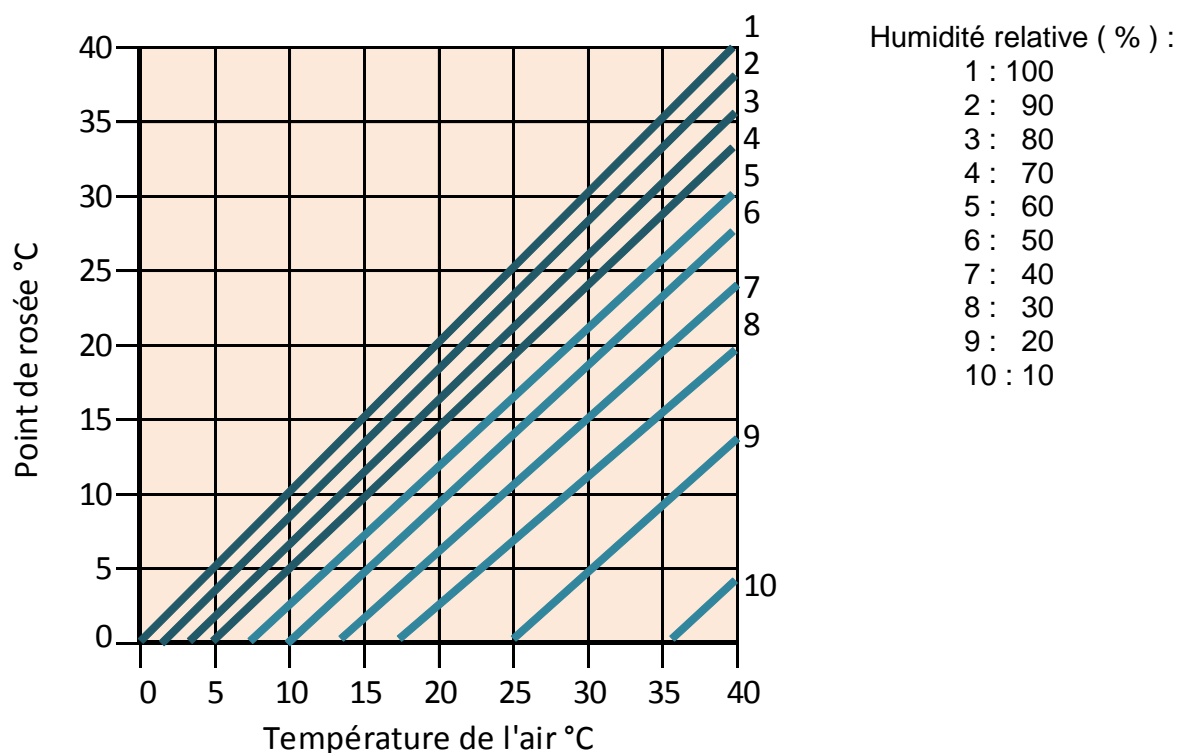
## Courbe du point de rosée

Le point de rosée est une donnée thermodynamique caractérisant l'humidité dans un gaz, notamment l'air.

Pour l'air c'est la température à laquelle la pression de vapeur d'eau est égale à sa pression de vapeur saturante. Si on refroidit progressivement l'air humide, la **température de rosée** correspond à l'apparition d'eau. C'est donc le phénomène de condensation qui apparaît lorsque le point de rosée est atteint.

La notion de point de rosée est importante dans le fonctionnement des sècheurs d'air frigorifiques d'air comprimé et dans les climatiseurs.

Par ailleurs notons que ce phénomène est le moyen de mesure mis en œuvre dans les hygromètres à condensation, appelés hygromètres à point de rosée.



## Loi de Mariotte

$VP = V'P' = V''P'' = \text{constante}$

V = volume ; P = pression correspondante.

Masse du litre d'air à 0° et sous 76 c/m : 1,293 g.

## Théorème de Bernoulli

Pour un écoulement :

- incompressible,
- non tourbillonnaire,
- d'un fluide parfait,

en régime permanent, on vérifie :

$$\frac{v^2}{2 \cdot g} + z + \frac{p}{\rho \cdot g} = \text{constante}$$



où  $p$  est la pression en un point ( en Pa ou  $\text{N/m}^2$  )

$\rho$  est la masse volumique en un point ( en  $\text{kg/m}^3$  )

$V$  est la vitesse du fluide en un point (en  $\text{m/s}$  )

$g$  est l'accélération de la pesanteur ( en  $\text{m/s}^2$  )

$Z$  est l'altitude (en m )

## Rendement de quelques mécanismes

Le rendement s'exprime par  $\eta = \text{puissance utilisable} / \text{puissance reçue}$ .

Arbres sur paliers à roulements.....	$\eta = 0,98$
Arbres sur paliers lisses bien graissés.....	$\eta = 0,95$
Commande par courroie.....	$\eta = 0,95$
Engrenages rectifiés, bien graissés.....	$\eta = 0,98$
Engrenages taillés, bien graissés.....	$\eta = 0,95 \text{ à } 0,97$
Arbres sur paliers lisses à graissage discontinu.....	$\eta = 0,90 \text{ à } 0,92$
Engrenages taillés, moyennement graissés.....	$\eta = 0,90 \text{ à } 0,92$
Engrenages bruts, selon montage et entretien.....	$\eta = 0,75 \text{ à } 0,85$
Roue et vis sans fin :	
réversible bien graissé.....	$\eta = 0,4 \text{ à } 0,8$
irréversible, gras et bisulfure de molybdène.....	$\eta = 0,35 \text{ à } 0,45$
Train épicycloïdal classique $R = 1/4$ .....	$\eta = 0,9 \text{ à } 0,93$
Vis-écrou de serrage .....	$\eta = 0,15 \text{ à } 0,3$

# Algèbre et géométrie

## Rappels

### Rapports et proportions

▪ Si :  $\frac{a}{b} = \frac{c}{d}$

on peut écrire :  $\frac{a}{c} = \frac{b}{d}$  ;  $\frac{a+b}{b} = \frac{c+d}{d}$  ;  $\frac{a-b}{b} = \frac{c-d}{d}$  ;  $\frac{a+b}{a-b} = \frac{c+d}{c-d}$

▪ Si :  $\frac{a}{b} = \frac{c}{d} = \frac{e}{f} = \dots\dots\dots$

on peut écrire  $\frac{a}{b} = \frac{c}{d} = \frac{e}{f} = \frac{a+c+e+\dots}{b+d+f+\dots\dots\dots} = \frac{ra = sc + te + \dots}{rb + sd + tf + \dots\dots\dots}$

### Identités remarquables

$$(a+b)^2 = a^2 + 2ab + b^2$$

$$(a-b)^2 = a^2 - 2ab + b^2$$

$$(a+b)(a-b) = a^2 - b^2$$

$$a^2 + b^2 = \frac{(a+b)^2 + (a-b)^2}{2}$$

$$ab = \frac{(a+b)^2 - (a-b)^2}{4}$$

$$(a+b)^3 = a^3 + 3a^2b + 3ab^2 + b^3$$

$$(a-b)^3 = a^3 - 3a^2b + 3ab^2 - b^3$$

$$a^3 + b^3 = (a+b)(a^2 - ab + b^2)$$

$$a^3 - b^3 = (a-b)(a^2 + ab + b^2)$$

### Logarithmes

On appelle logarithme d'un nombre A, dans le système de base a, un nombre x tel que l'on ait :  $a^x = A$ , et que l'on écrit :  $x = \log_a A$ .

Si on prend comme base 10, on a les logarithmes décimaux (le plus courants) et l'on écrit  $x = \log A$ .

Si on prend comme base  $e = 2,71828$ , on a les logarithmes népériens (ou logarithmes naturels) et l'on écrit :  $x = \text{Log } A$ .

Remarques :

- les nombres négatifs n'ont pas de logarithmes puisque  $a^x$  ne peut être négatif ;
- dans tout système de logarithmes, le logarithme de 1 est 0 et le logarithme de la base est 1.

Bases de calculs : logarithme décimaux

$$1. \log_a (A.B.C) = \log_a A + \log_a B + \log_a C$$

$$\log_a \left( \frac{A}{B} \right) = \log_a A - \log_a B$$

$$\log_a A^m = m \log_a A$$

2. On appelle caractéristique la partie entière du logarithme. Elle peut être positive, négative ou nulle.

$$\log 100 = \log 10^2 = 2$$

$$\log \frac{1}{10} = \log 10^{-1} = -1$$

$$\log 1 = \log 10^0 = 0$$

3 . On appelle mantisse la partie décimale du logarithme :  $\log 2 = 0,30103$

La mantisse est toujours positive.

Dans les tables de logarithmes décimaux, seules les valeurs des mantisses sont données. La raison est que les nombres formés des mêmes chiffres significatifs ont même mantisse :

$$\log 200 = \log (2 \times 10^2) = \log 2 + 2 \log 10 = 2,30103$$

$$\log 20 = \log (2 \times 10^1) = \log 2 + \log 10 = 1,30103$$

$$\log 2 = \log (2 \times 10^0) = \log 2 + \log 1 = 0,30103$$

$$\log 0,2 = \log (2 \times 10^{-1}) = \log 2 - \log 10 = \overline{1},30103$$

La caractéristique du logarithme d'un nombre supérieur à 1 est positive et égale au nombre de chiffres de la partie entière du nombre moins 1 ( ex :  $\log 1\,792 = 3,25334$  )

La caractéristique du logarithme d'un nombre inférieur à 1 est négative et égale au rang de son premier chiffre significatif après la virgule, ou encore à son nombre de zéros ( ex :  $\log 0,1792 = \overline{1},25334$  ;  $\log 0,01792 = \overline{2},25334$  )

## Valeurs calculées

n	n <sup>2</sup>	n <sup>3</sup>	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$
1	1	1	1	1
2	4	8	1,4142	1,2599
3	9	27	1,7321	1,4422
4	16	64	2	1,5874
5	25	125	2,2361	1,7100
6	36	216	2,4495	1,8171
7	49	343	2,6458	1,9129
8	64	512	2,8284	2
9	81	729	3	2,0801
10	100	1000	3,1623	2,1544
20	400	8000	4,4721	2,7144
30	900	27000	5,4772	3,1072
40	1600	64000	6,3246	3,4200
50	2500	125000	7,0711	3,6840
60	3600	216000	7,7460	3,9149
70	4900	343000	8,3666	4,1213
80	6400	512000	8,9443	4,3089
90	8100	729000	9,4868	4,4814
100	10000	1000000	10	4,6416
200	40000	8000000	14,1421	5,8480
300	90000	27000000	17,3205	6,6943
400	160000	64000000	20	7,3681
500	250000	125000000	22,3607	7,9370
600	360000	216000000	24,4949	8,4343
700	490000	343000000	26,4575	8,8790
800	640000	512000000	28,2843	9,2832
900	810000	729000000	30	9,6549
1000	1000000	1000000000	31,6228	10

Pour des valeurs intermédiaires : décomposer le chiffre en deux et appliquer la formule suivante

$$(a + b)^2 = a^2 + 2ab + b^2$$

### Valeurs de $\pi$

Facteur	Valeur	Facteur	Valeur	Facteur	Valeur
$\pi$	3,141592	$\frac{\pi}{2}$	1,570196	$\frac{\pi}{6}$	0,523598
$2\pi$	6,283185	$\frac{\pi}{3}$	1,047197	$\frac{\pi}{8}$	0,392699
$3\pi$	9,424777	$\frac{\pi}{4}$	0,785398	$\pi^2$	9,869604
$4\pi$	12,566370	$\frac{\pi}{5}$	0,628318	$\pi^3$	31,006276

### Valeurs de $g$ , accélération de la pesanteur

$g = 9,80978$  à Paris,  $9,8323$  au Pôle,  $9,7804$  à l'Equateur

$g^2 = 96,17038$

$1/g = 0,101971$ ,  $1/g^2 = 0,050985$

## Résolution des équations

### Equation du 1<sup>er</sup> degré

A une inconnue

$$ax + b = c : x = \frac{c - b}{a}$$

A deux inconnues

$$ax + by = c$$

$$a_1x + b_1y = c_1$$

$$x = \frac{cb_1 - bc_1}{ab_1 - a_1b} \quad y = \frac{ac_1 - a_1c}{ab_1 - a_1b}$$

### Equation du 2<sup>ème</sup> degré

A une inconnue

$$ax^2 + bx + c = 0$$

1.  $b^2 - 4ac > 0$  : il y a deux racines distinctes :

$$x' = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$x'' = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

2.  $b^2 - 4ac = 0$  : il y a une seule racine :

$$x' \text{ ou } x'' = \frac{-b}{2a}$$

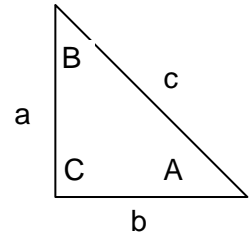
3.  $b^2 - 4ac < 0$  : pas de racine.

## Trigonométrie

### Bases

$$\sin A = \frac{\text{côté opposé}}{\text{hypothénuse}} = \frac{a}{c} \quad \cos A = \frac{\text{côté adjacent}}{\text{hypothénuse}} = \frac{b}{c}$$

$$\operatorname{tg} A = \frac{\sin A}{\cos A} = \frac{\text{côté opposé}}{\text{côté adjacent}} = \frac{a}{b} \quad \operatorname{cotg} A = \frac{1}{\operatorname{tg} A} = \frac{\text{côté adjacent}}{\text{côté opposé}} = \frac{b}{a}$$



### Formules diverses

$$\sin (A + B) = \sin A \cos B + \sin B \cos A$$

$$\sin (A - B) = \sin A \cos B - \sin B \cos A$$

$$\cos (A + B) = \cos A \cos B - \sin A \sin B$$

$$\cos (A - B) = \cos A \cos B + \sin A \sin B$$

$$\operatorname{tg} (A + B) = \frac{\operatorname{tg} A + \operatorname{tg} B}{1 - \operatorname{tg} A \operatorname{tg} B}$$

$$\operatorname{cotg} (A + B) = \frac{\operatorname{cotg} A \operatorname{cotg} B - 1}{\operatorname{cotg} A + \operatorname{cotg} B}$$

$$\operatorname{tg} (A - B) = \frac{\operatorname{tg} A - \operatorname{tg} B}{1 + \operatorname{tg} A \operatorname{tg} B}$$

$$\operatorname{cotg} (A - B) = \frac{\operatorname{cotg} A \operatorname{cotg} B + 1}{\operatorname{cotg} A - \operatorname{cotg} B}$$

$$\cos^2 A + \sin^2 A = 1 \quad \sin^2 A = \frac{\operatorname{tg}^2 A}{1 + \operatorname{tg}^2 A}$$

$$\cos^2 A = \frac{1}{1 + \operatorname{tg}^2 A}$$

### Valeurs usuelles

Angle	30°	45°	60°	90°
<b>sin</b>	0,5	0,70711	0,86457	1
<b>cos</b>	0,86603	0,70711	0,5	0
<b>tg</b>	0,57735	1	1,73205	0
<b>cotg</b>	1,73205	1	0,57735	*

### Degrés, grades et radians

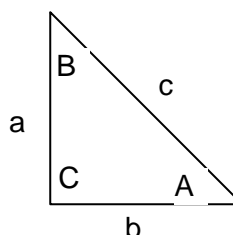
$$360^\circ = 2 \pi = 400 \text{ gr}$$

## Formules de géométrie

### Résolution des triangles

#### Triangle rectangle

Soit A, B et C les angles  
a, b et c les côtés respectivement opposés  
S la surface du triangle



$$B = 90^\circ - A$$

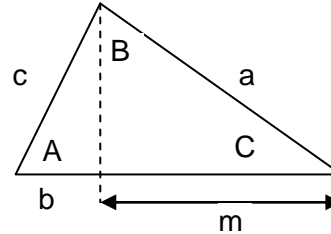
$$b = a \cotg A \quad a = b \tg A \quad a = c \sin A \quad c = \frac{b}{\cos A} \quad b = c \cos A \quad a = c \cos B$$

$$S = \frac{a^2}{2} \cdot \cotg A \quad S = \frac{b^2}{2} \cdot \tg A \quad S = \frac{c^2}{2} \cdot \sin \frac{b}{\cos A} \quad i = \frac{ab}{2}$$

$$b = \sqrt{c^2 - a^2} \quad c = \sqrt{a^2 + b^2}$$

### Triangle quelconque

Soit A, B et C les angles  
a, b et c les côtés respectivement opposés  
S la surface du triangle



$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos A \quad b^2 = a^2 + c^2 - 2ac \cos B \quad c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos C$$

$$A = 180^\circ - (B + C) \quad B = 180^\circ - (A + C) \quad C = 180^\circ - (A + B)$$

$$c = a \frac{\sin C}{\sin A} = b \frac{\sin C}{\sin B} \quad b = a \frac{\sin B}{\sin A} = c \frac{\sin B}{\sin C} \quad a = b \frac{\sin A}{\sin B} = c \frac{\sin A}{\sin C}$$

$$S = \frac{ab}{2} \sin C = \frac{a^2}{2} \times \frac{\sin B \times \sin C}{\sin A}$$

Note : connaissant les trois côtés d'un triangle quelconque, on peut ramener la solution à celle de deux triangles rectangles. Le côté m d'un des deux triangles a pour valeur :

$$m = \frac{a^2 + b^2 + c^2}{2b} \quad \text{Le côté de l'autre triangle devient : } b - m$$

### Périmètres, surfaces, volumes

#### Périmètre

Circonférence de cercle : Rayon R, diamètre D, longueur de la circonférence C  
 $C = 2 \pi R = \pi D$

Secteur du cercle : périmètre p, angle a (en degrés)

$$p = \frac{\pi R a}{180} = R a \times 0,01745329 \quad a = \frac{180 p}{\pi R} = \frac{p}{R} \times 57,295779$$

Segment du cercle : corde c, flèche f, apothème h

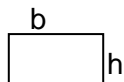
$$e = R \sin \frac{a}{2} = 2 \sqrt{R^2 - h^2} = 2 \sqrt{2 R f - f^2}$$

#### Surface

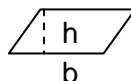
$$\text{Surface du cercle : } \pi R^2 = \frac{\pi}{4} D^2 = 0,785 398 D^2$$

$$\text{Surface du secteur} = \frac{pR}{2}$$

$$\text{Surface du rectangle} \quad S = b h$$



$$\text{Surface du parallélogramme} \quad S = b h$$



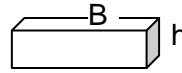
Surface du tronc de cône circulaire à bases parallèles : aire latérale =  $\pi (R + r) l$

Surface de la sphère :  $S = 4 \pi R^2 = \pi D^2$

## **Volume**

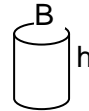
Volume du parallélépipède rectangle :  $V = B \times h$

Volume du prisme droit ou oblique :  $V = B \times h$



Volume du cylindre droit :  $V = \pi R^2 h = B h$

Volume du cylindre creux :  $V = \pi (R^2 - r^2) h$



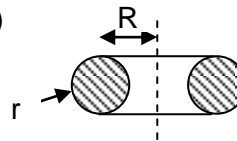
Volume du tronc de cône :  $V = \frac{\pi h}{3} (R^2 + r^2 + Rr)$

Volume de la sphère :  $V = \frac{4}{3} \pi R^3 = 4,189 R^3$



Volume de la sphère creuse :  $V = \frac{4}{3} \pi (R^3 - r^3)$

Volume du tore de révolution :  $V = 2 \pi^2 R r^2$



# Duretés

## Conversion dureté – traction

Dureté Brinell HB	Dureté Rockwell		Dureté Vickers	Résistance à la traction Mpa	Dureté Brinell HB	Dureté Rockwell		Dureté Vickers	Résistance à la traction Mpa
	HRB	HRC				HRB	HRC		
80	36,4		80	270	310		31,5	310	1040
90	47,4		90	310	330		33,8	330	1110
100	56,4		100	340	350		36	350	1180
110	63,4		110	380	368		38	370	1240
120	69,4		120	410	385		39,8	390	1290
130	74,4		130	440	400		41,5	410	1350
140	78,4		140	470	415		43,2	430	1410
150	82,2		150	500	430		44,8	450	1460
160	85,4		160	540			46,3	470	
170	88,2		170	570			47,7	490	
180	90,8		180	610			49	510	
190	93		190	640			50,3	530	
200	95		200	670			51,5	550	
210	96,6		210	710			52,8	570	
220	98,2		220	740			53,8	590	
230		19,2	230	770			54,9	610	
240		21,2	240	800			55,9	630	
250		23	250	830			56,9	650	
260		24,6	260	870			57,9	670	
270		26,2	270	900			58,9	690	
280		27,6	280	940			60,2	720	
290		29	290	970			61,9	760	
300		30,3	300	1010			63,5	800	



## Propriétés de différents métaux

### Acier

L'acier est constitué de fer et de carbone pour moins de 1,9 %.

Il est élaboré par divers procédés à partir de la fonte :

- ✓ Procédé Thomas : la fonte est décarburée et affinée dans un convertisseur par insufflation d'air pouvant être enrichi en oxygène ;
- ✓ Procédé Martin : fonte et ferrailles sont fondues et affinées dans un four ;
- ✓ Procédé à l'oxygène : c'est un procédé dérivé des deux précédents qui donne des aciers équivalents en qualité aux aciers Martin, plus rapidement en consommant moins de coke ;
- ✓ Acier électrique : ferrailles et métaux divers sont fondus et affinés au four électriques.

On obtient toutes les nuances souhaitables en pourcentage de carbone.

### Formes allotropiques du Fer

La température de fusion du fer pur est de 1530°C. Au-dessous de cette température, le fer est à l'état solide mais il présente plusieurs formes allotropiques différenciées par leurs structures cristallines.

On distingue :

- le fer  $\alpha$ , stable au-dessous de 775°C. Il est magnétique et ne dissout pas le carbone
- le fer  $\beta$ , stable de 775°C à 900°C. Il n'est pas magnétique et ne dissout pas le carbone.
- le fer  $\gamma$ , stable de 900°C à 1400°C. Il n'est pas magnétique et dissout le carbone.
- le fer  $\delta$ , stable au-dessus de 1400°C. Il dissout le carbone.

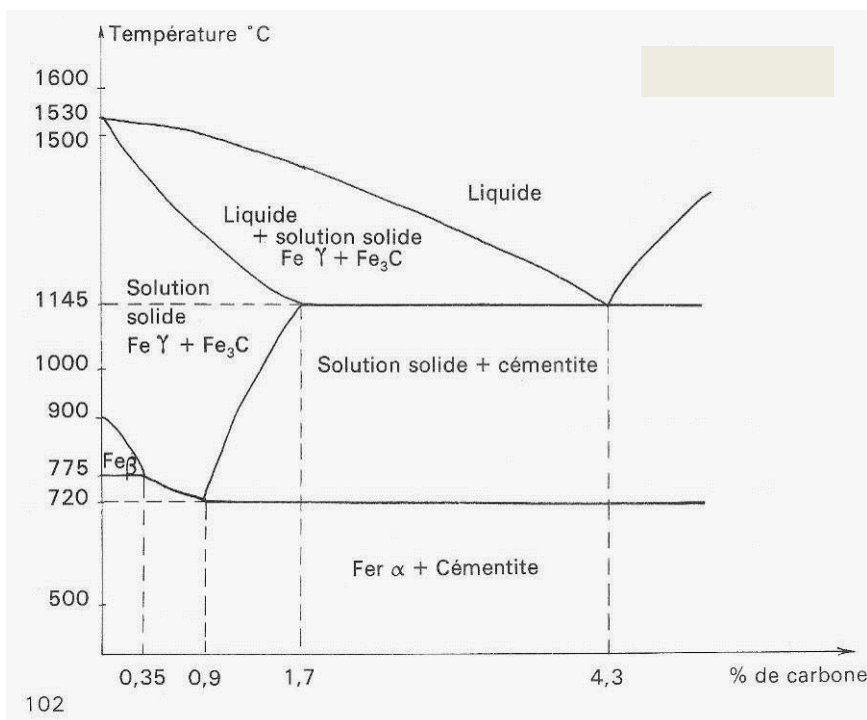
### Diagramme Fer-Carbone

La présence de carbone dans le fer modifie les températures de transformation d'états allotropiques du fer.

Au cours d'un refroidissement, le carbone se retrouve en grande partie à l'état de graphite si la vitesse de refroidissement est lente. Si, au contraire, le refroidissement est rapide, le carbone se retrouve combiné chimiquement au fer à l'état de cémentite :  $\text{Fe}_3\text{C}$  et le mélange fer/cémentite se place dans un état d'équilibre thermique instable désigné équilibre « métastable ».

Un chauffage prolongé vers 500°C peut détruire cet état d'équilibre métastable en décomposant la cémentite pour redonner du fer et du carbone (graphite).

- Le diagramme d'équilibre métastable est représenté ci-dessous.



- Le diagramme d'équilibre stable a sensiblement la même allure mais les températures de transformation sont légèrement différentes et la cémentite est remplacée par du graphite.

### Solidification de l'acier

Selon le mode de refroidissement de l'acier liquide, l'acier modifié se présente sous des aspects micrographiques différents, notamment :

- l'austénite : c'est une solution solide de cémentite  $\text{Fe}_3\text{C}$ , dans le fer  $\gamma$ , stable pour des températures supérieures à  $700^\circ\text{C}$ . Elle n'est pas magnétique.
- la perlite qui provient de l'austénite par refroidissement lent. C'est un agrégat de solution de carbone dans le fer  $\alpha$  et de cémentite. L'aspect est granulaire, chaque grain étant formé de lamelles de ferrite et de cémentite.
- la troostite est aussi obtenue à partir de l'austénite mais par refroidissement plus rapide, les lamelles constituant l'agrégat sont plus fines que dans le cas de la perlite et la dureté obtenue est plus grande.
- la martensite provient de l'austénite par un refroidissement très rapide. L'agrégat est en aiguilles et la structure cristalline est sensiblement celle du fer  $\alpha$ . La martensite est magnétique, la dureté obtenue est très élevée et croît avec la teneur en carbone.
- la sorbite est obtenue à partir de la martensite par un réchauffage prolongé au-dessus de  $300^\circ\text{C}$ . C'est un agrégat formé des mêmes constituants que la perlite et la troostite.
- la bainite est obtenue à partir d'aciers alliés avec d'autres métaux ; elle contient des grains microscopiques de carbone.

### Traitements thermiques des aciers

Voir le § consacré spécifiquement aux traitements thermiques.

### Traitements mécaniques des aciers

Ils comprennent :

- le forgeage : le métal est amené à une température suffisante pour qu'il soit malléable et que sa forme puisse être modifiée par une action mécanique (marteau, pilon ou presse).
- le laminage : mêmes conditions que pour le forgeage, l'action mécanique est assurée par un passage continu entre deux rouleaux parallèles.
- l'étirage : l'action mécanique est assurée par le passage forcé à travers un orifice de section bien définie. Le procédé est généralement utilisé pour réduire le diamètre des fils métalliques.

## **Aciers inoxydables**

### **Acier inoxydable à 13 % de Cr**

En général c'est un acier à 0,15% de carbone. Les caractéristiques mécaniques pour un acier moulé sont : résistance 55-70  $\text{kg/mm}^2$ , limite élastique  $> 34 \text{ kg/mm}^2$ , allongement  $< 14\%$ , dureté Brinell 150, densité 7,75, point de fusion  $1500^\circ\text{C}$ . C'est un acier magnétique, trempant, non soudable.

On réalise aussi un acier à 0,30% de carbone qui présente des caractéristiques un peu différentes.

Cet acier martensitique a une dureté très grandement augmentée par traitement thermique. Il résiste mal aux fluides corrosifs.

### **Acier inoxydable à 18% de Cr et 10% de Ni avec ou sans Mo**

L'acier inoxydable dit 18/8 tend à être généralement remplacé par des nuances 18/10 avec ou sans molybdène.

Cet acier austénitique est le plus important des métaux antiacides et il est très largement utilisé dans l'industrie chimique pour une gamme étendue d'acides et de fluides corrosifs. L'acier 18/10 sans Mo convient pour de nombreux produits alimentaires.

Ses caractéristiques mécaniques sont les suivantes : Carbone 0,1 %, point de fusion  $1400^\circ\text{C}$ , densité 7,88, résistance 50/70  $\text{kg/mm}^2$ , allongement  $> 30\%$ , dureté Brinell 150-200. Cet acier inoxydable est non magnétique (c'est ainsi qu'on peut le distinguer de l'acier courant), mais aussi non trempant, et il est soudable (avec des précautions)

### **Acier inoxydable à 17% de Cr, 6% de Ni et 0,07 % de C avec addition d'Al et de Cu**

Cet alliage présente à la fois une résistance à la corrosion comparable à celle des 18/10 et des propriétés mécaniques à l'état durci analogues à celles des aciers à 13% de Cr trempés. Il présente l'intérêt de pouvoir recevoir un traitement de durcissement structural consistant en un double revenu après recuit à 1060°C et qui lui donne les caractéristiques suivantes : Résistance 140/150 kg/mm<sup>2</sup>, E > 125 kg/mm<sup>2</sup>. Il se niture particulièrement bien du fait de sa teneur en AL et se soude aisément à l'état recuit. Sa résistance à la corrosion est comparable à celle des aciers 18/10.

### **Acier inoxydable à 17% de Cr (Z12CF17)**

Ses caractéristiques mécaniques sont : carbone 0,12%, point de fusion 1425°C, densité 7,8, résistance 70/85 kg/mm<sup>2</sup>, limite élastique 45 Kg/mm<sup>2</sup>, allongement 13%, dureté Brinell 200-210. Magnétique, trempant, non soudable.

Cet acier ferritique est utilisé en robinetterie.

### **Acier inoxydable à 15% de Cr et 30% de Ni (acier 15/30) avec Mo et Ti**

Cet alliage a une grande résistance aux acides (chlorhydrique, sulfurique, etc).

### **Acier inoxydable à 20% de Cr et 25% de Ni (acier 20/25) avec Mo**

Cet alliage comporte habituellement 2,5 à 3% de Mo, 1,5 à 2% de Cu, 0,6 à 1,2 % de Si et moins de 0,07% de C

Il est surtout intéressant pour sa résistance aux agents corrosifs, notamment l'acide sulfurique.

### **A.T.V.**

Ce nom est une abréviation de « ailettes de turbine à vapeur ». Il désigne un groupe d'alliages austénitiques à 36% de Ni et 11% de Cr. Les caractéristiques mécaniques sont : densité 8,05, résistance 62 kg/mm<sup>2</sup>, limite élastique 30 kg/mm<sup>2</sup>, allongement 25%, avec une bonne conservation de ces caractéristiques et de la résistance absolue à la corrosion aux températures élevées, une résistance à l'érosion avec une facilité d'usinage, de soudure et brasure.

## **Aluminium**

Densité 2,7, point de fusion 660°C, résistance 8-10 kg/mm<sup>2</sup>, limite élastique 3-5 kg/mm<sup>2</sup>, allongement 25 à 35 %, dureté Brinell 20.

A l'air, la couche d'oxyde qui se forme à la surface recouvre le métal d'une pellicule protectrice. Il résiste à l'acide acétique, à l'acide nitrique, aux hydrocarbures. Il est possible de diminuer et même d'empêcher l'attaque de l'aluminium par des solutions acides, alcalines ou salines, en ajoutant à celles-ci des inhibiteurs en faible quantité.

## **Alliages d'aluminium**

### **Ancien « Duralinox »**

L'ancienne appellation était « duralinox ». Cet alliage contient de l'aluminium, 2,5 à 3,7% de magnésium, 0,2 à 0,7% de manganèse, moins de 0,5% de fer, moins de 0,3% de silicium, moins de 0,1% de fer. Ses caractéristiques mécaniques sont : densité 2,7, point de fusion 625°C, résistance 20-23 kg/mm<sup>2</sup>, limite élastique 10 kg/mm<sup>2</sup>, allongement 20%, dureté Brinell 50-60. Il se prête bien au polissage et à l'emboutissage, et il se soude bien . Il est assez employé pour les installations sous vide élevé.

### **Ancien « Alpax »**

L'ancienne appellation était « alpax ». Cet alliage contient de l'aluminium, 12 à 14% de silicium, moins de 0,75% de fer, moins de 0,30% de manganèse, moins de 0,20% de cobalt. Ses caractéristiques mécaniques sont : densité 2,65, résistance 17 kg/mm<sup>2</sup>, limite élastique 8 kg/mm<sup>2</sup>, allongement 4%, dureté Brinell 55.

Il résiste aux mêmes produits que l'aluminium, tout en ayant de meilleures caractéristiques mécaniques.

## Aliage d'aluminium et cuivre

Cet alliage contient de l'aluminium, 4,2 à 5% de cuivre, 0,15 à 0,35% de titane, moins de 0,30% de fer, moins de 0,30% de silicium. Il peut subir un traitement thermique. Ses caractéristiques mécaniques sont : densité 2,8, résistance 30 kg/mm<sup>2</sup>, limite élastique 18 kg/mm<sup>2</sup>, allongement 5%, dureté Brinell 80.

C'est un alliage à haute résistance que l'on emploie notamment pour des raccords.

## Argent

Ses caractéristiques mécaniques sont : densité 10,5, point de fusion 961°C, résistance 38 kg/mm<sup>2</sup>, limite élastique 31 kg/mm<sup>2</sup>, allongement 2,4%, dureté Brinell 98. Non magnétique.

Ce métal résiste aux solutions alcalines, aux alcalis caustiques, à plusieurs fluides corrosifs tels que : acide et anhydride acétiques, acides sulfurique et phosphorique étendus, chlore, chlorure d'aluminium, crésol, phénol sec, etc. De nombreux procédés électrolytiques sont utilisés pour son dépôt sur des métaux courants.

## Bronze

Le bronze est un alliage de cuivre et d'étain avec adjonction de métaux et métalloïdes d'apport : antimoine, aluminium, nickel, plomb, zinc, silicium, phosphore, etc.

D'une manière générale, le bronze résiste bien à l'eau, la vapeur saturée, l'air, l'alcool. Mais il doit être proscrit pour les liquides alcalins ou basiques. On l'emploie dans l'industrie alimentaire sous forme étamée ou argentée.

Un type de bronze assez courant contient 87% de cuivre, 8% d'étain, 2,5% de zinc, 2% de plomb, 0,2% de nickel. Ses caractéristiques mécaniques sont : densité 8,5, point de fusion 850°C, résistance 19 kg/mm<sup>2</sup>, limite élastique 10 kg/mm<sup>2</sup>, allongement 13%, dureté Brinell 65.

Il existe de très nombreuses nuances. En voici quelques unes.

### Cuivre + étain 14%

Cuivre 86%, étain 14%. Il est utilisé pour les pièces **soumises à l'usure** par frottement et aux efforts élevés de pression, sans choc. Ses caractéristiques mécaniques sont : résistance 19 kg/mm<sup>2</sup>, limite élastique 16 à 21 kg/mm<sup>2</sup>, allongement 2 à 3 %, dureté Brinelle 100 à 120.

### Cuivre + étain + zinc + phosphore

Cuivre 85%, étain 12%, zinc 2%, phosphore 0,3%. Cet alliage est **très résistant aux frottements**, à l'écrasement et aux chocs. Ses caractéristiques mécaniques sont : résistance 25 à 35 kg/mm<sup>2</sup>, limite élastique 16 à 21 kg/mm<sup>2</sup>, allongement 10 à 20%, dureté Brinell 80 à 90.

Il est assez utilisé pour de nombreux appareils de robinetterie.

### Cuivre + étain 12%

Cuivre 88%, étain 12%. Cet alliage est **très résistant aux frottements**, à l'écrasement et aux chocs. Ses caractéristiques mécaniques sont : résistance 25 à 30 kg/mm<sup>2</sup>, limite élastique 14 à 20 kg/mm<sup>2</sup>, allongement 4 à 10%, dureté Brinell 80 à 90. Il est assez utilisé dans la construction navale.

### Cuivre + étain + phosphore

Cuivre 93%, étain 7%, phosphore moins de 0,35%. Sa résistance est de 100 à 80 kg/mm<sup>2</sup>. Il existe en fils pour la fabrication de ressorts.

## Cuivre rouge

Caractéristiques mécaniques : densité 8,9, point de fusion 1083°C, résistance 30-40 kg/mm<sup>2</sup>, limite élastique 30 kg/mm<sup>2</sup>, allongement 5-20%, dureté Brinell 80-100.

Le cuivre est généralement utilisé pour l'eau et l'alcool, mais il convient aussi pour le butane, le propane, le fréon, l'hydrogène, l'oxygène, le chlore et les composés chlorés, l'acétone, l'éther, les acétates, etc.

## Cupro-aluminiums

Ce sont des alliages de cuivre (souvent 90%) et d'aluminium (souvent 10%).

Leurs caractéristiques mécaniques sont les suivantes : densité 7,6, point de fusion 1000 à 1100°C, résistance 55-65 kg/mm<sup>2</sup>, limite élastique 25-35 kg/mm<sup>2</sup>, allongement 15 à 20%, dureté Brinell 150-180.

Ces alliages résistent bien aux acides minéraux concentrés, aux solutions sodiques et ammoniacales, à la potasse, à l'eau de mer et à la vapeur. Mais ils se soudent mal.

### Cupro-nickels

Ce sont en général des alliages Cu-Ni-Al ou Cu-Ni-Cr-Al avec 80 à 85% de cuivre, 14 à 16% de nickel, 3% d'aluminium et 2% de chrome.

Caractéristiques mécaniques moyennes : densité 8,6, résistance 75 à 90 kg/mm<sup>2</sup>, limite élastique 50 à 70 kg/mm<sup>2</sup>, allongement 5 à 10%, dureté Brinell 215-285, non magnétiques.

Cela signifie que ces alliages **sont de très haute résistance, durs et tenaces.**

Les **cupro-siliciums** (Cu-Ni-Si et Cu-Si-Al) sont utilisés pour leurs **excellentes qualités de frottement**, même sous de très fortes charges.

### Arcap

C'est un cupro-nickel avec Cu 65%, Nickel 25% avec du zinc, du magnésium et du fer. Ses caractéristiques sont voisines du Monel.

### Monel

Ce cupro-nickel contient 68% de nickel, 39% de cuivre, 3% de fer, manganèse et silicium.

Caractéristiques mécaniques : densité 8,83, point de fusion 1300-1350°C, résistance 55-65 kg/mm<sup>2</sup>, limite élastique 28-35 kg/mm<sup>2</sup>, allongement 30-45%, dureté Brinell 135-160, légèrement magnétique. Il conserve ces caractéristiques à haute température.

Il résiste bien à l'eau de mer et à la vapeur surchauffée, ainsi qu'à de nombreux agents corrosifs.

### Maillechort

Ce sont des alliages comportant environ 55% de Cu, 20 à 27% de Zn, 12 à 24% de Ni

### Etain

Caractéristiques mécaniques : densité 7,28, point de fusion 232°C, résistance 3 kg/mm<sup>2</sup>, limite élastique 0,9 kg/mm<sup>2</sup>, allongement 40%, dureté Brinell 5.

L'étain est attaqué par les acides et bases. Cependant il n'est plus attaqué à l'abri de l'air. C'est pourquoi on utilise des boîtes en fer blanc (acier étamé par électrolyse) pour la conserve de fruits acides et jus de fruits.

### Fonte

La fonte est du fer contenant plus de 1,9 % de carbone.

La **fonte grise** contient 3,2 à 3,4 % de carbone et ses caractéristiques mécaniques sont les suivantes : densité 7,2, point de fusion 1150 à 1250°C, résistance 18 à 22 kg/mm<sup>2</sup>, limite élastique 6 kg/mm<sup>2</sup>, allongement 0,5 à 1 %, dureté Brinell 200 à 225. Elle convient pour l'eau, le gaz, la vapeur saturée, les produits sodiques et pour un certain nombre d'acides.

Les **fontes spéciales** contiennent du chrome, du nickel ou du silicium.

Les **fontes ductiles** (fontes malléables et fontes à graphite sphéroïdal) ont des teneurs en carbone plus faibles et de meilleures caractéristiques mécaniques : résistance 35 à 80 kg/mm<sup>2</sup>, limite élastique 30 kg/mm<sup>2</sup>, allongement 15 à 20 %.

### Hastelloy

C'est un groupe d'alliages à haute teneur en nickel (de 50 à 85%).

Ils présentent une **grande résistance aux acides chlorhydrique et sulfurique** à toutes concentrations et températures, et à plusieurs cas de corrosion sévère.

### Inconel

C'est un alliage qui contient 80% de nickel, 14% de chrome et 6% de fer. Caractéristiques mécaniques : densité 8,51, point de fusion 1400°C, résistance 60-70 kg/mm<sup>2</sup>, limite élastique 25-38 kg/mm<sup>2</sup>, allongement 40-30%, dureté Brinell 135-175.

Il a une **grande résistance à la corrosion** et d'excellentes caractéristiques mécaniques qu'il garde aux températures de -40 à +370°C.

### Laiton

C'est un alliage de cuivre (60) et de zinc(40). Ses caractéristiques sont les suivantes : densité 8,6, point de fusion 900°C, résistance 30 kg/mm<sup>2</sup>, limite élastique 18 kg/mm<sup>2</sup>, allongement 22%, dureté Brinell 90 à 100.

Le laiton est employé dans la robinetterie.

### Nickel

Caractéristiques mécaniques : densité 8,8, point de fusion 1440°C, résistance 47-55 kg/mm<sup>2</sup>, limite élastique 13-20 kg/mm<sup>2</sup>, allongement 40-50%, dureté Brinell 85-115, magnétique.

Le nickel résiste à de très nombreux acides et aux hautes températures. Il est d'un prix élevé ; c'est pourquoi on lui préfère les aciers inoxydables.

### Plomb

Caractéristiques mécaniques : densité 11,34, point de fusion 327°C, résistance 1,22 kg/mm<sup>2</sup>, limite élastique 0,44 kg/mm<sup>2</sup>, allongement 30 à 40%, dureté Brinell 3,2 à 4,5.

En général, on préfère un alliage de plomb (80 à 95%) et d'antimoine (20 à 5%), appelé **plomb durci**. Les caractéristiques mécaniques de celui-ci sont : densité 10,7, point de fusion 270°C, résistance 4 à 5 kg/mm<sup>2</sup>, allongement 20%, dureté Brinell 13 à 15. Le plomb résiste à presque tous les acides, mais son emploi est limité en température et en pression.

### Stellite

C'est un alliage de tungstène, chrome et cobalt, avec une bonne dureté Brinell de valeur 400. Sa température d'utilisation varie de 500 à 650°C suivant la nuance.

On l'utilise en métal d'apport (dépôt à l'arc ou au chalumeau) dans le cas de haute pression et haute température.

### Tombac

C'est un alliage de cuivre (80%) et de zinc (20%). Ses caractéristiques mécaniques : densité 8,75, point de fusion 1025°C, résistance 28kg/mm<sup>2</sup>, limite élastique 8 kg/mm<sup>2</sup>, allongement 45%, dureté Brinell 50. On l'utilise pour la réalisation de membranes et soufflets.

# Production de vapeur d'eau

## Thermodynamique de la vapeur d'eau

Quand, dans un récipient maintenu à pression constante, se trouve une certaine masse d'eau dont une partie liquide est surmontée de vapeur et en contact avec elle, le liquide se transformerait en vapeur si la température tendait à monter. Inversement, une partie de la vapeur se condenserait si la température tendait à baisser.

De même, dans un ballon convenablement calorifugé et à température constante, s'il se trouve de l'eau liquide et de la vapeur en contact, quand on provoque un abaissement de pression, par ouverture d'un robinet par exemple, on constate qu'une partie de l'eau se vaporise.

On démontre ainsi qu'il ne peut y avoir équilibre entre eau et vapeur qu'à la condition que la température commune de l'une et de l'autre ait une certaine valeur qui est appelée **température de vaporisation**. Dans ce cas l'eau est dite **bouillante** et la vapeur **saturée**.

A chaque pression correspond une température de vaporisation déterminée.

On sait que sous la pression atmosphérique normale (1,013 bar) la température de saturation est 100°C. Elle s'élève quand la pression croît.

Cette loi reste vraie pour les pressions inférieures à la pression atmosphérique (vide partiel). La température de saturation est alors inférieure à 100°C et s'abaisse d'autant plus vite que le vide est plus poussé

Quand on chauffe une chaudière, un récipient ou une tuyauterie contenant de l'eau sous une pression supérieure à la pression atmosphérique et que la température de cette eau s'élève, on dit que l'eau est **chaude** tant que sa température n'atteint pas 100°C. On dit qu'elle est **surchauffée** aux températures supérieures.

Quand on vaporise de l'eau, dans une chaudière par exemple, les bulles de vapeur formées dans la masse de liquide montent, crèvent le plan d'eau et se dégagent dans la chambre de vapeur en entraînant avec elles une petite quantité d'eau (*eau vésiculaire*) qui peut rester liquide du fait du très faible diamètre des gouttes. Le **titre** de la vapeur est le rapport en % du poids de vapeur au poids de l'eau liquide coexistant dans un volume déterminé. Le titre de la vapeur saturée produite par une chaudière dépend de beaucoup d'éléments, notamment impuretés de l'eau, pression, poids de vapeur dégagée par mètre carré de plan d'eau, etc. Il atteint couramment 97% et parfois moins ; aussi est-il souvent utile de prévoir un sécheur d'air à la sortie de la chaudière.

Quand le titre de la vapeur saturée est 100% on dit que la vapeur est **sèche**. Elle est **humide** dans le cas contraire.

Il est possible d'obtenir, sous une pression déterminée  $p$ , de la **vapeur surchauffée**, c'est-à-dire à une température supérieure à la température de vaporisation correspondant à  $p$ , mais pour cela il faut la soustraire au contact de l'eau liquide. Certaines chaudières sont équipées à cet effet d'un faisceau surchauffeur, nécessairement distinct du faisceau vaporisateur.

Pour transformer 1 kg d'eau prise liquide à 0°C en vapeur saturée à la pression  $p$  il faut lui fournir les calories suivantes :

- 1° Les calories nécessaires pour élever la température de l'eau de 0 à  $t_s$ ,  $t_s$  étant la température de saturation correspondant à la pression  $p$ . C'est la *chaleur sensible* de l'eau de 0 à  $t_s$ .
- 2° Les calories nécessaires pour transformer l'eau liquide en vapeur, toujours à cette même température  $t_s$ . C'est la *chaleur latente de vaporisation*.

La quantité totale de calories à fournir, ou *chaleur totale de vaporisation* est la somme : chaleur sensible + chaleur latente de vaporisation.

On peut trouver dans le **diagramme de Mollier** ci-après *chaleur totale de vaporisation et chaleur totale de vaporisation et de surchauffe* pour différentes pressions et différentes températures.

## Diagramme de Mollier

Le diagramme de Mollier ci-après a pour coordonnées : l'entropie en abscisse et l'enthalpie en ordonnée.

L'entropie d'un système est le nom donné à la fonction  $S = \int dQ/T$  dans laquelle  $dQ$  est la quantité de chaleur reçue (signe +) ou fournie (signe -) par le système à la température absolue  $T$ , au cours d'une transformation réversible. C'est une grandeur purement abstraite. L'augmentation de l'entropie est liée à une dégradation de l'énergie.

L'enthalpie est la fonction  $H = U + pV$ ,  $U$  étant l'énergie interne du système,  $p$  et  $V$  sa pression et son volume. Quand le système subit une transformation à pression constante, la différence d'enthalpie entre l'état final et l'état initial  $H_2 - H_1$  est égale à la quantité de chaleur mise en jeu. c'est pourquoi l'enthalpie s'exprime dans les unités habituelles de quantité de chaleur.

- ✓ Le zéro des échelles d'entropie et enthalpie correspond à l'eau en phase liquide, à la température de la glace fondante, sous la pression atmosphérique normale (760 mm H<sub>1</sub>).
- ✓ L'échelle entropique est graduée en kcal/kg °C.
- ✓ L'échelle enthalpique est graduée en kcal/kg.
- ✓ Les pressions sont des pressions absolues en kg/cm<sup>2</sup> (soit pression manométrique + pression atmosphérique). Pour les traduire en bars, les multiplier par 0,98.
- ✓ Les températures sont des températures centisémales en °C.
- ✓ La courbe en trait fort est la courbe de saturation.

Le diagramme de Mollier permet de résoudre de nombreux problèmes. En voici quelques exemples.

**Problème 1.- Quelle est la quantité de chaleur à fournir à 1 kg d'eau prise à 0 °C pour la transformer :**

**1° En valeur saturée à 10 kg/cm<sup>2</sup> pression absolue ?**

**2° En vapeur à 10 kg/cm<sup>2</sup> pression absolue, surchauffée à 300°C ?**

**Solution**

1° Le diagramme donne immédiatement la réponse : sur la courbe de saturation, à l'endroit où elle coupe la courbe de la pression absolue 10 kg/cm<sup>2</sup> (point A), on lit le résultat sur l'échelle enthalpique, à gauche, soit **663 kcal**.

2° Pour la vapeur surchauffée, on opère de même d'après le point B, rencontre de la courbe de température 300°C et de la pression absolue 10 kg/cm<sup>2</sup> ; on lit à gauche **729 kcal**.

**Problème 2.- Quelle est la quantité de chaleur à fournir à 1 kg d'eau prise à 15°C pour la transformer en vapeur saturée à 10 kg/cm<sup>2</sup>, pression absolue ?**

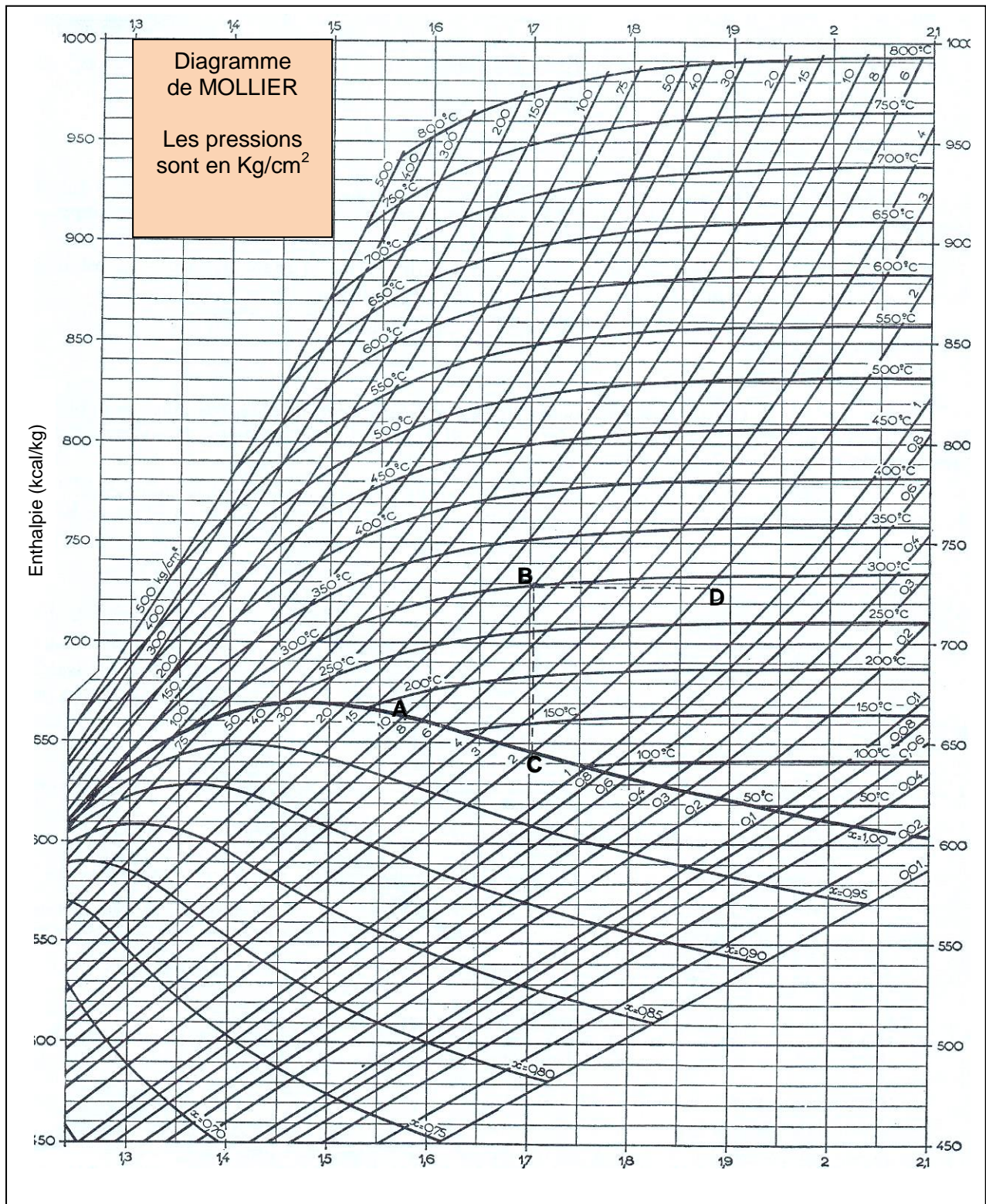
**Solution**

Si l'eau avait été prise à 0°C, il aurait fallu 663 kcal (problème 1, point A).

Comme elle se trouve à 15°C, ce chiffre doit être diminué de la chaleur sensible de l'eau de 0 à 15°C, soit pratiquement 15 kcal/kg.

Réponse : 663 – 15 = 648 kcal.





Document SERSEG

**Problème 3.-** On dispose de vapeur à 10 kg/cm<sup>2</sup>, pression absolue, surchauffée à 300°C (point B du diagramme). On l'envoie dans une turbine à contre-pression supposée parfaite (rendement 100%).

**Première question :** Quelle contre-pression faut-il adopter pour éviter la formation d'eau liquide dans les aubes ?

### Solution

La turbine étant supposée parfaite, toute l'énergie calorifique de la vapeur est transformée en travail extérieur, l'entropie est invariable. La détente est représentée sur le diagramme par une verticale partant du point

On voit que cette verticale coupe la ligne de saturation au point C correspondant à une pression absolue d'environ 2 kg/cm<sup>2</sup>. Si on prolongeait la détente, on entrerait dans la zone de la vapeur humide, il commencerait à se former de l'eau liquide.

Réponse : **Contre-pression 2 kg/cm<sup>2</sup>, pression absolue.**

### Deuxième question : Quelle puissance pourra développer la turbine ?

#### Solution

Enthalpie de la vapeur à l'entrée (point B) 729 kcal/kg

Enthalpie de la vapeur à la sortie (point C) 646 kcal/kg

Calories fournies par la vapeur..... 83 kcal/kg

Sachant que l'équivalent calorifique du kilowatt est de 860 kcal ces 83 kcal correspondent à :

$$\frac{83}{860} = 0,095 \text{ kWh}$$

Réponse : **0,095 kW/kg/h de vapeur**

**Problème 4. – On dispose de vapeur à 10 kg/cm<sup>2</sup>, pression absolue, surchauffée à 300°C (point B du diagramme). On la détend à 2 kg/cm<sup>2</sup>, pression absolue, dans un détendeur (supposé parfaitement isolé). Quelle sera sa température à la sortie ?**

#### Solution

Puisqu'il n'y a ni travail, ni échange calorifique avec l'extérieur, l'enthalpie est invariable. La détente est représentée par une horizontale partant du point B.

On voit que cette horizontale coupe la courbe correspondant à la pression de 2 kg/cm<sup>2</sup> au point D qui se trouve entre les courbes 250 et 300°C. Par extrapolation, on lit 287°C.

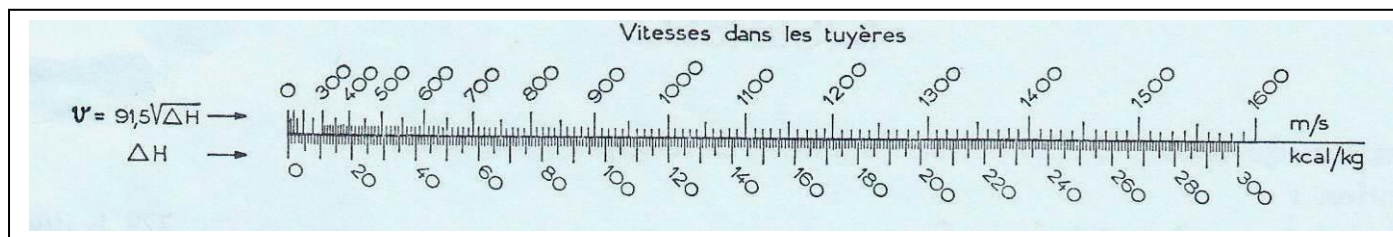
Réponse : **287°C.**

**Problème 5 : On dispose de vapeur à 10 kg/cm<sup>2</sup>, pression absolue, surchauffée à 300°C. On la détend dans une tuyère supposée parfaite, au col de laquelle règne une pression de 2 kg/cm<sup>2</sup>. Quelle est la vitesse de la vapeur en ce point ?**

#### Solution

Pour résoudre ce problème, on utilise l'échelle suivante qui donne directement la correspondance entre la variation d'enthalpie ( $\Delta H$ ) et la pression déduite de la formule :

$$v = 91,5 \sqrt{\Delta H}$$



D'où la solution.

Enthalpie de la vapeur en amont  $H = 729 \text{ kcal/kg}$

Enthalpie de la vapeur au col.....  $H = 646 \text{ kcal/kg}$

Variation d'enthalpie.....  $H = 83 \text{ kcal/kg}$

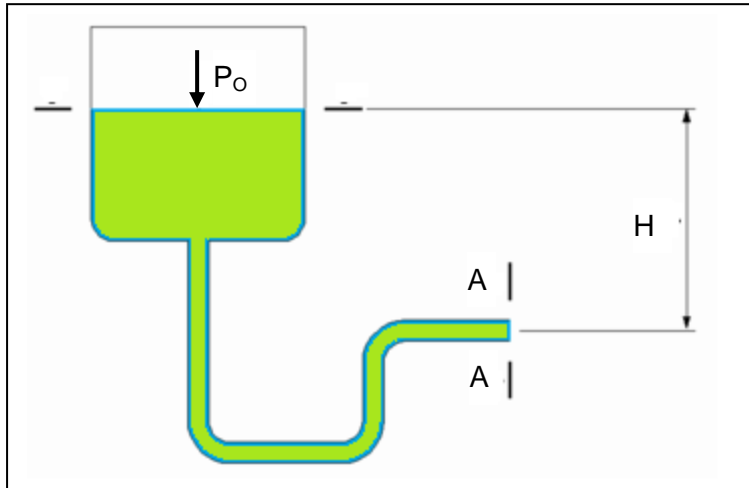
Sur l'échelle, en regard du chiffre 83 pris sur la graduation inférieure, on lit sur la graduation supérieure le chiffre 832.

Réponse :  **$v = 832 \text{ m/s}$**

# NPSH et hauteur manométrique

## NPSH

NPSH est un sigle qui signifie « net positive suction head ». En un point d'un circuit hydraulique, la valeur NPSH mesure la différence entre la pression du liquide et sa pression de vapeur saturante. C'est un paramètre important à prendre en compte : lorsque la pression d'un liquide descend sous la valeur de la pression de vapeur, le liquide bout. Ce phénomène est très dangereux à l'intérieur d'une pompe centrifuge car il s'agit de **cavitation** qui endommage la roue et le corps de pompe.



$$\text{NPSH} = \frac{P_0 - P_v}{\rho g} + H - J$$

- $P_0$  est la pression à la surface du réservoir
- $H$  est la hauteur géométrique ; dans le cas d'une pompe elle est positive si la pompe est en charge, elle est négative dans le cas contraire.
- $J$  est la perte de charge.
- $P_v$  est la pression de vapeur saturante.
- $\rho$  est la masse volumique du fluide.
- $g$  est l'accélération de la pesanteur.

La valeur du NPSH se mesure en **mcf** : mètres colonne de fluide. Cette valeur est appelée **NPSH disponible**.

Lorsque le fluide est accéléré par une pompe, il faut une dépression supplémentaire ; c'est ce que l'on appelle de **NPSH requis**. Il est donné par le fabricant de la pompe et varie de 0,5 à 3 mcf.

Pour éviter la cavitation, le NPSH disponible doit être supérieur au NPSH requis.

## Hauteur manométrique

La hauteur manométrique totale d'une pompe est la différence de pression du liquide la franchissant, exprimée en mètre colonne d'eau. On utilise généralement ce terme lorsque le liquide pompé est de l'eau.



Plutôt que d'exprimer cette valeur en Pascal ou en bar, unités classiques de pression, cette valeur est généralement donnée en mètres colonne d'eau (MCE), soit la hauteur de la colonne d'eau (aux conditions normales de température et de pression) nécessaire pour créer une pression identique. Les MCE ( $h$ ) sont liés à la pression ( $P$ ) par la formule classique de la pression hydrostatique

$$p = \rho \cdot g \cdot h$$

où  $\rho$  est la masse volumique de l'eau (1 000 kg/m<sup>3</sup> à 4 °C) et  $g$  l'accélération de la pesanteur (9,81 m/s<sup>2</sup>).

La conversion est la suivante :

- 1 bar correspond à environ 10,19 MCE (à 4 °C) ;
- inversement, 1 m d'eau correspond environ à 98,1 mbar (à la même température).

Lorsqu'une pompe est associée à une canalisation, la Hauteur Manométrique Totale est l'addition de :

- a. la hauteur géométrique totale (différence d'altitude entre l'entrée du liquide et sa sortie à l'atmosphère) ;
- b. des pertes de charges, elles-mêmes composées des pertes de charges régulières et singulières ;
- c. de la pression de refoulement à la sortie.

# Matériels courants

	Page
<b>Boulonnerie</b> .....	560
<b>Roulements</b> .....	564
<b>Chaînes</b> .....	576
<b>Courroies</b> .....	581
<b>Accouplements</b> .....	595
<b>Réducteurs</b> .....	606
<b>Joints</b> .....	616
<b>Garnitures mécaniques</b> .....	621
<b>Pompes</b> .....	640
<b>Vannes</b> .....	658
<b>Hydraulique</b> .....	663
<b>Organes divers</b> .....	698
<b>Purgeurs</b> .....	706

# Boulonnerie

## Filetages

### Filetage métrique ISO à filet triangulaire

Ce filetage est le plus utilisé en visserie-boulonnerie.

Son profil est défini à partir d'un triangle équilatéral.

La lettre **M** symbolise le filetage ISO

### Filet gaz ou filetage pas du gaz

Filetages étanches : vis à profil conique et écrou à profil cylindrique ; l'étanchéité est assurée par le serrage métal sur métal et, au besoin, par interposition d'une pâte à joint insensible à la nature du gaz. La lettre **R** est le symbole.

Filetages non étanches : vis et écrou ont un profil cylindrique.

La lettre **G** est le symbole.

### Filet trapézoïdal

Il permet de réaliser des vis de manœuvre ou de transmission d'efforts et accepte mieux les traitements thermiques que le filet triangulaire. Symbole **Tr**

### Profil rond

C'est le plus résistant aux chocs. Il peut supporter des efforts importants et sa forme arrondie limite le phénomène de concentrations de contraintes. Symbole **Rd**

### Filetage à droite – filetage à gauche

Le serrage d'une vis à droite est réalisé en tournant la tête dans le sens des aiguilles d'une montre et inversement pour une vis à gauche.

A l'intention de l'utilisateur on indique les pièces filetées à gauche par :

- une ou deux saignées légères ;
- un triangle ou une flèche orientés dans le sens du vissage.

Le repérage doit rester visible lorsque la pièce est dans son logement.

## Classes de qualité

### **Cas des vis**

La classe est symbolisée par deux nombres.

Le premier est le centième de la résistance minimale à la rupture par traction ( $R_r$ ) du matériau en  $N/mm^2$ .

Le second représente 10 fois le rapport entre la limite élastique ( $R_c$ ) minimale et la résistance à la rupture  $R_r$ .

### Exemple : vis de classe 8-8

$R_r$  (mini) =  $100 \times 8 = 800 N/mm^2$  (80  $Kg/mm^2$ )

$R_c$  (mini) =  $R_r \times Y/10 = 800 \times 8/10 = 640 N/mm^2$  (64  $Kg/mm^2$ )

### Remarque

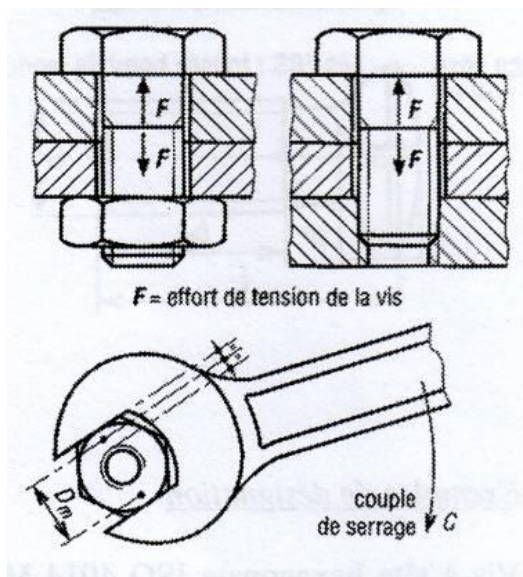
Le produit des deux nombres est égal à  $R_c$  en  $daN/mm^2$ .

## Cas des écrous

La classe est symbolisée par un nombre indiquant le centième de la contrainte d'épreuve en N/mm<sup>2</sup>, c'est-à-dire de la limite obtenue par essai, réalisée par exemple avec une vis de classe supérieure.

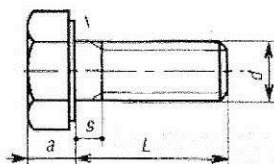
## Cas des boulons

Leur symbolisation est identique à celle des vis.

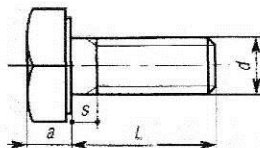


## Vis d'assemblage

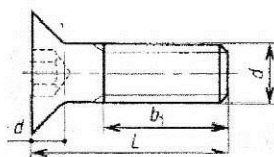
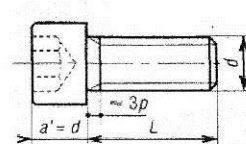
Vis H : tête hexagonale



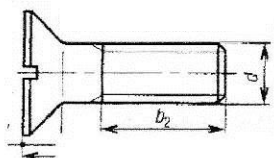
Vis Q : tête carrée



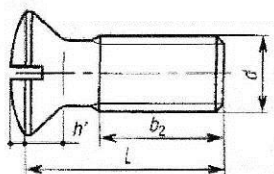
Vis CHC : 6 pans creux



Vis FHC : fraisée 6 pans creux

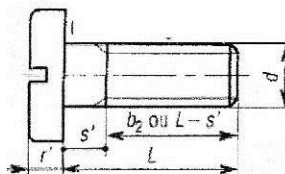


Vis FS : fraisée fendue

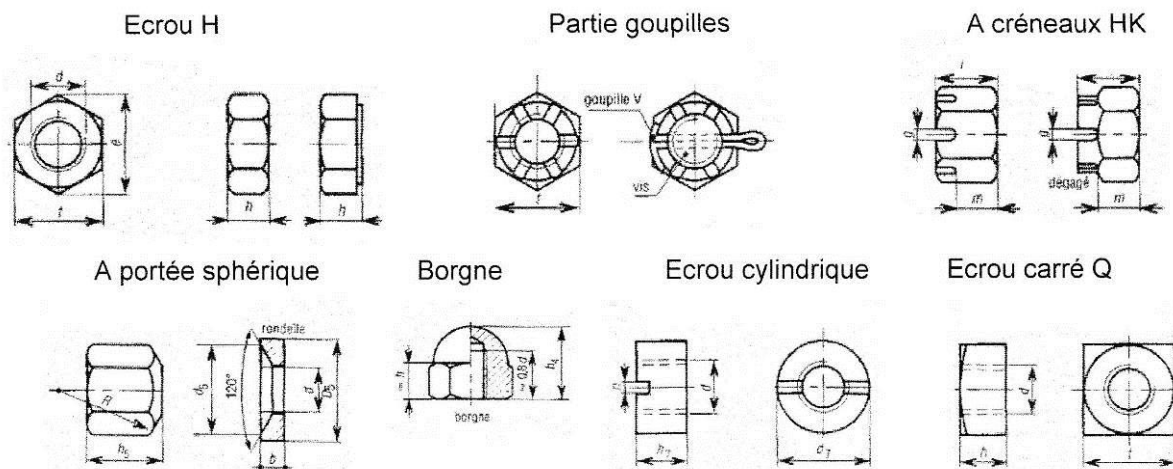


Vis FBS : fraisée bombée fendue

Vis cylindrique fendue CLS tête large



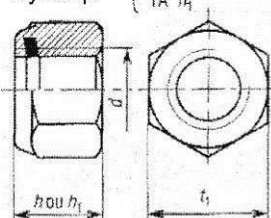
## Ecrous



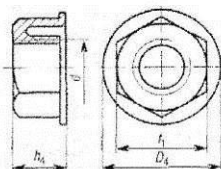
## Ecrous autofreinés

Bague frein incorporée

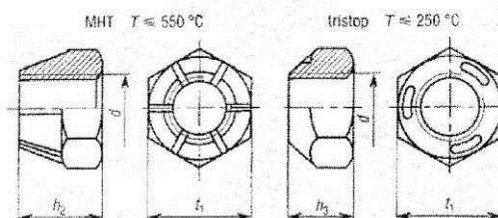
Nylstop



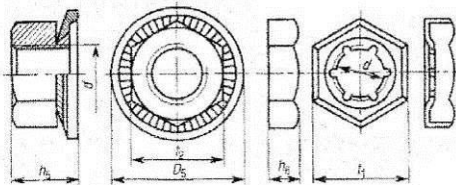
Elastique Serpress SP



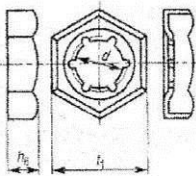
Par déformation du diamètre fileté



A rondelle sertie twolock



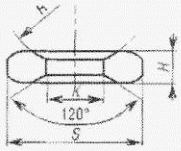
Elastique en tôle PAL



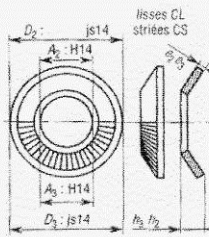


## Rondelles

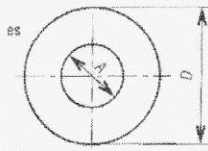
Rondelle à portée sphérique



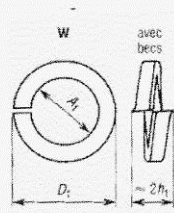
Rondelle à portée sphérique



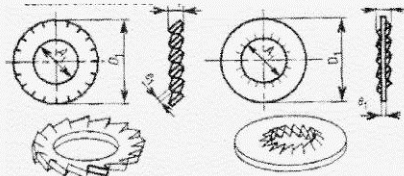
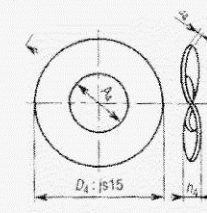
Rondelle plate



Rondelle Grower



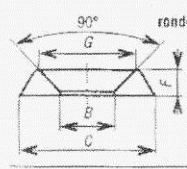
Rondelle ondulée à 2 ondes



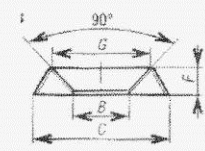
Rondelles à dents chevauchantes  
DEC

DIC

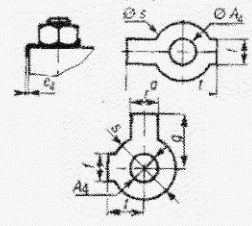
Rondelle cuvette usinée



Rondelle cuvette emboutie



Tôle frein à bords relevés



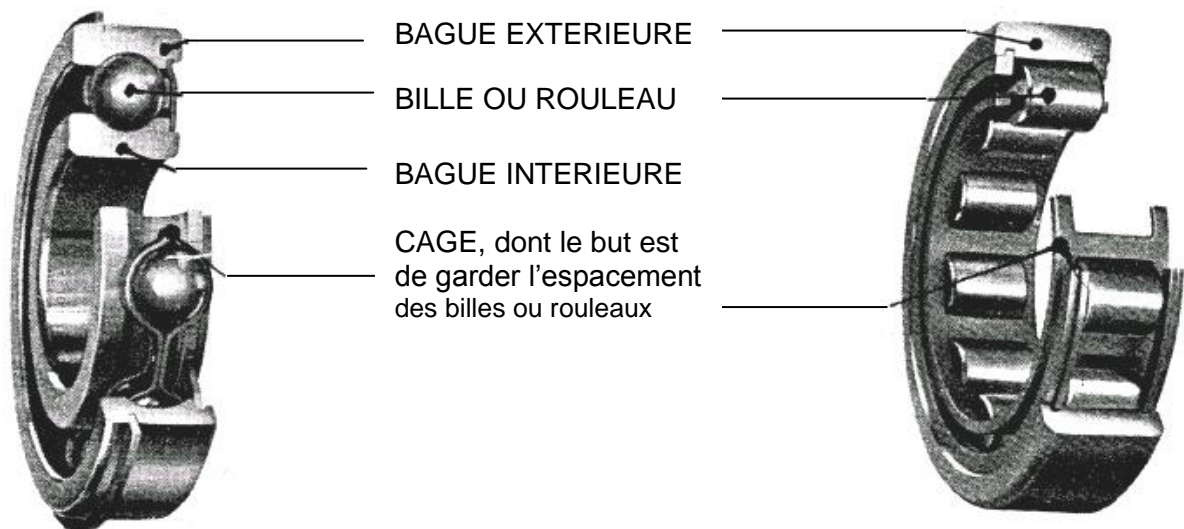
## Roulements

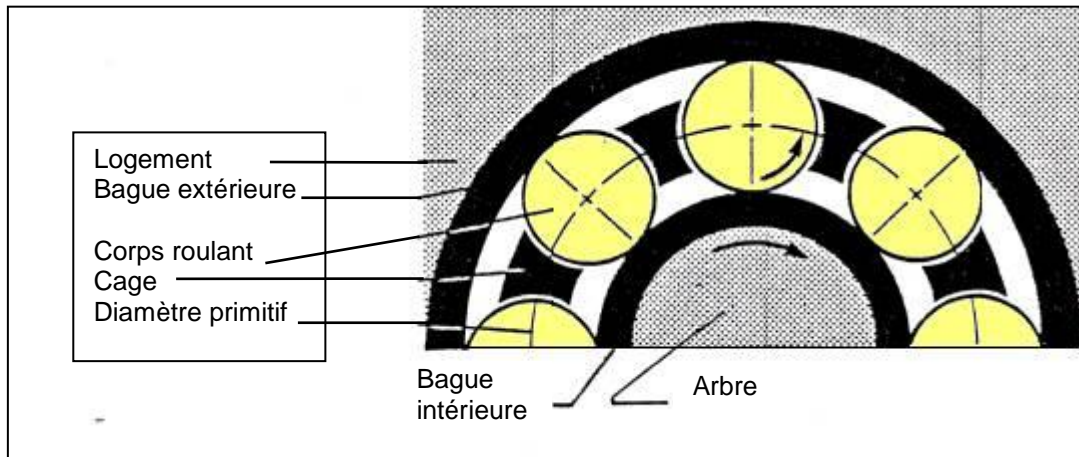
### Qu'est-ce qu'un roulement ?

Le roulement est un élément de construction mécanique qui a pour but de réduire au minimum la friction entre 2 éléments en rotation l'un par rapport à l'autre.

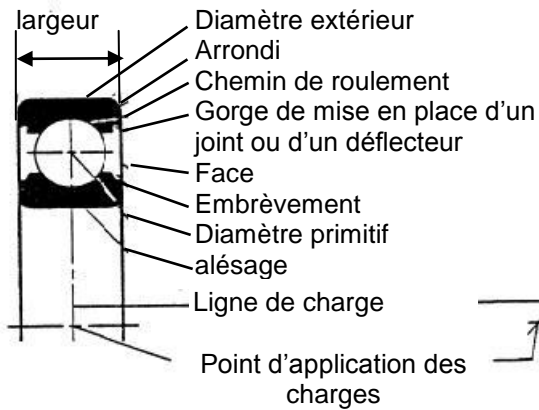
Le roulement le plus simple est constitué :

- d'une bague extérieure, ou cuvette ( appellation courante pour les roulement à rouleaux coniques );
- d'une rangée de billes ou de rouleaux ( appelés parfois 'galets' pour les roulements à rouleaux coniques );
- d'une cage dont le but est de garder l'espacement des billes ou rouleaux;
- d'une bague intérieure ou cône ( appellation courante pour les roulements à rouleaux coniques ).

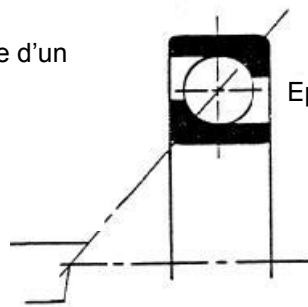




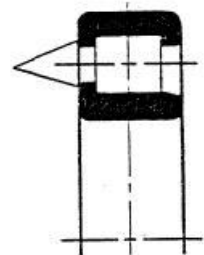
## Roulement à billes



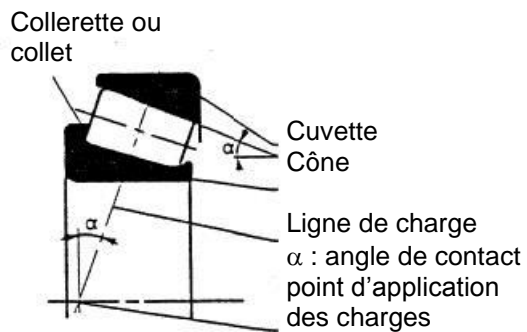
## Roulement à billes à contact oblique



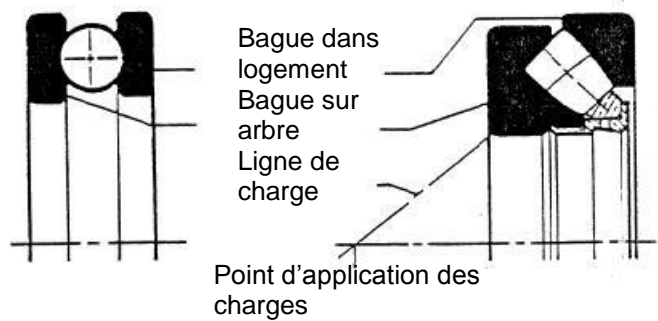
## Roulement à rouleaux cylindriques



## Roulement à rouleaux coniques



## Butées



### Différents types de roulements

Il existe de très nombreux types de roulements à billes, à rouleaux cylindriques, à rouleaux coniques, à une, deux ou quatre rangées, etc...

#### **Roulements rigides à billes**

Ils conviennent pour les applications de moindres dimensions. La capacité de charge radiale des petits roulements à billes est, en effet, à peine inférieure à celle des roulements à rouleaux de même encombrement, et ils sont d'un entretien plus aisé.

Certains roulements à billes comportent une encoche de remplissage rendue nécessaire par le nombre accru de billes; ces roulements ont de ce fait une capacité de charge supérieure à la normale.

#### **Roulements à billes à contact oblique**

Ils conviennent lorsque des charges de butée importantes doivent être supportées à grandes vitesses.

#### **Roulements à rotule sur billes ou à rotule sur rouleaux**

Ils sont à être utilisés si l'arbre est appelé à occuper une position oblique par rapport au palier, en raison de leur aptitude à s'aligner automatiquement.

#### **Roulements à rouleaux cylindriques d'exécution courante**

Ils ne peuvent pas supporter les poussées axiales. Par contre, ils permettent le coulissement de l'arbre dans certaines limites.

#### **Roulements à rouleaux (ou galets ) coniques**

Ils conviennent pour les dispositifs soumis à des charges complexes élevées; ils permettent par ailleurs tous les réglages possibles de jeu ou de précontrainte.

#### **Butées à billes**

Elles sont destinées à supporter des poussées axiales. Elles ne peuvent pas supporter de charges radiales.

#### **Butées à rotule sur rouleaux**

Elles peuvent supporter non seulement des poussées axiales considérables mais aussi des charges radiales importantes.

#### **Roulements à aiguilles**

Ce sont des roulements à rouleaux très compacts en diamètres, utilisés pour leur faible encombrement.

Il existe encore d'autres types de roulements, par exemple des roulements spéciaux pour grues, pour hélicoptères, etc...

La plupart des types cités admettent des bagues à collerettes, des entretoises prédéterminées pour réglage, des alésages coniques; certains peuvent être étanches et graissés à vie, etc.

Généralement les roulements sont en acier au chrome trempé, ce qui donne une dureté de l'ordre de 60 RC.

Certains sont en acier cémenté, ce qui diminue le risque de "casse" et confère une dureté superficielle de 90 RC ( couche de cémentation 1 mm ).

Ils peuvent être décollétés ou forgés, ou décollétés et galetés.

# Matériels courants : roulements

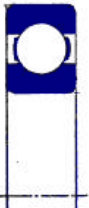
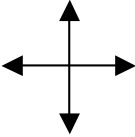
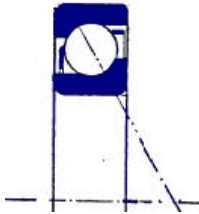
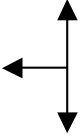
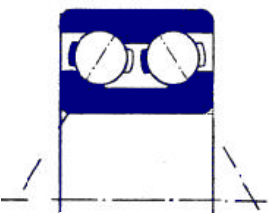
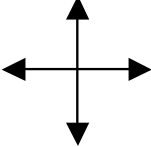

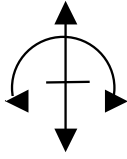

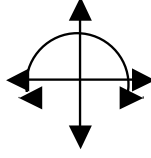
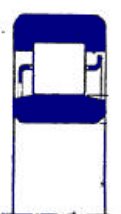


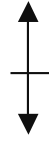
Schéma	Type	Force	Vitesse
	Roulement à une rangée de billes (« à billes » ou « rigides à billes »)		Grande
	Roulement à contact oblique, à billes		Moyenne
	Roulement à 2 rangées de billes, à contact oblique		Moyenne
	Roulement à rotule sur 2 rangées de billes		Grande
	Roulement à rotule sur 2 rangées de rouleaux		Moyenne
	Roulement à rouleaux cylindriques		Grande
	Roulement à 2 rangées de rouleaux cylindriques		Grande


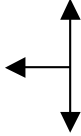
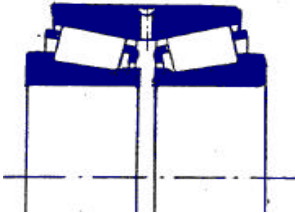
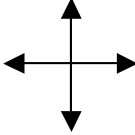
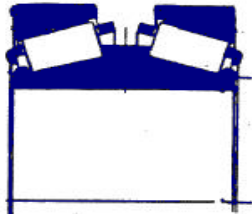
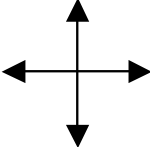
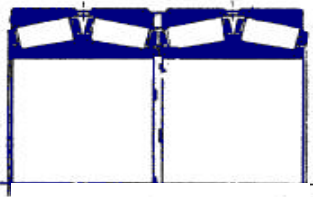
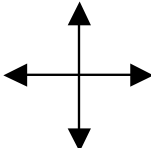
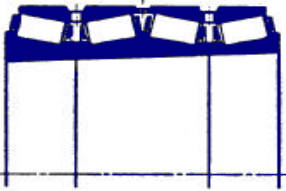
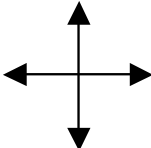
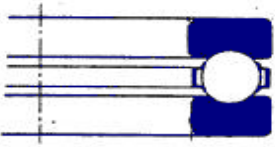

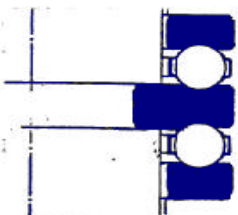
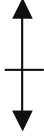
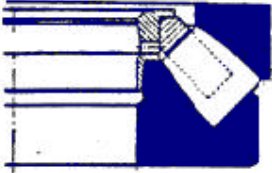
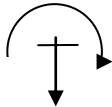
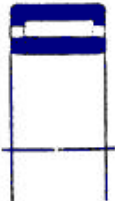
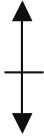
Schéma	Type	Force	Vitesse
	Roulement à une rangée de rouleaux coniques		Grande
	Roulement à deux rangées de rouleaux coniques ; montage en direct		Grande
	Roulement à 2 rangées de rouleaux coniques ; montage en indirect		Grande
	Roulement à quatre rangées de rouleaux coniques ; type TQO		Moyenne
	Roulement à quatre rangées de rouleaux coniques ; type TQI ou TQIT avec alésage conique		Grande
	Butée à une rangée de billes		Moyenne
	Butée à deux rangées de billes		Moyenne

Schéma	Type	Force	Vitesse
	Butée à rotule sur rouleaux		Faible
	Roulement à aiguilles		Moyenne

La plupart des types cités admettent des bagues à collerettes, des entretoises prédéterminées pour réglage, des alésages coniques ; certains peuvent être étanches et graissés à vie, etc...

Généralement les roulements sont en acier au chrome trempé, ce qui donne une dureté de l'ordre de 60 RC.

Certains sont en acier cémenté, ce qui diminue le risque de « casse » et confère une dureté superficielle de 90 RC (couche de cémentation : 1 mm).

Ils peuvent être décolletés ou forgés, ou décolletés et galetés.

Les cages peuvent être en acier embouti, en polymère ou en laiton.

Les roulements se différencient :

- par leur type : forme des corps roulants, conception interne...
- par leurs dimensions : proportion ( roulements étroits ou larges), taille (roulements légers ou forts ),
- par leur alésage.

Ces caractéristiques sont fixées par une norme et symbolisées par un code pour un certain nombre de roulements types.

## Réglage des roulements

Le réglage des roulements n'est à prévoir que pour :

- les roulements à rotule à alésage conique (voir « règle de l'art »),
- les roulements à une rangée de billes à contact oblique (montés en opposition, suivant disposition en O ou en X),
- les roulements à rouleaux coniques (montés en opposition, suivant disposition en O ou en X),



Cependant certains de ceux-ci sont livrés réglés par les constructeurs sous forme de

- roulements simples entretoisés,
- roulement double entretoisé,
- roulement quadruple entretoisé.

Dans ce cas, le réglage est obtenu par interposition d'entretoises mises à une cote déterminée pour obtenir un jeu de fonctionnement correct après montage sur des portées et dans des logements aux cotes soigneusement respectées.

Les méthodes de réglage des roulements à billes à contact oblique s'apparentent aux méthodes de réglage des roulements à rouleaux coniques.

Contrairement aux autres types de roulements ( sauf les roulements à billes à contact oblique ) dont le jeu, propre à chaque roulement, se mesure radialement, les roulements à rouleaux coniques, qui se montent toujours par paires, ont un jeu qui se mesure axialement ( latéralement ) entre les 2 roulements considérés.

Ce jeu axial peut être positif ou négatif ( roulements montés avec précharge quand la condition principale exigée est la rigidité de la partie tournante ).

Pour connaître la valeur du jeu, il faut se référer à la recommandation du constructeur de la machine.

Si cette documentation n'existe pas, estimez le jeu nécessaire en fonction des informations suivantes.

### Détermination du jeu latéral de fonctionnement ( ou jeu axial )

Le réglage idéal, c'est-à-dire sans jeu, peut être réalisé sous certaines conditions de vitesse ( mécanismes à très faibles vitesses ), de mouvement ( oscillations ), de lubrification ( pignons d'attaque et différentiels de véhicules ) ou de précision ( broches de machines-outils avec roulements de précision ).

Dans les applications courantes où ces conditions ne sont pas réalisées, il est normal de prévoir un jeu latéral de fonctionnement.

Dans la majorité des cas, le réglage des roulements est satisfaisant avec un jeu latéral de 0,05 à 0,20mm.

Dans les cas particuliers où il faut tenir compte de certains impératifs, le réglage est déterminé après étude de ces facteurs :

- a - dimensions des roulements et vitesse
- b - angle
- c - écartement
- d - lubrification
- e - charge
- f - conditions de fonctionnement

Il s'agit de réaliser un compromis entre un réglage idéal, donc sans jeu, mais qui risquerait de provoquer un échauffement anormal ( sauf cas particuliers où la lubrification a été conçue en conséquence, notamment pour les roulements préchargés ), ou un réglage avec jeu excessif donnant tout apaisement en ce qui concerne l'échauffement propre des roulements, mais de piètre qualité mécanique.



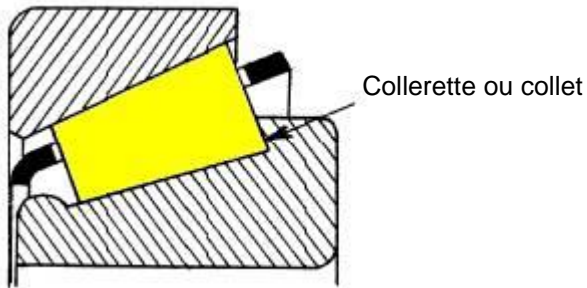
## Matériels courants : roulements

Ce compromis, ou jeu optimum, doit tenir compte des différents facteurs énumérés précédemment, de la façon suivante.

### Dimensions des roulements et vitesse

Ce jeu doit augmenter avec les dimensions des roulements et les vitesses. Dans les cases du tableau ci-dessous figure le JEU MINIMUM DE BASE valable pour un montage horizontal sur 2 roulements de même symbole.

Si les roulements sont de symboles différents, faire la moyenne des jeux trouvés pour chaque symbole



		Dans les cases : jeu latéral en 0,001 mm														
		48	68	88	108	128	148	168	188	208	228	248	268	288	308	328
Circonférence de la collerette du cône en mètre	1,6	45	64	83	102	121	140	159	178	197	216	235	254	273	292	311
	1,5	42	60	78	96	114	132	150	168	186	204	222	240	258	276	294
	1,4	39	56	73	90	107	124	141	158	175	192	209	226	243	260	277
	1,3	36	52	68	84	100	116	132	148	164	180	196	212	228	244	260
	1,2	33	48	63	78	93	108	123	138	153	168	183	198	213	228	243
	1,1	30	44	58	72	86	100	114	128	142	156	170	184	198	212	226
	1,0	27	40	53	66	79	92	105	118	131	144	157	170	183	196	209
	0,9	24	36	48	60	72	84	96	108	120	132	144	156	168	180	192
	0,8	21	32	43	54	65	76	87	98	109	120	131	142	153	164	175
	0,7	18	28	38	48	58	68	78	88	98	108	118	128	138	148	158
	0,6	15	24	33	42	51	60	69	78	87	96	105	114	123	132	141
	0,5	12	20	28	36	44	52	60	68	76	84	92	100	108	116	124
	0,4	9	16	23	30	37	44	51	58	65	72	79	86	93	100	107
	0,3	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72	78	84	90
	0,2	3	8	13	18	23	28	33	38	43	48	53	58	63	68	73
	0,1	3	8	13	18	23	28	33	38	43	48	53	58	63	68	73
		100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	
		Vitesse à la collerette du cône en mètres/minute														

### Angle

Le désaxage entre l'élément fixe et l'élément tournant d'un mécanisme augmente d'autant plus rapidement avec le jeu que les roulements ont un grand angle. Tout en respectant l'influence des autres facteurs, il faudra cependant maintenir le jeu dans des limites compatibles avec un fonctionnement correct.

## Ecartement

Dans un mécanisme à arbre tournant fonctionnant dans une température ambiante normale, l'échauffement de l'arbre précède toujours l'échauffement des logements ( bâtis, boîtiers, etc...); il faut donc tenir compte de ce fait et prévoir, suivant les cas :

- Montage direct ( roulements opposés par le gros bout des galets )

Un jeu d'autant plus grand que les roulements sont écartés et que l'inertie thermique des logements, bâtis, etc. . . sera grande; le tableau suivant indique les dilatations des arbres suivant leur échauffement ( attention : ne tenir compte que de la longueur effective qui s'échauffe ).

- Montage indirect

Un jeu normal conditionné par les autres facteurs mais restant vers le minimum tolérable pour éviter un jeu excessif en cas d'échauffement.

Dilatation longitudinale des arbres, ou dilatation diamétrale des paliers

Cote en mm	10°C	20°C	30°C	40°C	50°C	60°C
50	0,006	0,012	0,018	0,024	0,030	0,036
75	0,009	0,018	0,027	0,036	0,045	0,054
100	0,012	0,024	0,036	0,048	0,060	0,072
125	0,015	0,030	0,045	0,060	0,075	0,090
150	0,018	0,036	0,054	0,072	0,090	0,108
175	0,021	0,042	0,063	0,084	0,105	0,126
200	0,024	0,048	0,072	0,096	0,120	0,144
225	0,027	0,054	0,081	0,108	0,135	0,162
250	0,030	0,060	0,090	0,120	0,150	0,180
300	0,036	0,072	0,108	0,144	0,180	0,216
350	0,042	0,084	0,126	0,168	0,210	0,252
400	0,048	0,096	0,144	0,192	0,240	0,288
450	0,054	0,108	0,162	0,216	0,270	0,324
500	0,060	0,120	0,180	0,240	0,300	0,360
600	0,072	0,144	0,216	0,288	0,360	0,432
700	0,084	0,168	0,252	0,336	0,420	0,504
800	0,096	0,192	0,288	0,384	0,480	0,576
900	0,108	0,216	0,324	0,432	0,540	0,648
1000	0,120	0,240	0,360	0,480	0,600	0,720

Les chiffres de ce tableau sont valables pour des arbres ou paliers en acier.

Pour la fonte, multipliez ces chiffres par 0,95

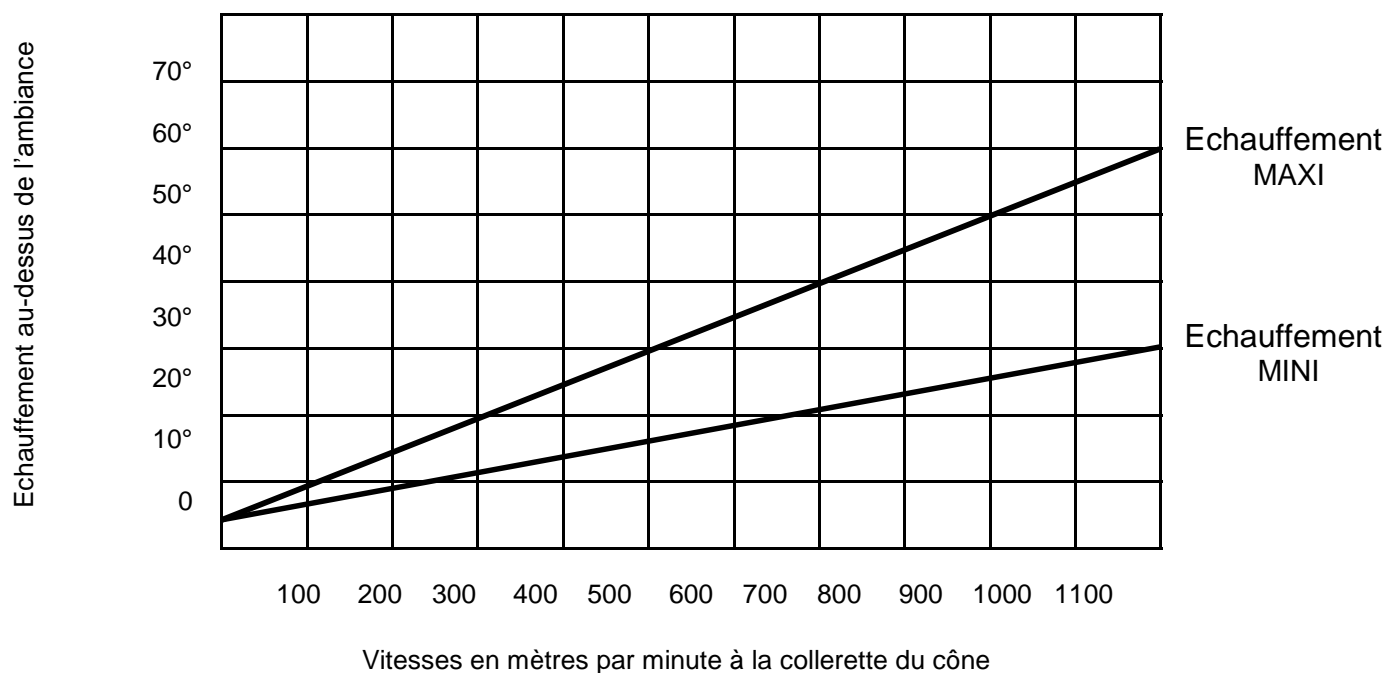
Pour l'aluminium, multipliez ces chiffres par 1,9

Pour le magnésium, multipliez ces chiffres par 1,9

Pour le cuivre, multipliez ces chiffres par 1,5

Pour le bronze, multipliez ces chiffres par 1,5

Les températures représentent les échauffements au-dessus de l'ambiance ; ces échauffements sont déterminés par le graphique suivant.



N.B. Circonférence de la collerette du cône en mètres :

$$\frac{(3d + 2D)}{5} \times 3,14$$

où d = alésage cône, et D = diamètre extérieur cuvette

### Lubrification

Plus le lubrifiant est visqueux ou consistant, plus le jeu doit être grand pour compenser l'échauffement dû à la viscosité.

On peut donc "jouer" légèrement sur le lubrifiant pour obtenir un jeu raisonnable, sans toutefois réduire excessivement sa tenue en charge.

### Charge

La charge étant génératrice d'échauffement, il est donc nécessaire de prévoir le jeu en conséquence, en ce qui concerne le montage direct tout au moins. Pour les très fortes charges,

l'emploi de lubrifiants "Extrême Pression" permet d'éliminer la charge comme facteur d'augmentation du jeu.

### Conditions de fonctionnement

En cas de chocs ou de vibrations, il est préférable d'amener le jeu au minimum compatible avec les impératifs des autres facteurs, ceci pour éviter ou ralentir le martelage ou "brinelling" des chemins de roulement.

Les appréciations des différents facteurs énumérés précédemment doivent permettre d'évaluer avec une bonne approximation le jeu latéral de fonctionnement à admettre dans une application donnée.

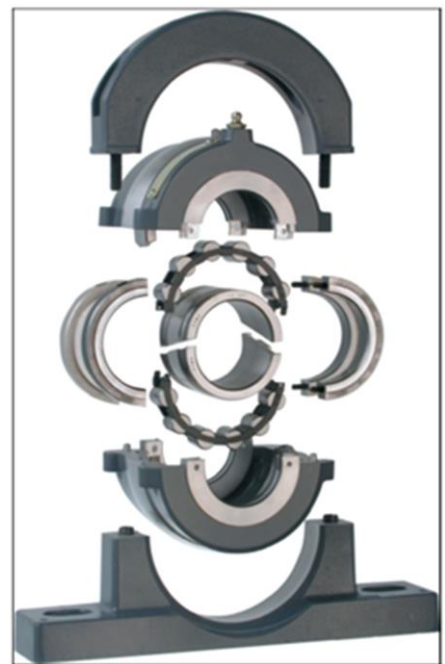
Dans les cas difficiles d'applications prototypes, sans bases de référence, il est cependant recommandé de suivre les essais pour vérifier la correction du réglage et faire les retouches éventuellement nécessaires

### **Cas des roulements en 2 parties**

Il existe des roulements en deux parties qui sont fabriqués par la société Cooper, dans toutes les dimensions.

Il présente bien sûr un très grand intérêt pour les arbres longs et les endroits difficiles d'accès. C'est un nombre important d'heures d'installation qui sont gagnées, mais aussi en inspection.

Inutile de déposer l'équipement de servitude pour inspecter un roulement Cooper. Il suffit de retirer le chapeau du support et la partie supérieure du boîtier. Le roulement est alors prêt pour l'inspection et l'entretien.



### **Cas des roulements en céramique**

Les roulements en céramique connaissent un fort développement :

- soit que les bagues et les billes ou rouleaux sont en céramique ;
- soit que seuls les billes ou rouleaux sont en céramique ;
- soit que certains éléments sont revêtus de céramique.

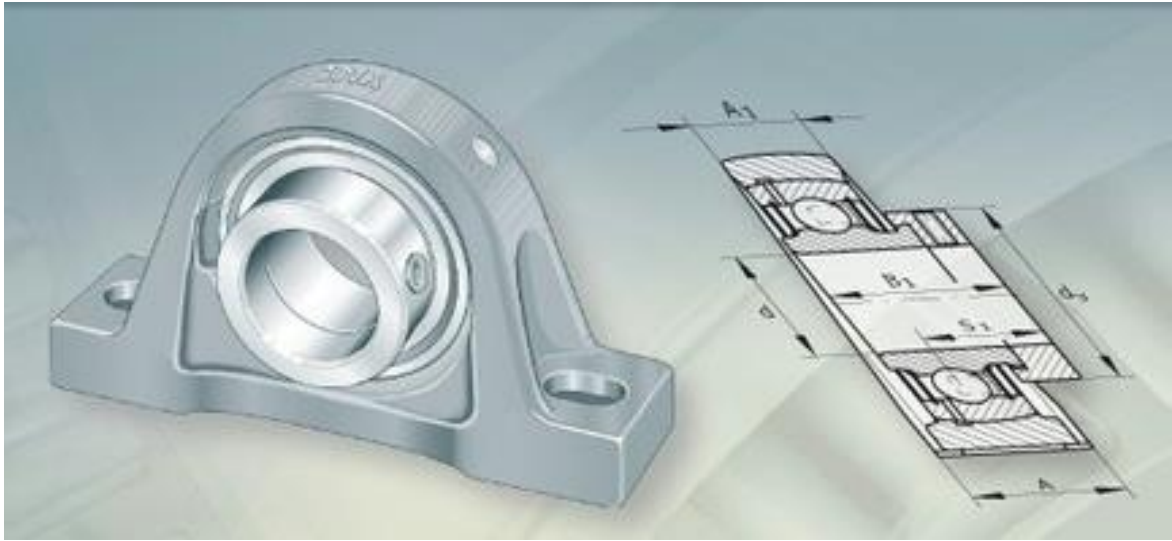
La plupart des céramiques utilisées sont à base de nitrure de silicium, un matériau bien plus dur que l'acier ; de ce fait on obtient un allongement très important de la durée de vie.

Par ailleurs, l'utilisation de billes ou rouleaux en céramique diminue les déformations sous charge et d'atteindre des vitesses plus importantes.

L'entretien des roulements en céramique est simplifié, avec des besoins en lubrification diminués. On remarque d'ailleurs des applications avec lubrification à l'eau.

### Paliers auto-aligneurs

Différents fabricants de roulements fabriquent des paliers équipés de roulements. Un cas particuliers est celui des paliers auto-aligneurs.



Les paliers auto-aligneurs existent dans de nombreuses versions en tant que paliers à semelle, paliers appliques et coulisseaux tendeurs. Ces paliers sont des ensembles prêts au montage et sont composés d'un corps de palier en fonte ou en tôle dans lequel est monté un roulement auto-aligneur.

La forme sphérique de la bague extérieure du roulement et de l'alésage du corps permet aux paliers auto-aligneurs de compenser les défauts d'alignement statiques de l'arbre.

Généralement les roulements et les corps sont appairés entre eux pour garantir la fonction et la sécurité dans toutes les conditions de fonctionnement.

Les paliers sont utilisés essentiellement comme paliers fixes, mais peuvent également être utilisés comme paliers libres en cas de vitesses de rotation réduites et de faibles charges.

# Chaînes

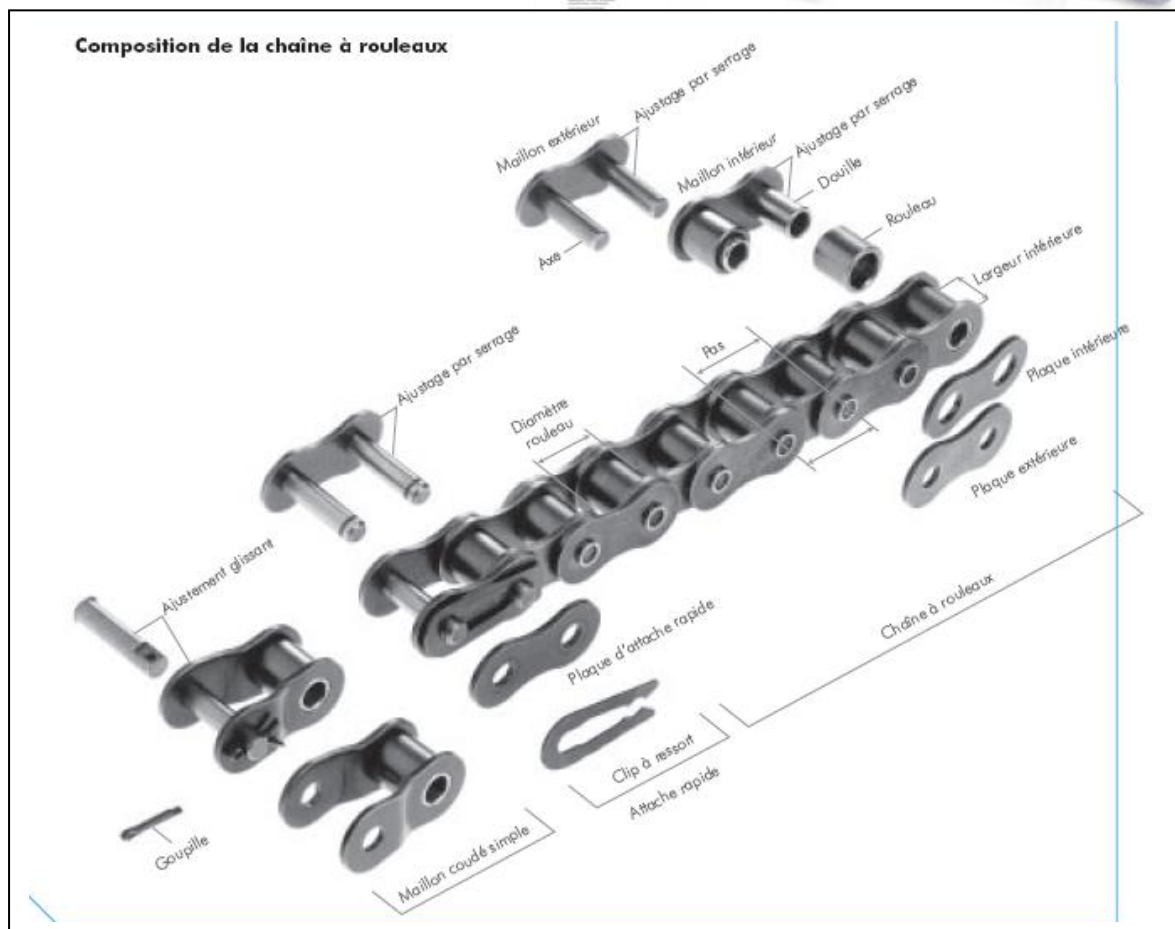
## Chaînes classiques

Elles sont utilisées essentiellement pour le levage ou la traction d'objets lourds.



## Chaîne à rouleaux

C'est le type le plus courant.



### Dimensions principales

Les 3 dimensions principales d'une chaîne à rouleaux sont le pas, la largeur intérieure et le diamètre du rouleau. Lorsqu'elles sont identiques, les chaînes et tourteaux (pignons de chaînes) sont compatibles.

### Composants

La plaque est le composant qui supporte la tension appliquée sur la chaîne. Elle doit avoir une bonne résistance à la rupture mais aussi pouvoir résister aux chocs d'entraînement.

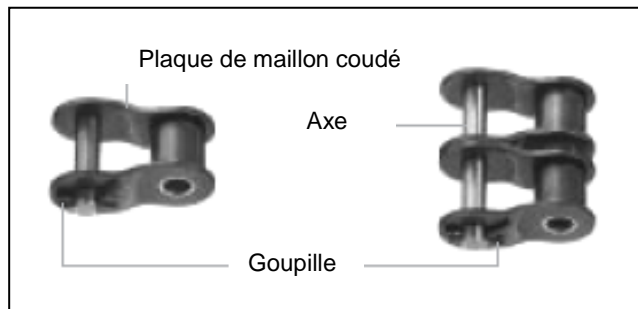
L'axe subit les efforts transmis par la plaque. De plus c'est une pièce de support lorsque la chaîne s'engage sur un tourteau. Il doit donc avoir une bonne résistance au cisaillement, à la flexion, à l'usure et aux chocs.

La douille doit résister à des forces multiples, et donc avoir les mêmes qualités que l'axe.

Le rouleau est soumis à la charge d'impact lorsqu'il s'accouple avec les dents d'un tourteau. Il doit surtout résister aux chocs, à la fatigue et à la compression.

### Pièces d'assemblage

- Une chaîne est constituée de maillons extérieurs et de maillons intérieurs dans une suite sans fin. Il convient d'utiliser une chaîne avec un nombre de maillons pair. Si un nombre impair ne peut pas être évité, on doit utiliser un maillon coudé, ce qui fait perdre 35% de résistance à la fatigue.



- Il existe trois types d'attaches rapides : à clip, à goupilles, à clip individuel sur l'axe. Il est courant d'utiliser les attaches rapides à clip pour les chaînes de petites dimensions.

### Chaîne à rouleaux autolubrifiante

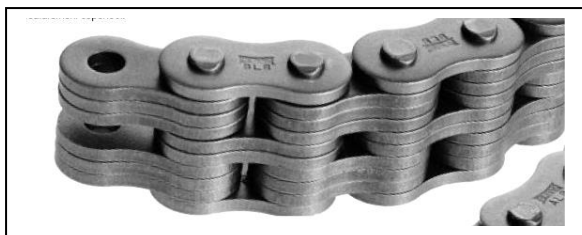
Normalement une chaîne doit être lubrifiée régulièrement.

Mais il existe un type de chaîne à rouleaux qui est autolubrifiante. Dans ce cas, la douille est frittée et imprégnée d'huile combinée à un axe ayant un revêtement spécial. En principe cette lubrification doit tenir assez longtemps.

### Chaîne à mailles jointives

Cette chaîne est uniquement composée de plaques et d'axes. Elle fonctionne avec des galets et non des tourteaux. Elle est adaptée pour les opérations de suspension, d'équilibrage.





### Chaînes à maillons identiques

Pour du convoyage, des chaînes à maillons identiques ont été développées comme le montrent les exemples ci-après.



Chaînes articulées courbes

### Chaînes pour transports

Il existe de très nombreux types de chaînes équipées pour le transport droit ou en courbe. Nous figurons ci-après quelques exemples.



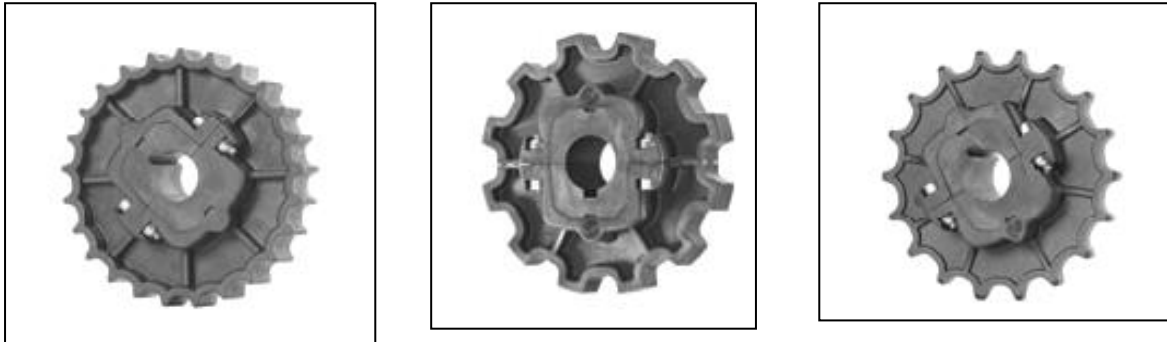


Dans l'industrie lourde, on découvre :

- des élévateurs à godets à une ou plusieurs chaînes ;
- des convoyeurs à écailles à deux chaînes, avec les plateaux supportés par des rails avec ou sans galets ;
- des excavatrices à chaînes équipées de godets extracteurs ;
- des chaînes à raclettes pour « racler » des produits poudreux ou liquides dans des caissons.

### Tourteaux

On appelle tourteaux les galets dentés moteurs ou de renvoi.

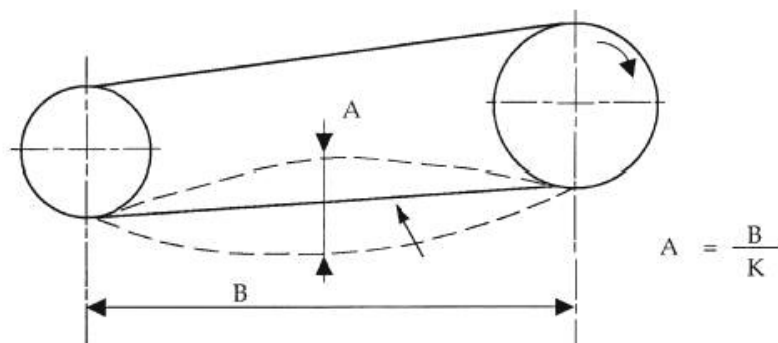


Bien entendu les tourteaux de tête et de queue doivent être parfaitement alignés, et on doit contrôler leur usure.

### Montage et contrôle des chaînes

#### → Contrôle de la tension de la chaîne

- Consigner l'installation.
- Contrôler l'alignement des roues dentées.
- Contrôler la tension de chaîne, régler si nécessaire par déplacement de l'un des arbres. La chaîne doit être tendue de façon à permettre un battement A entre les positions haute et basse d'un point pris au milieu du brin mou.



A = battement total ( en mm )

B = projection de l'entraxe sur l'horizontale ( en mm )

K = coefficient

- ✓ 25 pour transmission à charge régulière
- ✓ 50 pour transmission avec coups

Pour les transmissions verticales, le battement total A doit être égal à la moitié du pas de la chaîne.

### → Mesure de l'usure de la chaîne

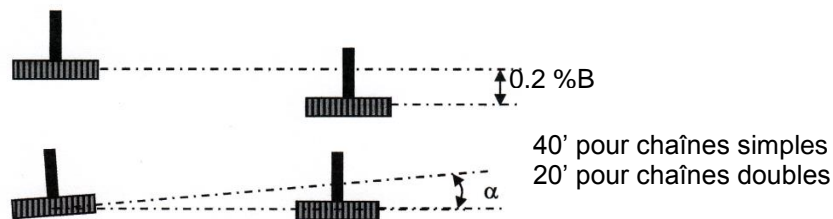
L'usure d'une chaîne doit être déterminée à l'aide de la **règle de mesure** fournie par le fabricant de chaînes.

#### Limite d'usure

En règle générale, une chaîne est considérée comme usée quand le pourcentage d'allongement atteint :

- ✓ 2 % en général,
- ✓ 1 % pour les chaînes à pas long,
- ✓ 0,7 à 1 % pour les chaînes de transmissions sans réglage possible d'entraxe.

### → Contrôle d'alignement

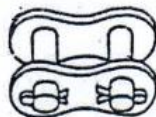


Attache rapide

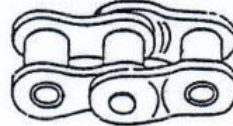


Sens de la chaîne

goupilles



Coudé



Affaiblissement = 20 %

# Courroies

## Types de courroies

### Courroies plates (Transmission par adhérence)

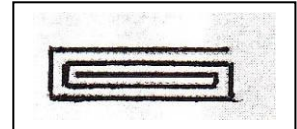
Les courroies plates peuvent être simples ou composites. Les principaux matériaux sont les suivants.

Cuir : le cuir mégé au tamin ou au chrome est utilisé sous forme de bande de 3 à 7 mm d'épaisseur pour une largeur maximale de 60 mm, ou en épaisseurs multiples cousues entre elles. La jonction entre extrémités se fait souvent par agrafes.

Les principales caractéristiques mécaniques sont sa résistance à la traction  $R = 4 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ , son module d'élasticité longitudinale  $E = 60 \times 10^6 \text{ N/m}^2$  et son coefficient de frottement  $f$  sur les métaux variant de 0,15 à 0,40.

Coton : le coton est employé sous la forme d'une bande de 1 mm d'épaisseur environ, repliée sur elle-même.

La résistance à la traction  $R = 2,4 \times 10^6 \text{ N/m}^2$  est inférieure à celle du cuir mais sa résistance à la fatigue est environ le double. Ces courroies sont très souples, adhérentes, mais relativement fragiles.



Poil de chameau : mélange de fibres animales et de coton formant trame. Insensible à l'humidité et à la chaleur. Les caractéristiques mécaniques du poil de chameau sont très proches de celles du cuir.

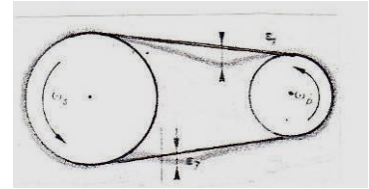
Soie : elle permet la confection de courroies extrêmement légères, résistant particulièrement bien à la fatigue avec une contrainte pratique de l'ordre de  $R = 6 \times 10^6 \text{ N/m}^2$

Fibres synthétiques : les fibres synthétiques ont des contraintes pratiques 2 à 3 fois plus élevées que celles du cuir pour des résistances à la fatigue 15 fois supérieures. Leur emploi est toutefois limité par leur faible coefficient de frottement. Pour remédier à cet inconvénient, les courroies sont souvent constituées d'une âme hautement résistante à la traction et d'un enrobage ayant un grand coefficient de frottement. L'âme ou l'armature est en textile, en acier ou en polyamide, alors que les éléments en contact sont réalisés en caoutchouc, en coton ou en cuir.

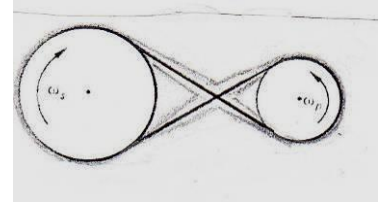
Des courroies composites, ayant une épaisseur plus importante que les courroies simples, imposent l'utilisation de poulies de diamètre supérieur pour conserver à l'incurvation  $e/d$  (rapport de l'épaisseur de la courroie au diamètre de la plus petite poulie) une valeur maximale de l'ordre de 1/50.

Les courroies plates peuvent être montées sur les poulies de manière à obtenir quatre types de transmissions.

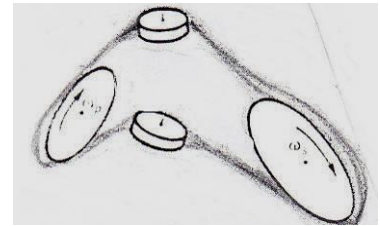
Le montage dit « à courroie ouverte » relie deux poulies à axes parallèles tournant dans le même sens.



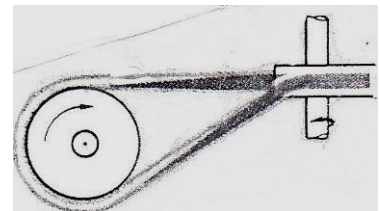
Lorsque les 2 poulies sont encore à axes parallèles, mais tournées en sens inverse, la courroie est dite croisée.



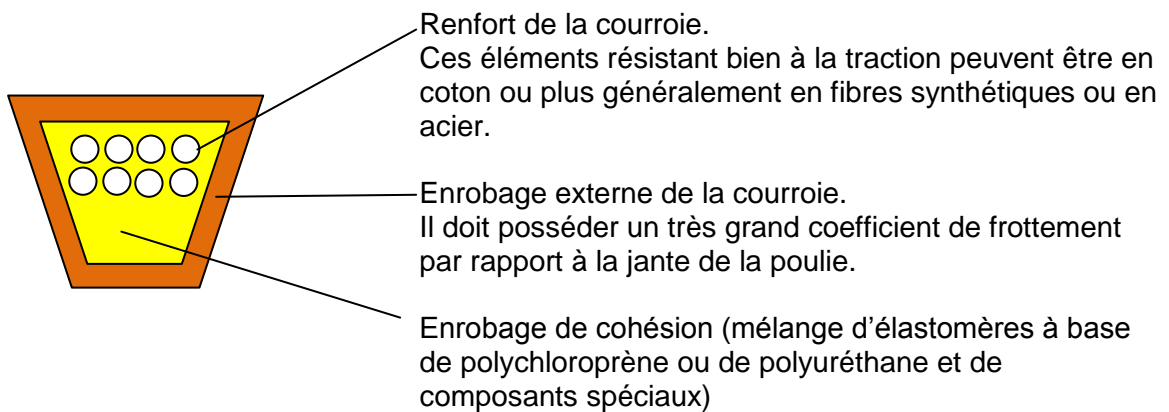
Si les poulies n'ont plus des axes parallèles, le montage est réalisé en courroie semi-croisée. Contrairement au précédent, ce montage n'est pas réversible.



Pour assurer sa réversibilité, il faut lui adjoindre deux galopins ; le montage est alors appelé à renvoi d'angle.



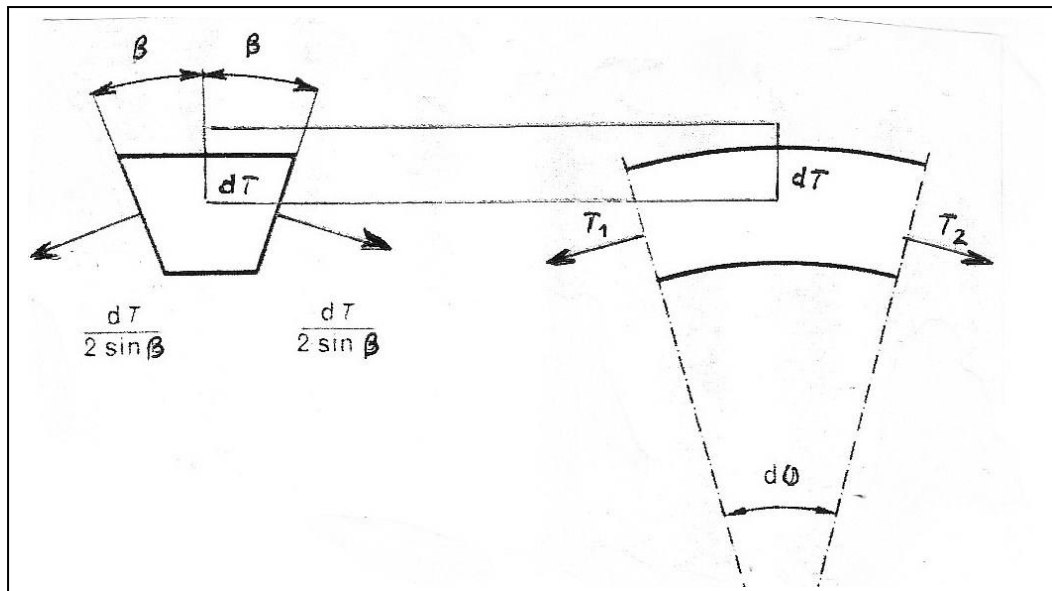
### Courroies trapézoïdales (transmission par adhérence)



La composition permet d'obtenir une contrainte pratique élevée  $R = 5 \text{ à } 10 \times 10^6 \text{ N/m}^2$  pour un module d'élasticité longitudinale assez faible  $E = 50 \times 10^6 \text{ N/m}^2$  avec une masse volumétrique proche de celle du cuir ( $1,2 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ).

Le faible module d'élasticité permet d'atteindre des incurvations  $e/d$  de l'ordre de  $1/20$ .

Généralement une courroie trapézoïdale se présente sous forme d'un anneau fermé ; pour des applications spéciales il existe cependant de telles courroies à bouts libres (à agrapper).



Le grand intérêt des courroies trapézoïdales apparaît sur la figure ci-dessus dès que l'on remarque que le facteur  $1/\sin \beta = 2,92$  pour  $\beta = 20^\circ$  permet de réduire de façon très notable les efforts  $T_1$  et  $T_2$ .

La constitution de ces courroies leur confère un coefficient de frottement apparent une valeur de 1,5 à 1,8 pour un angle de  $20^\circ$ . Il est possible de réduire considérablement l'effort de tension et, par conséquent, de réduire notablement la charge sur les paliers supportant les poulies.

Le calcul des courroies plates aboutit au choix de l'épaisseur et de la largeur de celles-ci, alors que la même étude pour les courroies trapézoïdales se termine par le choix du nombre de courroies mises en parallèle sans toutefois que ce dernier puisse être supérieur à 5 (en principe).

Seul le montage à courroie ouverte convient aux courroies trapézoïdales, avec adjonction éventuelle d'un tendeur. Les transmissions ainsi réalisées sont silencieuses, très compactes (petit entraxe et faible diamètre des poulies) tout en chargeant modérément les paliers des arbres.

## ***Tenue des courroies trapézoïdales***

### Tenue aux huiles et graisses

Un contact occasionnel et de courte durée avec des huiles ou graisses est sans influence sur le bon fonctionnement et la durée de vie d'une courroie.

Mais un contact permanent avec des huiles de lubrification, ou huiles de coupe, entraîne dans tous les cas un gonflement et une décomposition qui ont pour effet d'altérer le bon fonctionnement de la courroie.

### Tenue aux températures

Suivant les cas, les courroies trapézoïdales résistent à des températures de  $-30$  à  $+80^\circ\text{C}$ ,  $-40$  à  $+70^\circ\text{C}$ .

La flexibilité totale d'une courroie est atteinte après quelques rotations lors de la mise en service de la transmission à basse température. Mais des températures plus élevées qu'indiqué provoquent un durcissement et donc une durée de vie moindre.

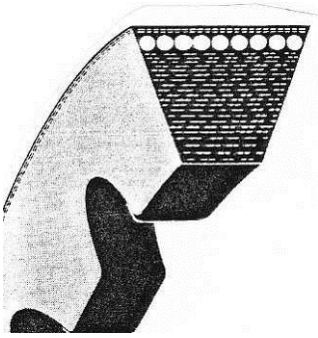
### Conductibilité électrique

La conductibilité électrique (ou antistatisme) évite les charges électrostatiques et de ce fait la formation d'étincelles, à condition que la mise à la terre de la machine soit satisfaisante.

### Tenue aux poussières

Normalement l'enrobage des courroies est très résistant à l'usure et notamment à l'abrasion provoquée par les salissures, les grains de sable et autres.

### Types de courroies trapézoïdales



#### Courroies à flancs nus

##### Construction

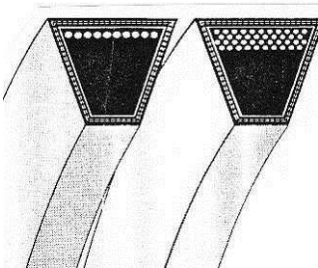
Construction à flancs nus, usinés avec précision et assurant un contact parfait avec les gorges des poulies.

Le crantage diminue la fatigue résultant de la courbure surtout pour les faibles diamètres de poulies.

##### Utilisation

Ce type de courroie convient très bien dans les transmissions industrielles à puissance élevée, et pour celles dont les poulies sont de faible diamètre.

#### Courroies étroites



##### Construction

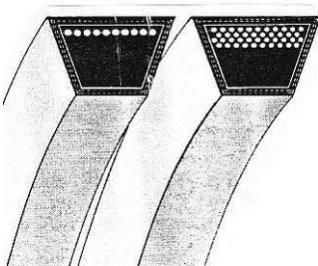
Le rapport de la largeur supérieure à la hauteur est de l'ordre de 1,2

Ces courroies sont classiquement en enrobage textile de protection, ou en caoutchouc vulcanisé. L'armature est disposée sur une ou plusieurs nappes suivant la longueur.

##### Utilisation

Ce type permet soit de développer des transmissions moins encombrantes qu'avec une courroie de section classique, soit de transmettre plus de puissance dans un même espace.

#### Courroies classiques



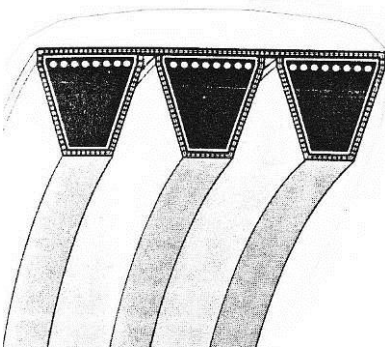
##### Construction

Le rapport de la largeur supérieure à la hauteur est de l'ordre de 1,6.

Ces courroies sont classiquement en enrobage textile de protection, ou en caoutchouc vulcanisé. L'armature est disposée sur une ou plusieurs nappes suivant la longueur.

##### Utilisation

Ces courroies peuvent être utilisées pour toutes les applications industrielles, de la mécanique de précision à la grosse construction mécanique.



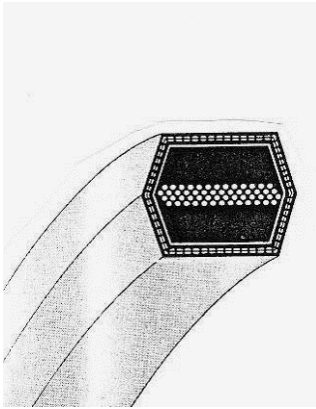
#### Courroies assemblées

##### Construction

Une bande de revêtement de forte résistance maintient le pas des courroies et empêche le fléchissement latéral des courroies.

##### Utilisation

Ces courroies sont utilisées sur les transmissions dont les conditions de service sont sévères et les charges par à-coups. Elles sont plus sables que les jeux de courroies individuelles.



### Courroies hexagonales

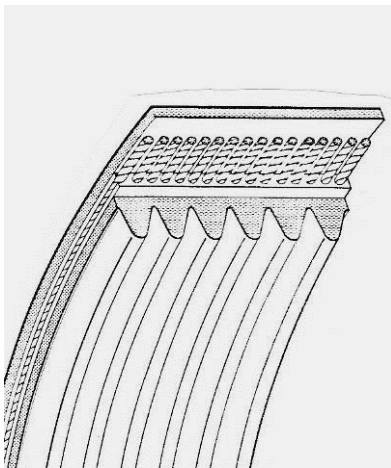
#### Construction

La section hexagonale est faite de deux trapèzes symétriques. Les courroies sont protégées par un enrobage textile ou en caoutchouc vulcanisé.

Leur armature se situe au milieu de la section.

#### Utilisation

Cette forme offre la solution idéale pour les transmissions dites « serpentines » qui transmettent la puissance sur deux ou plusieurs poulies, alternativement par le sommet et par la base de la courroie.



### Courroies à stries

#### Construction

La construction est similaire à celle d'une courroie plate, mais avec des stries internes.

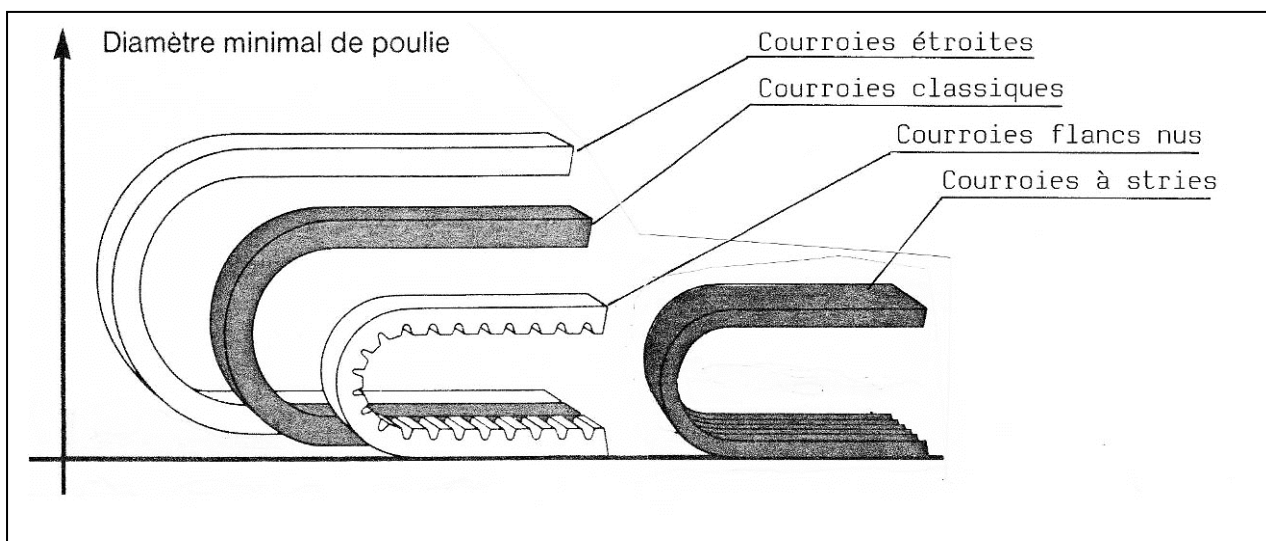
#### Utilisation

Ce type cumule les avantages des courroies trapézoïdales et des courroies plates avec pour propriétés : une extrême flexibilité grâce à la faible épaisseur, et un fonctionnement presque sans vibrations.

Il permet de construire des transmissions très compactes, et il est particulièrement recommandé pour les transmissions avec galet tendeur extérieur.

Par ailleurs, certains constructeurs fournissent des courroies trapézoïdales à bouts libres : livraisons en rouleaux, assemblages par agrafes ; des couches de textile durable coupées en carré au-dessus et en-dessous des cordes de traction offrent une haute résistance à l'arrachage des agrafes.

Cette solution est recommandée pour des transmissions où l'utilisation de courroies trapézoïdales normales n'est pas possible, à cause d'obstacles inamovibles ou d'obstacles difficiles.







	Courroies					
	Flancs nus	Etroites	Classiq.	Assembl.	Hexagon.	Stries
Puissance transmissible jusqu'à	80 kW	65 kW	30 kW	65 kW	30 kW	20 kW
Rapport de transmission jusqu'à	1/10	1/10	1/15	1/15	1/10	1/40
Vitesse de courroie jusqu'à	50 m/s	40 m/s	30 m/s	30 m/s	30 m/s	60 m/s
Allongement	Très faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
Tenue en température	-30 à 80°C	-55 à 70°C	-55 à 70°C	-40 à 70°C	-55 à 70°C	-30 à 80°C
Rendement jusqu'à	98%	96%	96%	96%	96%	98%

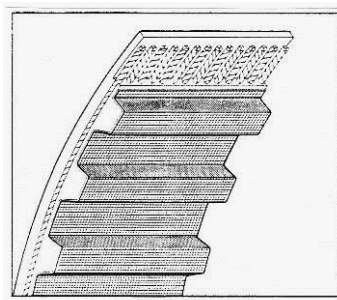
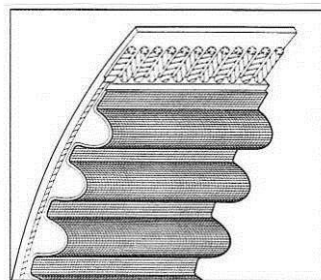
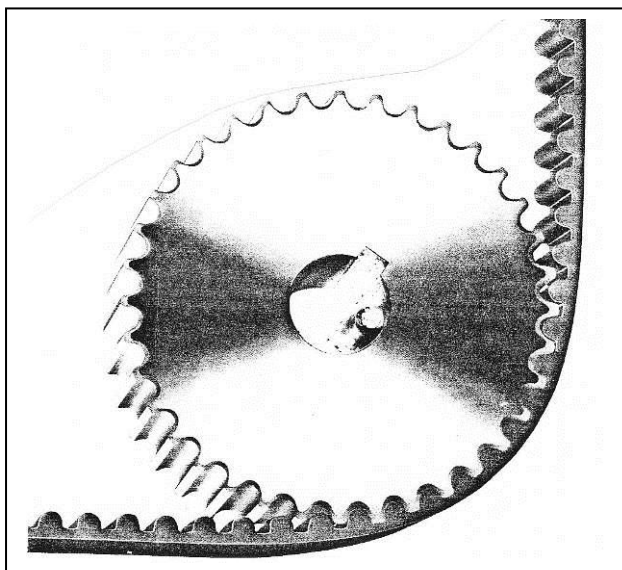
### Courroies synchrones (transmission par engrènement)

La courroie synchrone offre une alternative avantageuse aux transmissions conventionnelles par chaînes ou par engrenages.

Les applications vont de la mécanique de précision à l'industrie lourde.

Généralement la construction d'une courroie synchrone se caractérise par :

- Dos et dents en polychloroprène
- Cables en fibres de verre
- Revêtement des dents en polyamide.



#### Propriétés mécaniques

Puissance transmissible jusqu'à : 225 kW

Rapport de transmission jusqu'à : 1/10

Vitesse de courroie jusqu'à : 60 m/s

Allongement : ne s'allonge pas

Tenue en température : -40 à 100°C

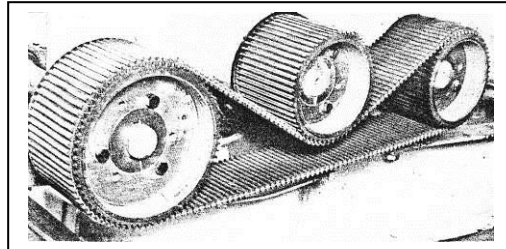
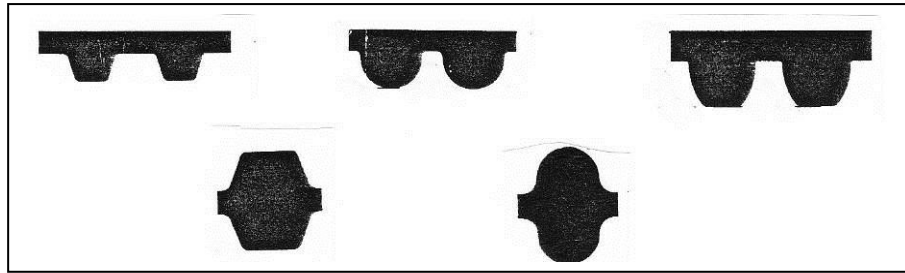
Rendement jusqu'à : 98%



### Différents profils

Simple face

Double face



Il existe également des courroies synchrones à bouts libres qui sont des alternatives aux chaînes dans des transmissions avec mouvements alternatifs.

### Courroies rondes (transmission par adhérence)

Il existe des courroies rondes utilisées pour de petites transmissions

## Systèmes de réglage de la tension des courroies

La tension à donner aux courroies est variable suivant le type de courroie :

- assez importante pour les courroies plates ;
- modérée pour les courroies trapézoïdales ;
- presque nulle pour les courroies synchrones.

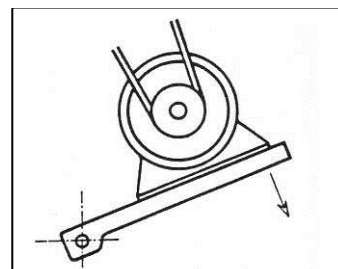
Le réglage de la tension peut être obtenu :

- soit par un choix convenable de l'entraxe des poulies, ce qui implique que l'un au moins des axes des poulies ait une position réglable (c'est la meilleure solution) ;
- soit par l'adjonction d'une poulie folle appelée galet tendeur ou galopin.

### Axe réglable

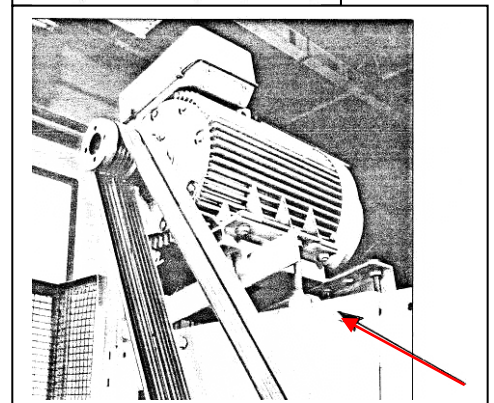
#### Axe avec ressort de tension

Pour les faibles tensions, la poulie peut être montée avec un ressort de rappel. C'est le cas de nombreuses courroies de distribution en automobile.



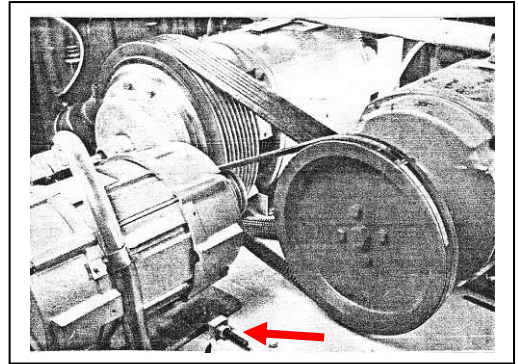
#### Moteur en porte à faux

Pour les petits montages, le moteur entraînant la poulie est monté en porte à faux et on se sert de son poids propre pour obtenir la tension de la courroie. Dans les montages plus importants on contrôle le basculement (ou l'écartement) pour obtenir la bonne tension comme le montre le montage ci-contre.



### Moteur déplaçable

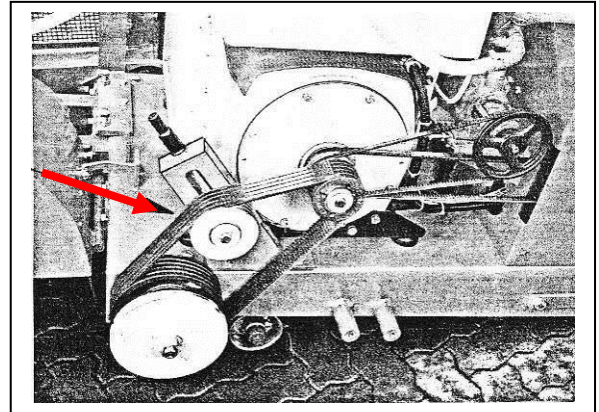
Des taquets avec vis de réglage permettent de déplacer le moteur comme le montre le montage ci-contre.



### Galet tendeur

L'adjonction d'un galet tendeur ou galopin de tension, avec un axe réglable à une position fixe ou « chargeable », peut se faire soit intérieurement soit extérieurement à la courroie.

Ce galet, s'il est externe, augmente l'angle d'enroulement et permet alors d'augmenter la puissance transmise, mais ce montage provoque une usure sensiblement plus importante. Notons que les courroies trapézoïdales supportent mal les contre-courbures et acceptent donc mieux les poulies folles intérieures.



Les galets imposent toujours des efforts de flexion supplémentaires aux courroies. Par suite, il est préférable d'utiliser un autre moyen lorsque la transmission ne nécessite pas absolument leur utilisation. Si leur emploi est nécessaire, leurs dimensions doivent être choisies de manière à obtenir une perte minimum des performances de la courroie.

### Emplacement des galets dans la transmission

M : poulie motrice

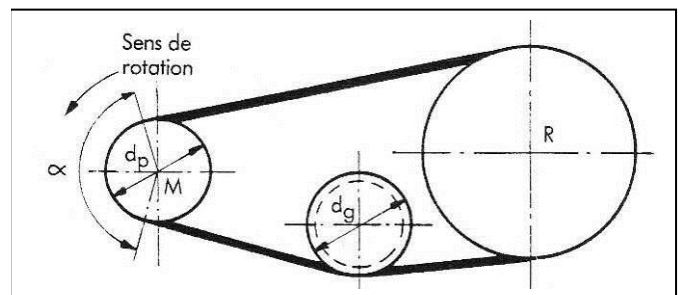
R : poulie réceptrice

$d_p$  : diamètre de la petite poulie

$d_g$  : diamètre du galet

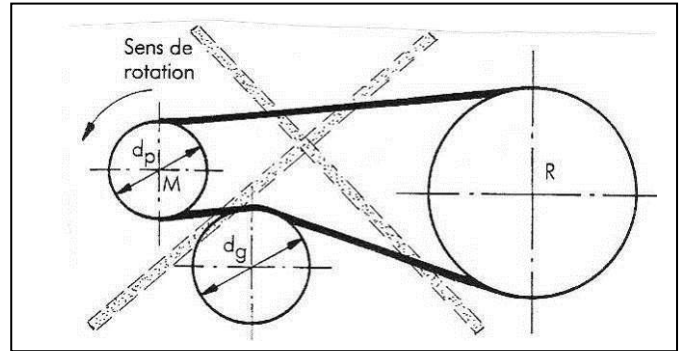
#### ➤ Galet sur nappe conduite à l'intérieure

- Implantation la plus fiable et la plus sûre si  $d_g > d_p$
- Galet placé de telle sorte que l'arc de contact sur la petite poulie ne soit pas trop diminué.
- Galet à gorges impérativement pour courroies étroites, vivement recommandé pour courroies classiques, peut être plat pour courroies assemblées.
- Bloqué en position, de préférence à un galet mobile sous l'action d'un ressort.  
Impérativement bloqué s'il y a inversion de marche.



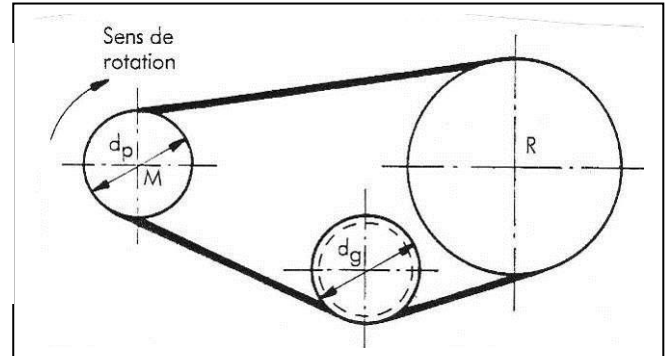
## ➤ Galet sur nappe conduite à l'extérieur

- Disposition à éviter car il y a contre-pliage de la courroie.
- Galet le plus près possible de la poulie motrice ou de telle sorte que l'entrée des courroies dans les gorges de la poulie réceptrice ne soit pas défavorisée par un léger déplacement latéral des courroies sur le galet.



## ➤ Galet sur nappe motrice à l'intérieur

- Mêmes remarques que pour « Galet sur nappe conduite à l'intérieur », mais cette solution est plus défavorable : le pliage s'effectue sous tension maximum de la courroie.
- Galet impérativement bloqué en position et de manière rigide en particulier à fixation bilatérale.

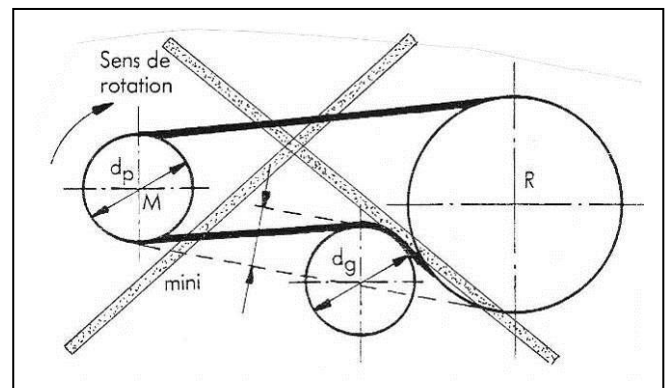


## ➤ Galet sur nappe motrice à l'extérieur

- Disposition la plus mauvaise de toutes : le contre-pliage s'effectue sous la tension maximum de la courroie.

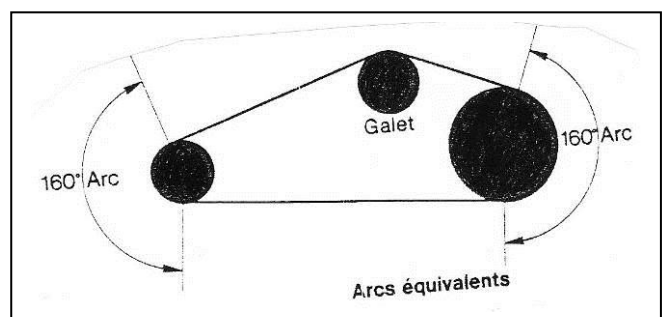
C'est une solution de détresse

- Si on ne peut pas faire autrement :  $d_g$  le plus grand possible – galet placé le plus près possible de la poulie réceptrice – contre-pliage minimum – galet bloqué rigidement de façon bilatérale en position.



## Angle

Un galet intérieur à gorges peut se situer à n'importe quel point le long du brin mais de préférence de telle façon que les poulies adjacentes aient des arcs d'enroulement égaux. Un galet plat, qu'il soit intérieur ou extérieur, doit se situer le plus loin possible de la poulie vers laquelle se dirige la courroie. Ceci parce que la courroie glisse légèrement sur une poulie plate et que l'éloignement de la poulie suivante minimise la possibilité pour la courroie d'entrer dans la poulie en condition de désalignement.



### Stockage des courroies

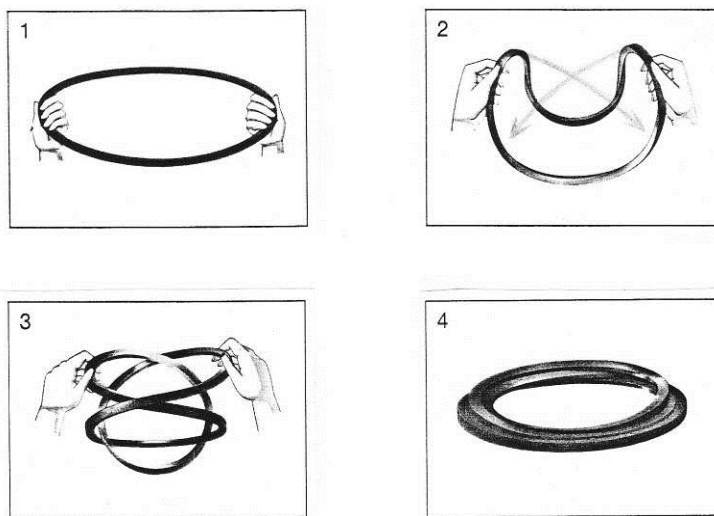
#### Nature du stockage

Les courroies sans fin doivent être de préférence suspendues à des supports ou des tuyaux de grands diamètres. Ceux-ci devraient correspondre au minimum à 10 fois la hauteur de la section des courroies.

Surtout, ne pas suspendre les courroies à des clous ou à des crochets.

Pour assurer un gain de place :

1. Les plus grandes longueurs (courroies trapézoïdales et synchrones de faibles largeurs essentiellement) peuvent être empilées, à condition d'être correctement pliées comme le montrent les figures suivantes.



2. Les courroies de plus faibles longueurs peuvent être stockées sur des rayonnages. Evitez toutefois d'entasser les courroies sur plus de 300 mm de hauteur car cela pourrait conduire à une déformation des pièces situées en bas des piles.
3. Les petites courroies pour la mécanique de précision peuvent être glissées sur des tubes ou rouleaux.

#### Entrepôt

- L'entrepôt doit être frais, sec, aéré et sans courants d'air.
- La température ambiante doit être de 15 à 25°C.
- Ne pas stocker près d'une source de chaleur.
- Ne pas exposer les courroies au soleil ni à une forte lumière artificielle avec un taux important d'ultra-violets.
- Eviter dans les entrepôts le fonctionnement continu d'installations génératrices d'ozone, par exemple d'appareillages électriques produisant des étincelles.
- Les matériaux facilement inflammables, les lubrifiants, les acides et autres produits agressifs doivent être tenus à l'écart des courroies car ils attaquent et détruisent les élastomères et les textiles.

Nettoyage : pour les nettoyages utilisez un mélange de glycérine et d'alcool ( 1/10 ) mais pas de solvants tels que l'essence ou le benzol, ni des objets à arêtes vives.

## Remplacement des courroies

### Choix des courroies de remplacement

#### Remplacement de toutes les courroies

Si vous installez de nouvelles courroies sur une transmission, remplacez toujours toutes les courroies. Les courroies déjà en place se sont, bien entendu, légèrement usées ou détendues à l'utilisation. Si vous mélangez courroies anciennes et courroies neuves, les courroies neuves seront plus serrées, fourniront plus que leur part d'effort et dureront probablement moins longtemps que prévu.

#### Appairage des courroies

Plusieurs cas peuvent se présenter (même chez un même fabricant de courroies, suivant les types).

1. Les dimensions répondent aux tolérances UNISET : dans ce cas, il n'y a pas à se préoccuper des numéros d'appairage (le faire spécifier par le fabricant).
2. Les courroies sont dites « compatibles en jeux » avec un marquage à 2 chiffres indiquant l'appartenance à un certain groupe de tolérances. Ce repère est souvent entouré d'un rond ou d'un losange, apposé sur la grande base de la courroie, généralement à proximité de la vignette indiquant la longueur nominale de la courroie.

L'écart entre codes est de l'ordre de :

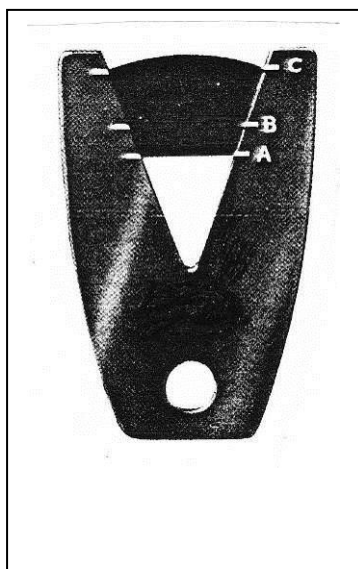
- 2 mm pour des courroies jusqu'à 1800 – 2000 mm.
- 3 mm pour des courroies supérieures.

Les courroies d'une même transmission doivent être munies de repères identiques ou très voisins.

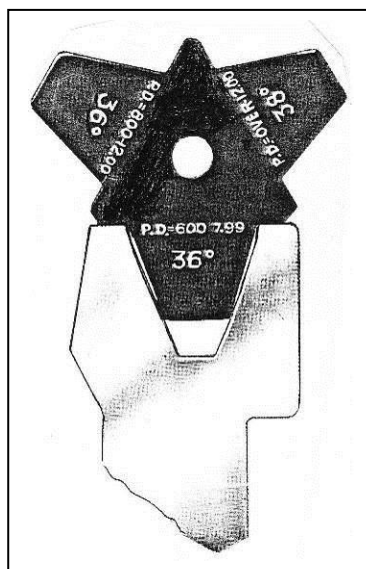
3. Dans tous les autres cas, il faut exiger des courroies appairées (attention à bien les commander et à les stocker en magasin par jeux).

#### Mesure de la longueur

En général, vous saurez quel type utiliser. Mais en cas de doute (si les marquages des courroies usagées sont devenus illisibles), mesurez soigneusement la largeur des anciennes et servez-vous des calibres pour courroies et poulies.



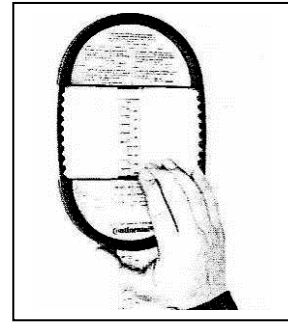
Calibre pour courroies



Calibre pour poulies

La mesure de la longueur extérieure et de la longueur intérieure avec un mètre ruban est le moyen simple pour définir la longueur d'une courroie. Pour ce faire, la courroie doit reposer en cercle sur une surface plane.

Une autre possibilité consiste à utiliser un appareil de mesure de longueur vendu par certains fabricants.



**Note :** pour la sécurité, il faut toujours utiliser des gants ou un morceau de tissu pour passer dans les gorges de poulies, afin de se protéger des coupures provoquées par des fentes ou aspérités.

### Montage

Vérifier l'alignement des poulies car un défaut peut accélérer l'usure de la courroie.

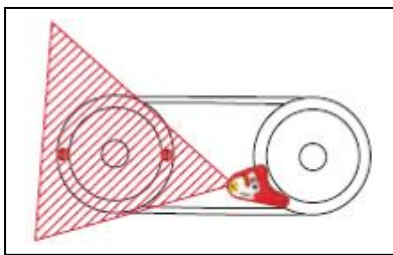
La méthode empirique consiste à poser une règle sur les poulies.

Il existe maintenant une méthode beaucoup plus rapide et précise. Il s'agit de l'utilisation d'un petit appareil de lignage laser avec 2 petites cibles à fixer sur les poulies (magnétiques ou avec des adhésifs)

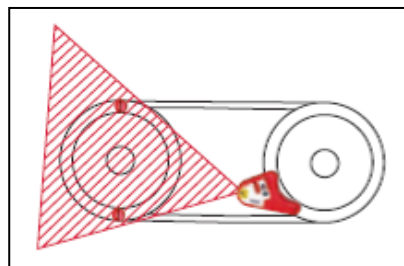
Le déport sur l'alignement des poulies ne peut pas dépasser :

0,5° ou 5mm par 500 mm d'entraxe pour les courroies trapézoïdales

0,25° ou 2,5mm par 500 mm d'entraxe pour les courroies dentées



Alignement horizontal des cibles

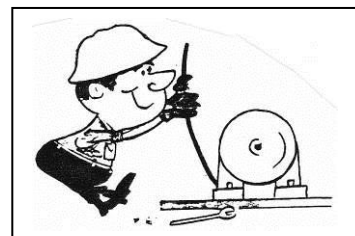


Alignement vertical des cibles

Les courroies doivent être montées à la main sans forcer.

Utilisez les possibilités de tensionnement de la transmission (réduction de l'entraxe des poulies, ou déplacement du galet tendeur).

Faites appel à un levier s'il est vraiment nécessaire, mais utilisez-le pour déplacer le moteur, et non pas pour forcer les courroies car vous risquez de casser les cordes.



- ✓ Une solution simple consiste à pouvoir tourner la courroie de 90°, mais pas plus.
- ✓ La solution moderne consiste à utiliser un contrôleur de tension appelé tensiomètre (vendu par les fabricants de courroies)



- Tapez légèrement sur la courroie, et relevez la valeur vibratoire à l'aide de l'appareil spécifique.
- Comparez avec la valeur de référence .
- Tendez la courroie et refaites la mesure.
- Répétez éventuellement l'opération jusqu'à l'obtention de la bonne valeur.



Les derniers appareils calculent la bonne valeur en fonction du modèle de courroie, de l'entraxe des poulies, et des diamètres de poulies. Cette valeur peut être notée sur les gammes de maintenance préventive ou affichée à côté de chaque transmission.

Souvent il y a des repères de longueur sur les courroies ce qui permet de vérifier la tension par l'allongement :

- 0,9 à 1,5 % pour les courroies plates,
- 0,5 à 1 % pour les courroies trapézoïdales,

mais cela ne peut servir qu'au montage, et non des contrôles suivants.

C'est pourquoi il vaut mieux utiliser le tensiomètre dans tous les cas.

### **Rodage**

Il est toujours nécessaire de vérifier la tension après une courte phase de rodage.

### Maintenance

**« Les courroies ?...C'est simple à monter; pourquoi écrire quelque chose sur ce sujet...on sait... »**

Et pourtant, on constate si souvent, par exemple, que :

- ✓ des mauvaises tensions de courroies détériorent les roulements des organes moteurs ou récepteurs ;
- ✓ une courroie patine d'une manière imperceptible, ce qui entraîne un ralentissement de 10% de l'avance d'un outil (bien plus que toutes les pannes franches) ;
- ✓ une courroie est remplacée tous les quatre mois alors qu'elle devrait durer deux ans (avec des temps de remplacement non négligeables lorsqu'il s'agit de pénétrer dans un bâti de broche par exemple).

Souvent ce sont les éléments les plus simples qui entraînent le plus de perturbations, parce que l'on ne prête pas attention au savoir-faire qu'ils méritent.

Une bonne tenue des courroies nécessite le respect d'opérations simples.

- Veiller au maintien d'un bon entreposage.
- Monter correctement les nouvelles courroies :
  - vérifier l'appairage nécessaire ;
  - ne pas utiliser de levier pour monter les courroies sur poulies ;
  - ajuster la tension nécessaire ;
  - contrôler l'alignement des poulies
- Contrôler systématiquement l'état des courroies et poulies installées :
  - la tension avec un tensiomètre (mesure de vibrations)
  - les gorges des poulies (en principe il ne faut pas dépasser 1,5 mm d'usure d'un côté de la gorge)
  - l'état général et la protection.

Cela nécessite de disposer des moyens suivants :

- un tensiomètre pour mesure de vibrations ;
- un petit appareil de pointage laser pour l'alignement des poulies ;
- un jeu de calibres pour poulies ;
- éventuellement un jeu de calibres pour courroies.



# Accouplements

## Fonction des accouplements

Les accouplements relient l'arbre d'un moteur à un réducteur, ou à une machine ( pompe par exemple ), ou l'arbre de sortie d'un réducteur à une machine.

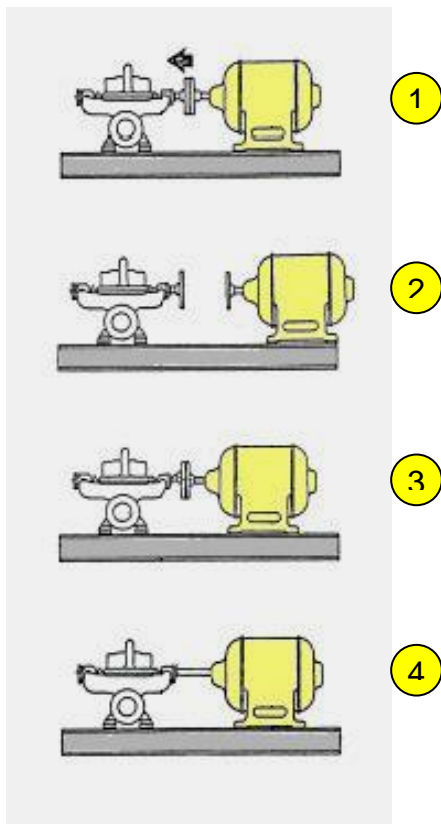
Les accouplements ont trois fonctions :

- Ils relient l'arbre du moteur à l'arbre d'une machine pour transmettre la puissance du moteur à la machine ( figure 1 . pompe par ex.).
- Ils permettent de dissocier l'arbre du moteur de l'arbre de la pompe lorsque c'est nécessaire ( figure 2 ).
- Ils tolèrent les petits défauts d'alignement dus au déplacement des matériels en service ( figure 3 ).
- Au lieu de monter un accouplement on pourrait avoir un arbre unique pour le moteur et la pompe ( figure 4 ). Cet arbre unique transmettrait la puissance du moteur à la pompe aussi bien que le fait un accouplement.

Cependant l'arbre unique a deux inconvénients :

Il devient très difficile de dissocier le moteur de la pompe.

L'arbre unique ne tolère pas les petits défauts d'alignement qui sont inévitables entre les matériels en service. Parfois cela peut conduire à sa rupture.



### Types d'accouplements

Les accouplements servent à relier deux arbres entre eux ou des arbres à des composants qui doivent tourner solidairement de façon permanente ou intermittente. Selon l'objectif, on distingue différents principes d'accouplement.

Si la liaison est fixe, on recourt à un **accouplement fixe**.

Si on doit permettre un mouvement d'un arbre à l'autre, axialement à la suite d'altérations de longueur par changement de température ou radialement à la suite d'imprécisions de montage, on recourt à un **accouplement mobile ou libre**.

Une liaison réduisant les chocs par accumulation de travail ou par conversion en chaleur, et qui amortit plus ou moins les vibrations, se nomme **accouplement élastique** ; ces types d'accouplements ont aussi les avantages d'un accouplement mobile. Ce sont ces types d'accouplements qu'on retrouve le plus dans l'industrie actuellement.

Si la liaison est assurée à l'arrêt, mais est rompue en mouvement, on parle d'un **accouplement débrayable**. Il est souvent réalisé comme **accouplement à griffes**.

Si la liaison doit être enclenchée ou déclenchée volontairement en mouvement, on recourt à un **accouplement enclenchable** : accouplement à friction – accouplement hydraulique – accouplement à induction électromagnétique.

Dans l'industrie lourde ou sensible, on recourt à des **accouplements de sécurité** pour éviter les coups dans les éléments sensibles de l'outillage entraîné ou de trop grandes charges dans les entraînements, les moteurs, etc. On les classe généralement dans les **limiteurs de couple** : à huile, à poudre, ou mécaniques à bille ou ressort.

Généralement, on tient compte des points suivants quand on fabrique un accouplement :

- Les accouplements doivent être les plus légers, les plus simples et les plus économiques possibles, et avoir le diamètre le plus réduit possible.
- Les axes des arbres à relier doivent être dans leur parfait prolongement mutuel, surtout quand l'accouplement n'est pas libre ou élastique.
- Le centre de gravité de l'accouplement doit tomber si possible dans l'axe de l'arbre ; en outre, l'accouplement doit être dynamiquement équilibré, sous peine de vibrations ( si le centre de gravité se trouve dans l'axe, l'accouplement est déjà équilibré statiquement ).
- L'accouplement doit se monter et se démonter facilement.
- Les parties saillantes doivent être supprimées ou couvertes pour ne pas constituer de danger.

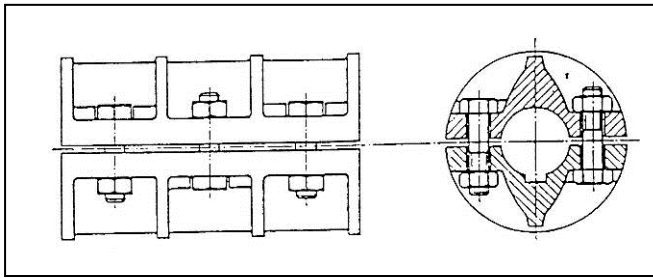
### Accouplements fixes

#### Manchons d'accouplement à boulons

Pour pouvoir solidement assembler les deux moitiés contre les bouts d'arbre, on opte pour un diamètre d'alésage légèrement inférieur au diamètre de l'arbre, de façon telle qu'en serrant les boulons on obtienne un pinçage latéral puissant.

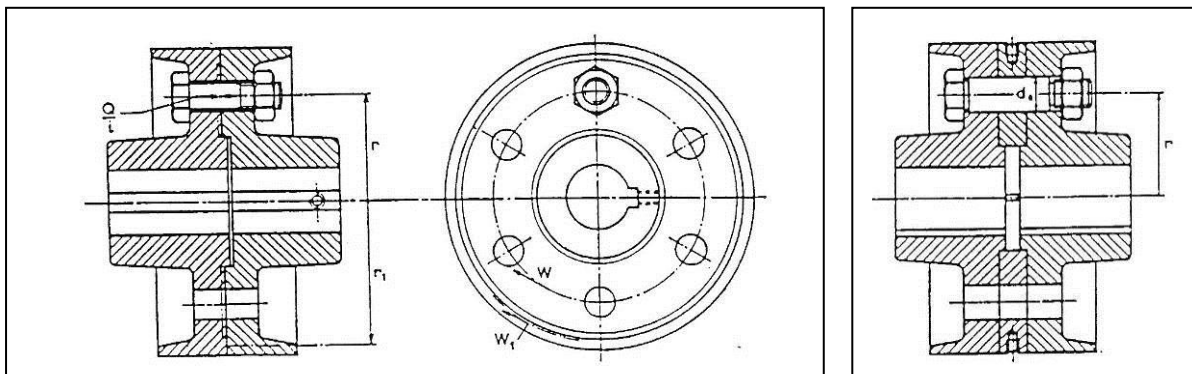
En serrant fort, on obtient un ajustage serrant pour que le couple soit transmis par friction.

Inconvénient général des accouplements par manchons serrant : les arbres doivent avoir exactement le même diamètre pour un parfait serrage sur les deux arbres.



### Accouplements à brides

Autre exécution rencontrée : l'accouplement à brides, usuel pour les arbres de 50 à 200 mm. Les deux moitiés sont pressées ou frettées à chaud sur les bouts d'arbre.



### Accouplements mobiles

Si l'on ne peut pas compter sur la permanence du bon positionnement mutuel des arbres, il faut les relier pour leur permettre de bouger légèrement l'un par rapport à l'autre. Dans ce cas, on pratique trois formes possibles de mobilité, à savoir la mobilité axiale, la mobilité radiale ( les arbres ne sont pas dans leur prolongement, mais sont légèrement excentriques ) et la mobilité angulaire. On peut aussi rencontrer une combinaison de ces trois formes, ainsi que parfois un glissement axial d'une des moitiés de l'accouplement par rapport à l'autre.

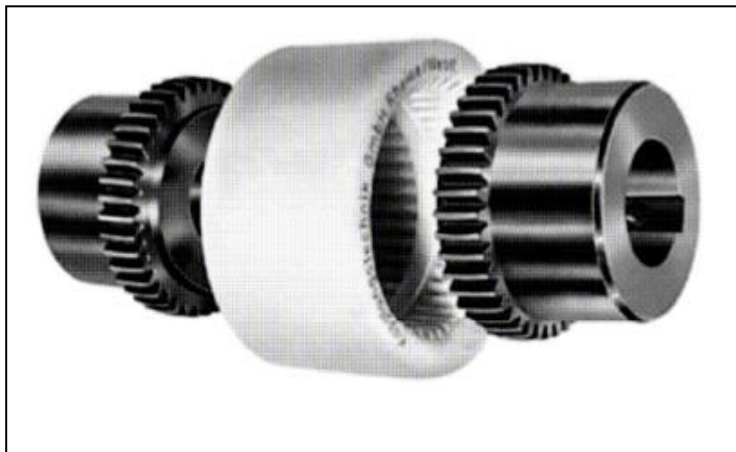
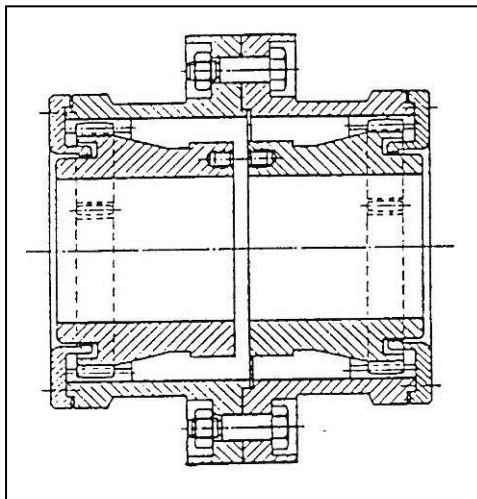
### Accouplement à dentures

Les deux arbres sont dotés d'un moyeu à dents dont les flancs et la tête sont plus ou moins sphériques. Ces dents s'agrippent dans une denture femelle d'une douille qui relie les deux moyeux.

Cet accouplement autorise une certaine mobilité dans les directions axiale et radiale. Les deux arbres peuvent en outre former un certain angle entre eux.

Toute déviation de l'arbre entraîne bien sûr des glissements et de l'usure ( il faut donc lubrifier les dents et assurer une certaine étanchéité ).

Il vaut mieux éviter tout défaut inutile de positionnement d'arbre. Mais on ne peut éviter dans certaines applications des défauts d'alignement dus à des déformations d'éléments de machine, des conséquences de vibrations...



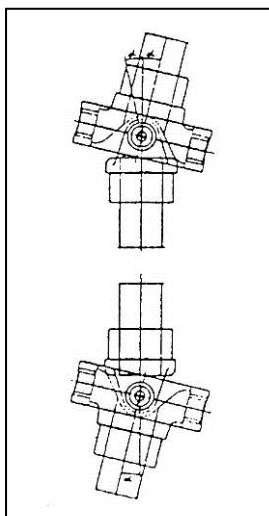
Dans ce type d'accouplement, on peut trouver deux types de dentures : droite ou cintrée. La différence entre les deux : pour les dents droites un désalignement de maximum  $0,5^\circ$  peut être absorbé alors que pour les dents cintrées ce désalignement peut atteindre  $1,5^\circ$ .

## Accouplement à cardan

Il est parfois appelé « accouplement à charnières ».

Il est utilisé pour relier des arbres ne se trouvant pas en prolongement, mais dont les axes se coupent.

Cet accouplement est composé de deux moitiés capables de bouger mutuellement en double charnière.



Cette liaison entraîne, par mouvement uniforme de l'arbre d'entraînement, un mouvement non uniforme de l'arbre entraîné. Si les arbres forment un angle  $\alpha$ , le rapport entre la plus petite et la plus grande vitesse angulaire de l'arbre entraîné est égal à  $\cos^2 \alpha$ . Si  $\alpha$  est par exemple égal à  $5^\circ$ , ce rapport devient 0,992. Il s'ensuit que la différence entre la plus grande et la plus petite vitesse angulaire atteint 0,8 % de la plus grande, ou avec une petite approximation, de la vitesse angulaire uniforme de l'arbre d'entraînement.

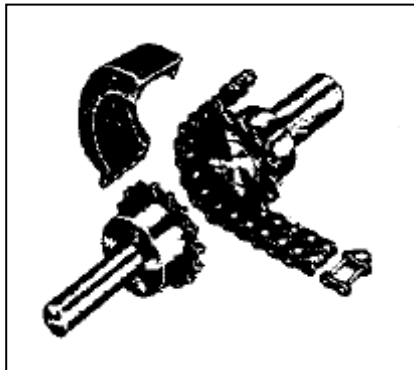
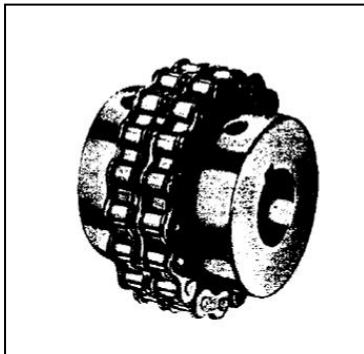
On peut pallier ce défaut en montant un arbre intermédiaire à deux raccords charnières de façon telle que les deux angles  $\alpha$  soient égaux et que les lignes axiales des pivots aux deux extrémités de l'arbre intermédiaire soient parallèles

Si les axes des arbres entraînant et entraîné se croisent, on peut avoir un arbre intermédiaire dont l'axe coupe les axes de ces deux arbres sous des angles égaux ( $\alpha$ ). Les arbres entraînant et intermédiaire sont situés dans le plan I, les arbres entraîné et intermédiaire dans le plan II. A vitesses égales des arbres entraînant et entraîné, il ne faut pas seulement que les angles  $\alpha$  soient égaux, mais aussi que les axes charnières soient positionnés par rapport à l'arbre intermédiaire de façon à se trouver chaque fois simultanément dans les plans I et II.

On trouve ce type d'assemblage dans des entraînements de cylindres de laminoirs, des arbres moteurs d'automobiles, dans les machines-outils, etc..



### Accouplement à chaines



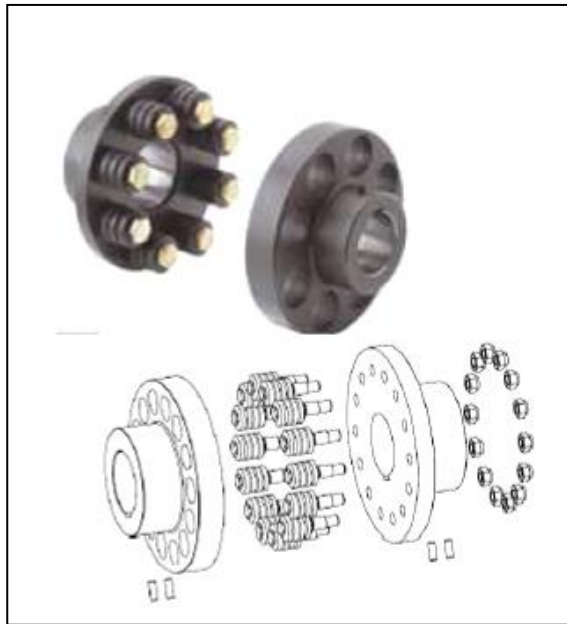
C'est l'un des plus anciens types d'accouplement. Son principal inconvénient est qu'en cas d'usure il faut tout remplacer, plutôt que remplacer un ressort ou quelques tampons avec d'autres types d'accouplements.

### Accouplement à plots métalliques, ou tampons

Le serrage des vis écrase des empilages de rondelles élastiques qui se coincent dans leurs logements sur le moyeu de sortie.

Ce type d'accouplement s'adapte surtout à un écart axial entre les deux arbres.

Il est d'une grande rigidité.



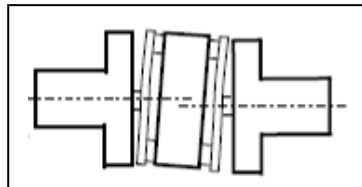
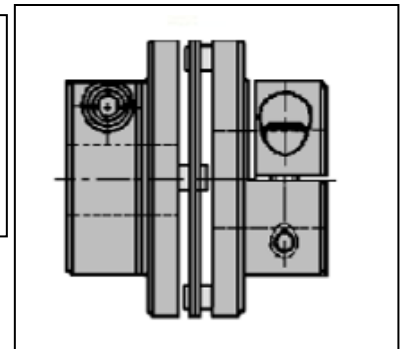
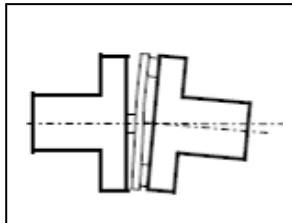
### Accouplement à disques métalliques

La puissance est transmise via une tôle en acier à ressort. Il est très rigide en torsion.

Utilisé seul, il autorise un désalignement angulaire modéré.

Mais les joints doubles permettent un désalignement radial.

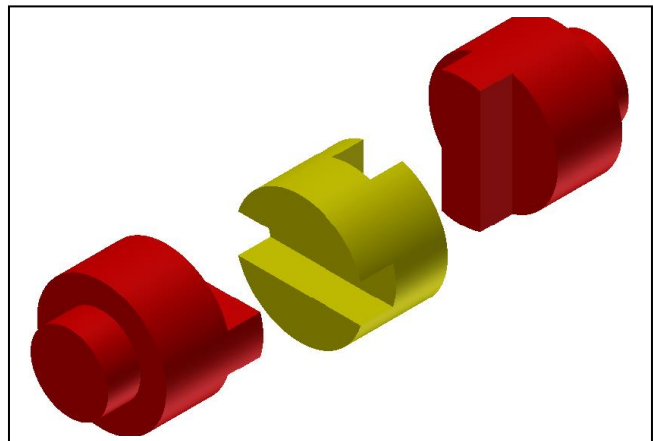
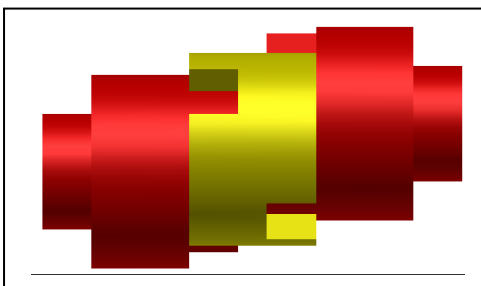
Il y a une variante avec un disque en matière plastique.



### Accouplements Oldham

Il transmet un couple entre deux arbres parallèles, mais pouvant présenter un désalignement essentiellement radial. Il est parfaitement homocinétique, mais un désalignement exagéré génère des pertes par frottement.

La pièce intermédiaire peut être fabriquée en matières plastiques plus ou moins dures.



## Accouplements élastiques

### Principe

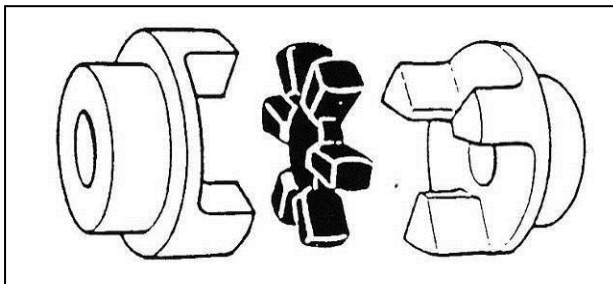
Ces accouplements comportent des composants en caoutchouc, en matière synthétique ou des ressorts qui relient les éléments des arbres à accoupler.

Les raisons qui portent à l'utilisation de ce type d'accouplement sont les suivantes.

- Atténuer la transmission de toute modification du couple délivré de l'un des arbres sur l'autre arbre.  
L'élément élastique qui relie les pièces de l'accouplement fixées aux deux extrémités réduit les coups de l'une à l'autre partie, parce que :
  - une partie de l'impulsion est transformée en déformation de l'élément élastique ( ressorts par ex. );
  - une partie de la déformation est transformée en chaleur ( caoutchouc par ex. ).
- Amortir des vibrations de torsion.
- Réduire les phénomènes de résonance.
- Corriger des petites déviations dans le positionnement de l'arbre ( donc tous les accouplements élastiques font aussi office d'accouplements mobiles ).
- Isoler électriquement des arbres couplés. Ces accouplements servent notamment à l'accouplement de génératrices et de moteurs électriques.

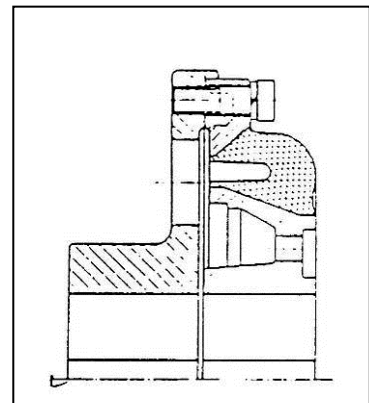
### Accouplement à disque caoutchouc

Le couple est transmis via un élément caoutchouc étoilé. Les deux moitiés de l'accouplement sont pareilles, et dotées de blochets s'adaptant dans les creux du disque de caoutchouc.



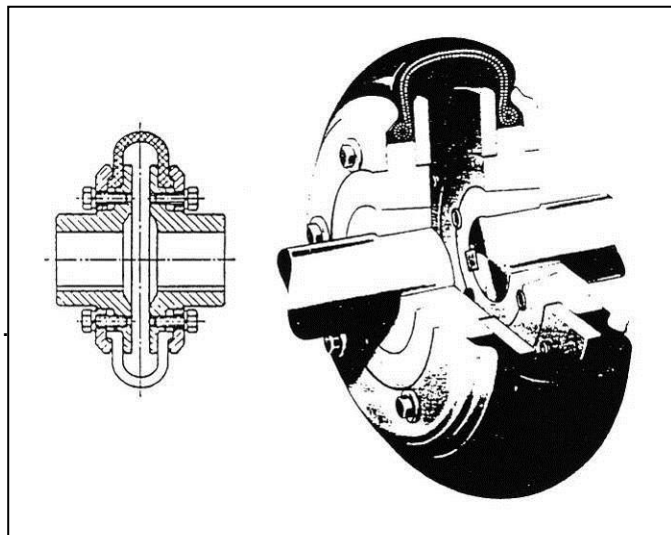
### Accouplement à rondelle caoutchouc

La partie élastique est composée d'un anneau de caoutchouc profilé qui est relié à un moyeu de fonte ou d'acier et à un autre anneau en caoutchouc.



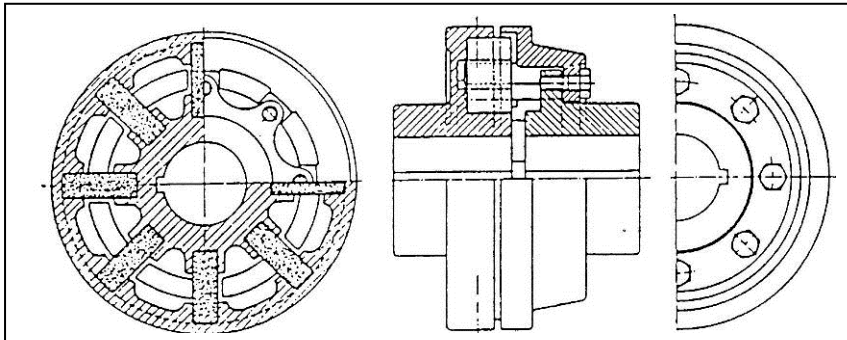
### Accouplement à bande élastique ou bandage

Une bande très élastique composée de caoutchouc à garnitures tissées est pressée contre les brides des deux moitiés d'accouplement par deux bagues de pression. C'est un accouplement très fiable et très utilisé.



### Accouplement élastique à blocs

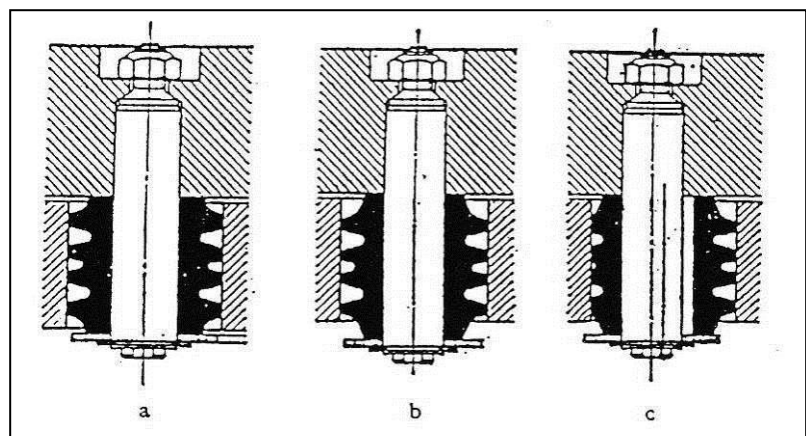
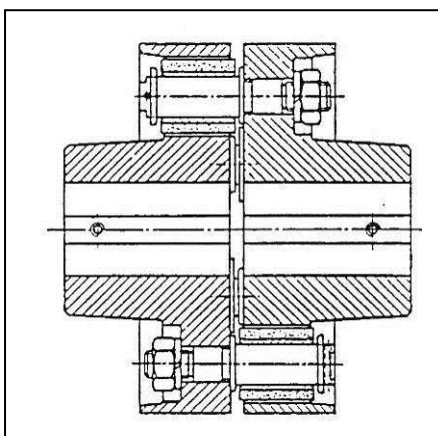
Les encoches des moitiés d'accouplement sont pressées contre les blocs élastiques qui sont dès lors comprimés et cintrés. Les blocs sont composés de caoutchouc renforcé.



### Accouplement élastique à douilles

L'accouplement à douilles est doté de douilles élastiques. Ce modèle est surtout conçu pour ne pas subir de rupture des éléments reliés si les composants élastiques s'usent, ce qui est requis par exemple dans les installations de levage.

L'assemblage est composé de deux moitiés d'accouplement identiques dotées du même nombre de broches et alvéoles d'entraînement, où les broches sont imbriquées dans les douilles de l'autre moitié d'accouplement. Le jeu diamétral de la douille dans l'orifice est de 0,5 à 1 mm. Les broches sont en acier. La douille peut être garnie d'un petit manchon en laiton qui coulisse sur la broche en cas de dépositionnement de l'arbre, ce qui limite l'usure. Les douilles peuvent être changées facilement.



Broches à douille de type Elco

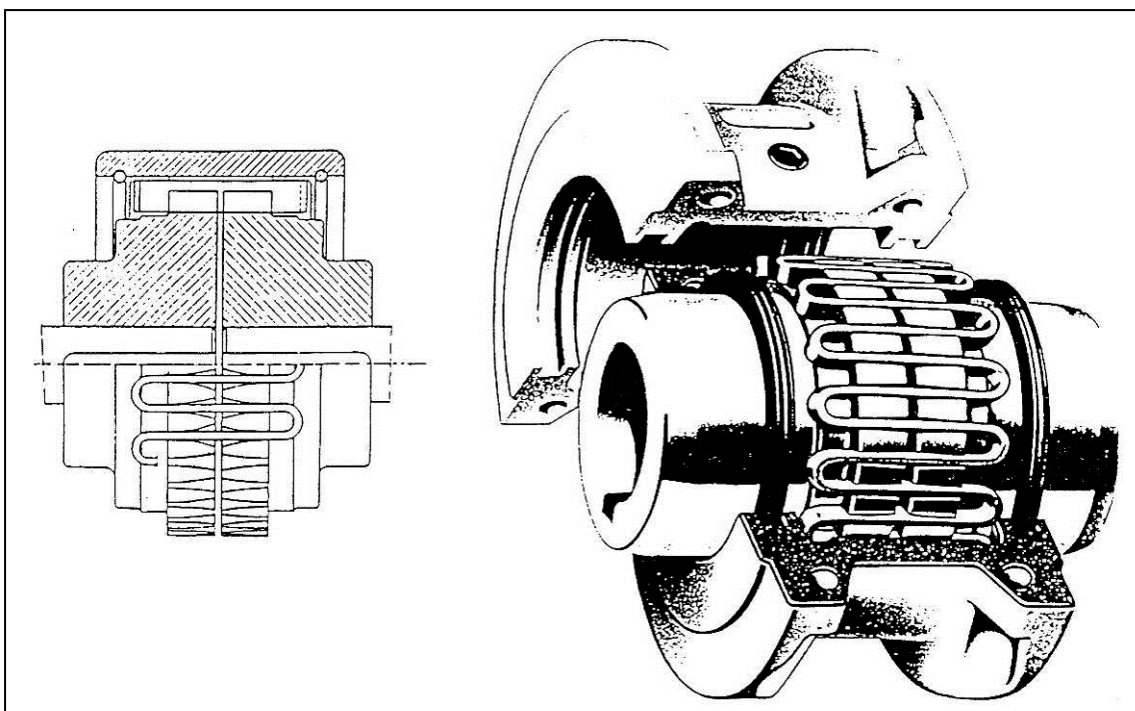


Il existe un accouplement élastique à douilles de forme particulière appelé Elco. Les douilles peuvent être comprimées ; elles sont utilisées quand la direction du couple transmis se modifie.

### Accouplement à ressorts

Ce type d'accouplement est composé de deux disques présentant des excroissances périphériques abritant un ressort de forme sinusoïdale.

On trouve aussi dans le commerce, pour la transmission de couples élevés fortement changeants, des accouplements à ressorts périphériques hélicoïdaux



### Accouplements à plots ou tampons

En général, ils utilisent des élastomères.

On distingue ceux qui travaillent en compression, les plus rigides, de ceux les faisant travailler plutôt au cisaillement, plus souples et moins précis, mais qui absorbent mieux les vibrations.



Accouplement à plots comprimés



Accouplement à plots cisailés

### Accouplement à soufflet métallique

Ils sont souples dans toutes les directions.  
Ceux en acier inox peuvent transmettre des puissances importantes.



### Accouplement métallique taillé en hélicoïde

Il s'agit d'un tube entaillé de plusieurs rainures hélicoïdales.  
Ils sont plus souples en torsion que le soufflet métallique.  
Certains ont un sens de rotation préférentiel.



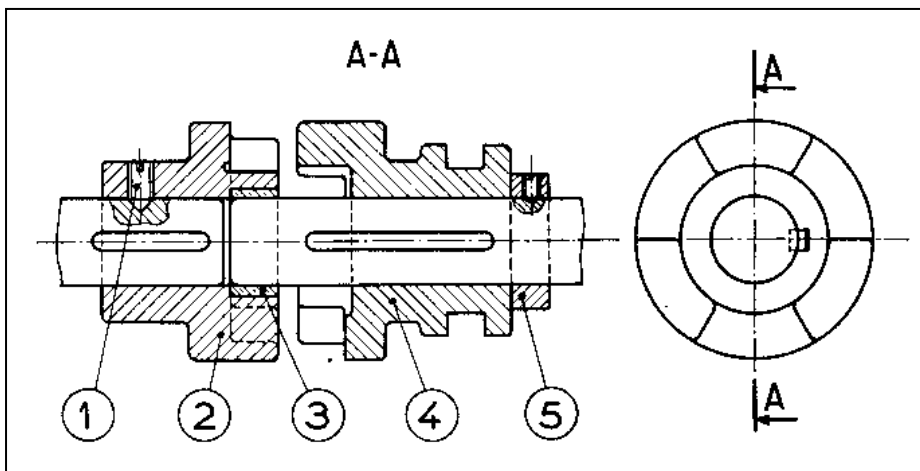
Certains sont formés de plusieurs ressorts hélicoïdaux coaxiaux.  
Ils sont plus rigides.



### Accouplements débrayables

Ces accouplements peuvent être débrayés quand ils sont en mouvement, mais ne peuvent être ré-emb rayés que si les arbres ne présentent mutuellement aucune différence de régime, ou une différence minimale, sous peine d'engendrer des coups violents.

L'accouplement débrayable le plus simple est l'accouplement à griffes. La moitié d'accouplement correspondant à l'arbre d'entraînement est fixe. L'autre moitié, sur l'arbre entraîné, est coulissante sur ses clavettes, au moyen d'un levier.



A pleine charge, il faut une très grande force pour débrayer ce type d'accouplement. La faible distance des surfaces de pression des dents et des clavettes à l'axe de l'arbre engendre de grandes forces tangentielles et de torsion. La force axiale de désaccouplement doit pouvoir être absorbée par les arbres. Les clavettes s'usent fortement au découplage, ce qui engendre un jeu qui peut avoir pour conséquence le basculement des clavettes. A la place des clavettes, il vaut parfois mieux utiliser un arbre denté.

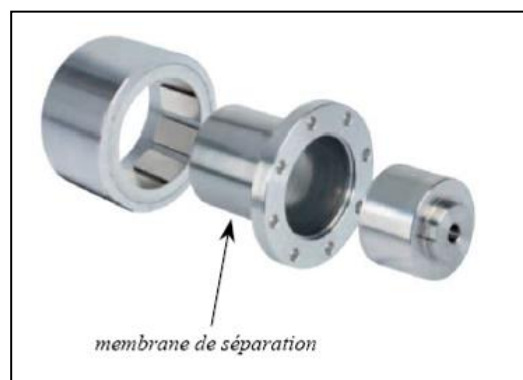
Les accouplements à griffes ne peuvent donc s'utiliser que pour les arbres peu chargés à régime très lent. On les débraye de préférence quand ils sont déchargés.

### Accouplements magnétiques

Les accouplements magnétiques fonctionnent par entraînement magnétique. L'arbre du moteur se termine par un anneau et celui de la pompe par un aimant.

Lorsque l'arbre du moteur tourne, la force qui s'exerce entre l'aimant et l'anneau entraîne l'aimant en rotation et la puissance est ainsi transmise du moteur à la pompe.

Si l'enveloppe de la pompe passe entre les deux aimants, on évite alors une étanchéité pompe ce qui est d'un intérêt évident.



# Réducteurs

## Définitions

Un **réducteur** est un système composé d'engrenages dont le rapport de transmission est inférieur à 1, pour augmenter le couple moteur ou réduire la vitesse.

Un **engrenage** est un système mécanique composé de deux roues dentées servant à la transmission du mouvement entre elles. La plus petite de ces deux roues est appelée pignon. Un réducteur peut être composé de plusieurs trains d'engrenages.

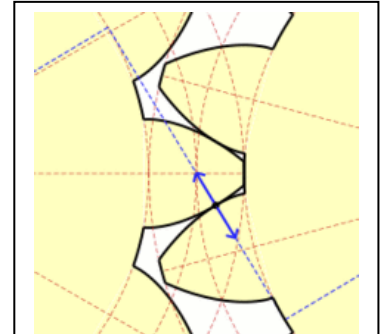
Le rapport de vitesses obtenu entre l'entrée et la sortie est appelé **rapport de transmission** ; il ne dépend que des nombres de dents des roues en contact. Il est également égal au rapport des diamètres « primitifs » des roues en contact.

- ✓ Diamètre primitif :  $d_1 = m \cdot Z_1$
- ✓ Entraxe =  $\frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{m(Z_1 + Z_2)}{2}$
- ✓ Rapport d'engrenage :  $Z_2 / Z_1$
- ✓ Denture : c'est la partie dentée d'une pièce mécanique.
- ✓ Profil : il s'agit de la forme d'une dent.
- ✓ Module : c'est un paramètre dimensionnel relatif à la périodicité des dents, donc à leur taille.
- ✓ Engrenage à axes parallèles : engrenage dont les axes des roues sont parallèles.
- ✓ Engrenage concourant : engrenage dont les axes des roues ont un point d'intersection.
- ✓ Engrenage gauche : engrenage qui n'est ni à axes parallèles, ni à axes concourants.

## Denture

Dans la majorité des cas, pendant la rotation les dents restent en contact, et quand le lieu géométrique de ce point est une droite les profils des dents sont des développantes de cercle. La développante de cercle est la trajectoire d'un point d'une droite qui roule sans glisser sur un cercle. Ce cercle est appelé « cercle de base ».

Si l'on considère deux cercles de base associés à deux roues d'un même engrenage, il est possible de faire rouler sans glisser une droite simultanément sur les deux cercles.



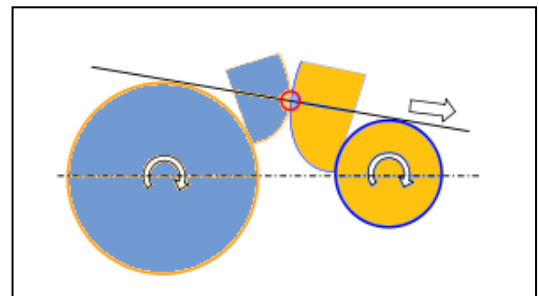
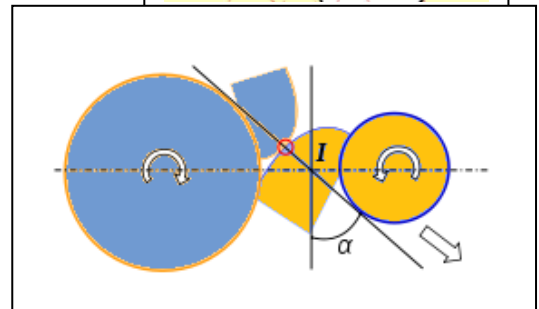
Si la droite passe entre les centres des cercles, on obtient l'engrenage classique. Généralement  $\alpha$  vaut  $20^\circ$  en Europe,  $25^\circ$  aux USA et  $14,5^\circ$  pour les anciens engrenages.

Si la droite passe à l'extérieur, les deux roues tournent dans le même sens et l'engrenage est dit « paradoxal ».

Le point de contact entre deux dents est appelé point d'engrènement.

Entre deux dents, il y a deux forces :

- Une force tangentielle qui transmet le couple.
- Une force radiale qui tend à éloigner les roues. Un angle  $\alpha$  petit limite cette force parasite mais donne une forme de dent fragile ; à l'inverse un angle  $\alpha$  élevé génère beaucoup de force sur les axes.

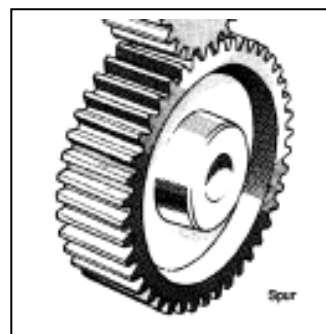


Les nombres de dents du pignon et de la roue dentée sont choisis premiers entre eux, ce qui permet à chaque dent du pignon ou de la roue de rencontrer toutes les dents de l'autre. Dans certains cas, on fait un déport de denture ( ou correction de denture) en réduisant la saillie au profit de la dent. Un intérêt principal est que les dents du pignon sont grossies et celles de la roue réduites, ce qui donne alors des durées de vie assez semblables. Lorsqu'il y a correction de denture, en cas d'incident il faut toujours changer la paire pignon-roue denture, et non un seul élément.

### Types de dentures

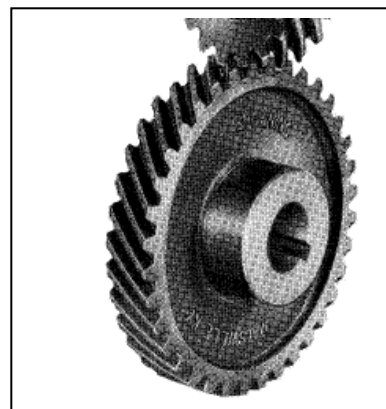
#### Denture droite

C'est le cas le plus courant. La génératrice de forme des dents est une droite parallèle à l'axe de rotation.



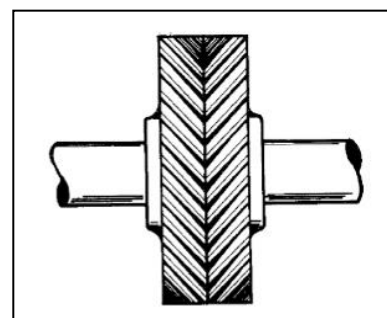
#### Denture hélicoïdale

La génératrice de la forme des dents est une ligne hélicoïdale. L'avantage par rapport à la denture droite est qu'elle est plus silencieuse et crée moins de vibrations. Elle permet de transmettre des efforts plus importants. L'inconvénient est qu'elle génère une poussée axiale importante.



#### Denture en chevrons

Ce type de denture pallie l'inconvénient de la simple denture hélicoïdale puisque les efforts axiaux s'opposent. Mais il est cher à réaliser. Souvent on associe deux engrenages à hélices contraires plutôt que de fabriquer des pignons monoblocs.



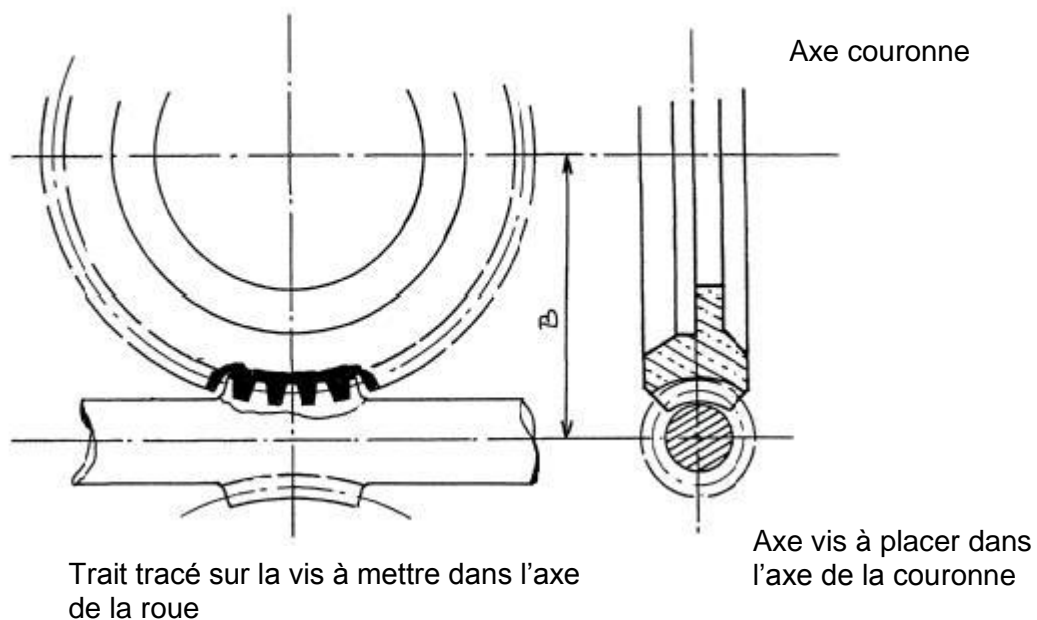
### Engrenages à vis

L'engrenage de ce type est appelé « roue et vis sans fin ». La denture de la vis est très souvent de forme trapézoïdale.



### Engrenages à vis globique

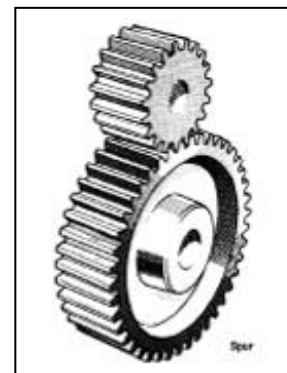
Dans ce cas, la vis épouse la forme de la roue. C'est un engrenage de haute précision qui demande beaucoup de soin lors de l'usinage et du montage.



## Types d'engrenages

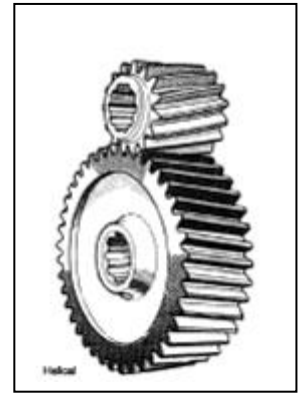
### Engrenage parallèle à denture droite

Les axes du pignon et de la roue sont parallèles et les dentures sont droites.



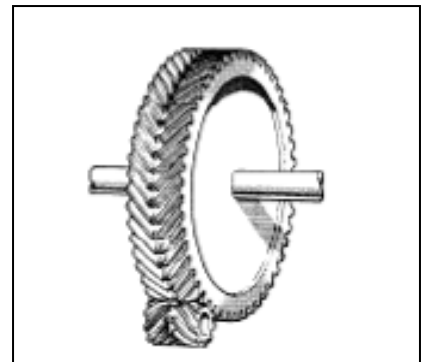
### Engrenage parallèle à denture hélicoïdale

Les axes du pignon et de la roue sont parallèles et les dentures sont hélicoïdales.



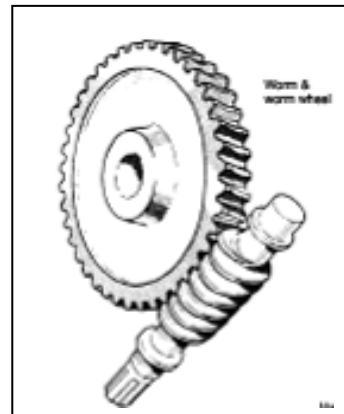
### Engrenage parallèle à denture en chevrons

Les axes du pignon et de la roue sont parallèles et les dentures sont en chevron..



### Engrenage à roue et vis

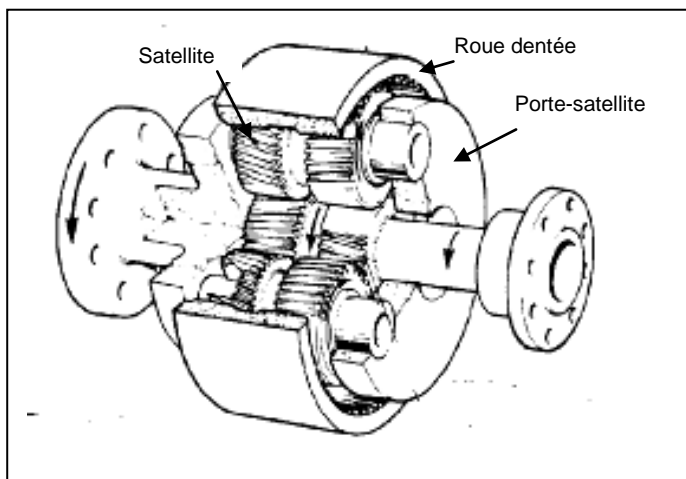
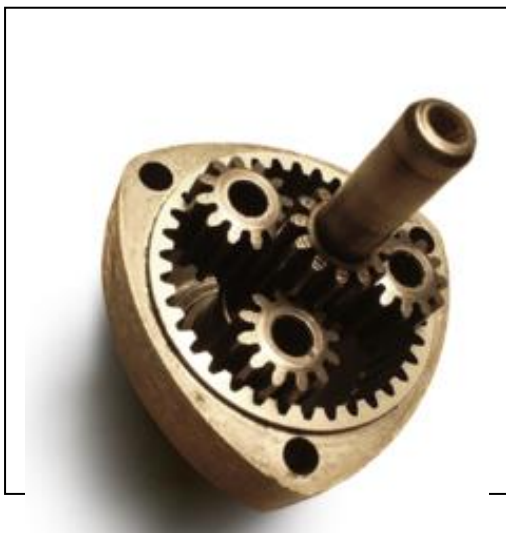
Comme dit précédemment, l'engrenage de ce type est appelé « roue et vis sans fin ». La denture de la vis est très souvent de forme trapézoïdale. C'est la vis qui entraîne la roue ; dans la majorité des cas, le système est irréversible. La réduction de vitesse est importante avec un renvoi à angle droit ; mais le rendement est inférieur à celui d'un engrenage classique. On rencontre souvent ce type d'engrenage dans les réducteurs car il permet de gagner beaucoup de place.



### Engrenage planétaire

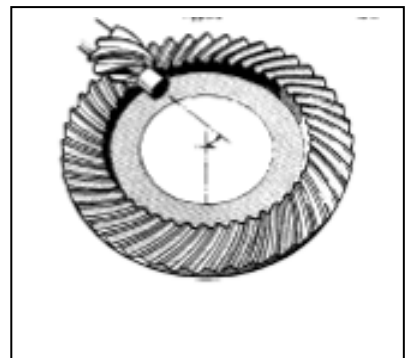
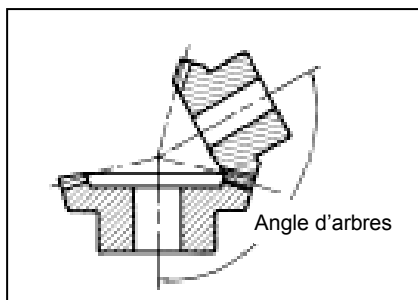
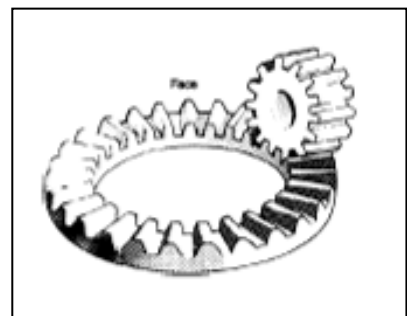
Ces engrenages sont composés de satellites (souvent 3) montés sur un porte-satellite tournant autour de pignons, et dans une couronne dentée. Plusieurs systèmes existent suivant que c'est la couronne dentée ou le porte-satellite qui est fixe. Ces trains sont assez utilisés en mécanique car ils peuvent fournir des rapports de réduction élevé, avec une taille raisonnable et un rendement assez élevé.





## Engrenage à renvoi d'angle

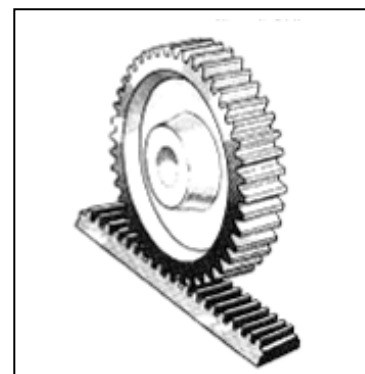
Les axes des deux roues dentées sont concourants : les sommets des cônes primitifs sont confondus.



## Engrenage à crémaillère

L'ensemble de pignon-crémaillère permet de transformer un mouvement rotatif en mouvement de translation ou inversement. On en trouve de nombreuses applications dans l'industrie. Sur le plan de la maintenance, ce système demande deux précautions principales :

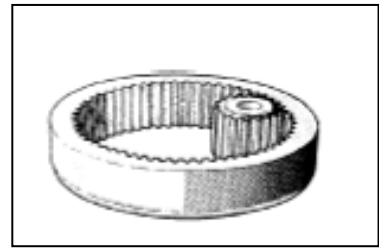
- veiller à une lubrification régulière du pignon et de la roue ;
- lors de réparations veiller au repérage des dentures s'il y a deux systèmes en parallèle (cas des équipements de centrage).





### Engrenage paradoxal

L'engrenage paradoxal est utilisé sur certains différentiels. On le rencontre essentiellement dans l'automobile



### Engrenage gauche

Les axes des deux roues dentées ne sont pas dans le même plan. C'est un montage que l'on rencontre très peu souvent.

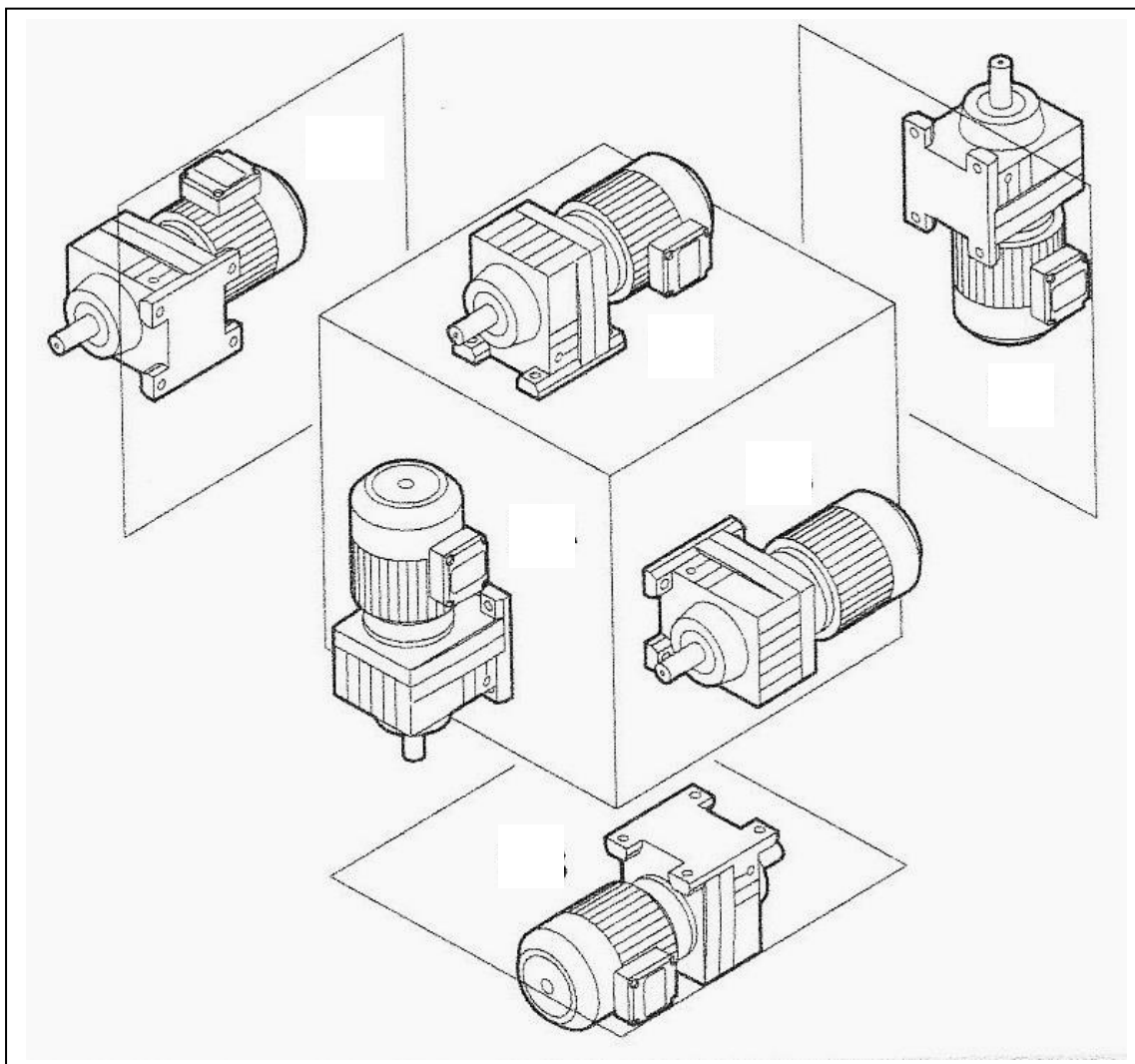


## Motoréducteurs

Pour la transmission de faibles puissances, on utilise souvent des motoréducteurs qui marient moteur et réducteur, ce qui évite l'emploi d'accouplements.

### Différents types de montage

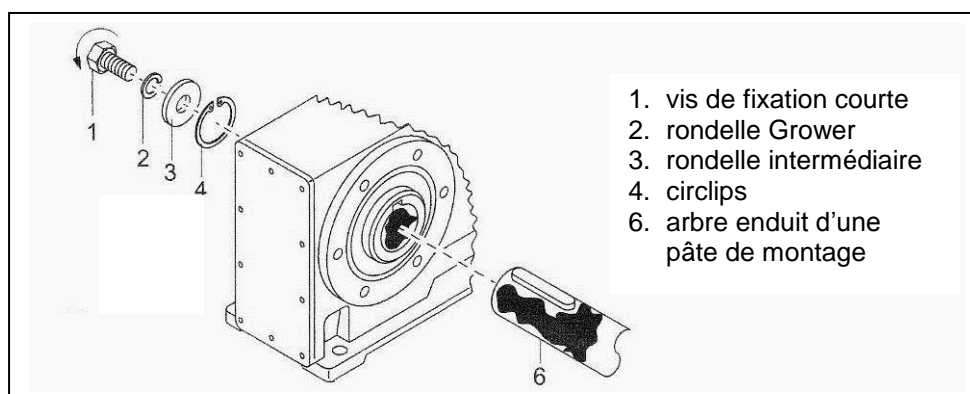
Les motoréducteurs permettent d'avoir plusieurs positions suivant différents types de montages comme le montrent les schémas ci-après.



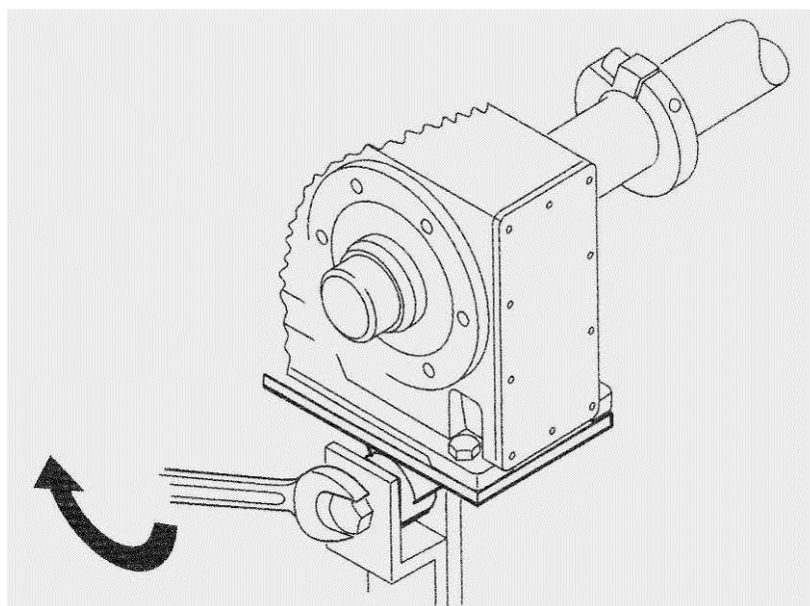
### Motoréducteurs à arbre creux

Les motoréducteurs permettent en outre de pouvoir être montés directement sur l'arbre entraîné, ce qui évite là encore l'utilisation d'accouplements. C'est le système dit de « l'arbre creux ».

Le principal inconvénient est que la charge sur les roulements est plus grande.



Le motoréducteur est maintenu en rotation par un bras de couple qu'il ne faut pas oublier de bloquer.



## Indications

### Indice de protection

1 <sup>er</sup> chiffre protection contre les corps solides	2 <sup>e</sup> chiffre protection contre les liquides	3 <sup>e</sup> chiffre protection contre les chocs mécaniques
0 pas de protection	0 pas de protection	0 pas de protection
1  protégé contre les corps solides supérieurs à 50 mm	1  protégé contre les chutes verticales de gouttes d'eau (condensation)	1  150 g, 10 cm, énergie de choc: 0,225 joule
2  protégé contre les corps solides supérieurs à 12 mm	2  protégé contre les chutes de gouttes d'eau jusqu'à 15° de la verticale	2  250 g, 15 cm, énergie de choc: 0,375 joule
3  protégé contre les corps solides supérieurs à 25 mm	3  protégé contre l'eau de pluie jusqu'à 60° de la verticale	3  250 g, 20 cm, énergie de choc: 0,5 joule
4  protégé contre les corps solides supérieurs à 1 mm	4  protégé contre les projections d'eau de toutes directions	5  500 g, 40 cm, énergie de choc: 2 joules
5  protégé contre les poussières pas de dépôt nuisible	5  protégé contre les jets d'eau de toutes directions à la lance	7  1,5 kg, 40 cm, énergie de choc: 6 joules
6  totalement protégé contre les poussières	6  protégé contre les projections d'eau assimilables aux paquets de mer	9  5 kg, 40 cm, énergie de choc: 20 joules
	7  protégé contre les effets de l'immersion	

Normalement un réducteur doit être accompagné d'un indice de protection.

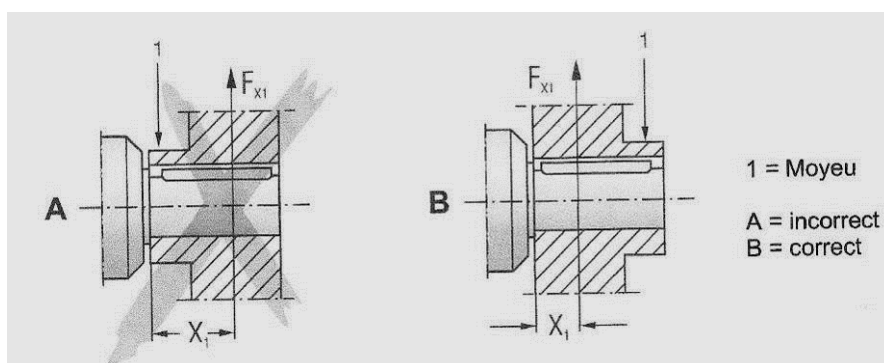
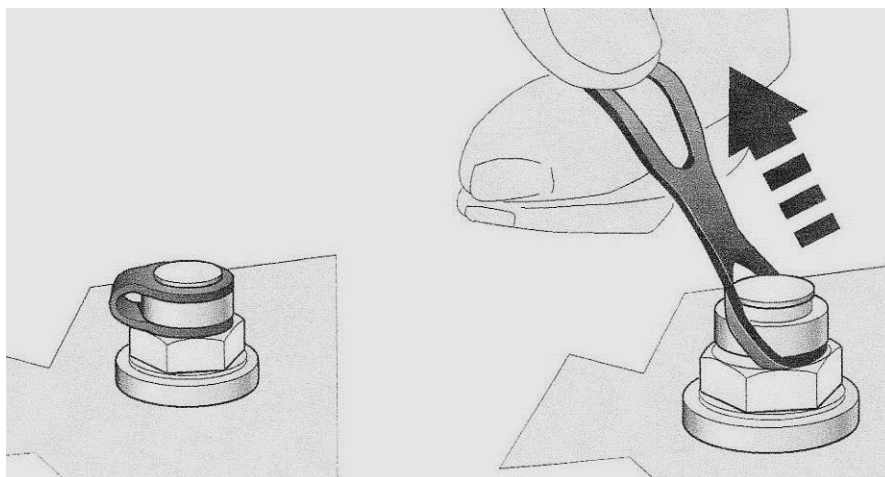
Cet indice est composé de 2 lettres et 3 chiffres.

- Le premier chiffre donne la protection contre les corps solides (poussières).
- Le deuxième chiffre donne la protection contre les liquides.
- Le troisième chiffre donne la protection mécanique (contre les chocs).

Exemple : IP 559 :

- ✓ Protégé contre les poussières
- ✓ Protégé contre les jets d'eau à la lance
- ✓ Protégé contre les chocs à raison d'une énergie de 20 joules.

### Précautions de montage



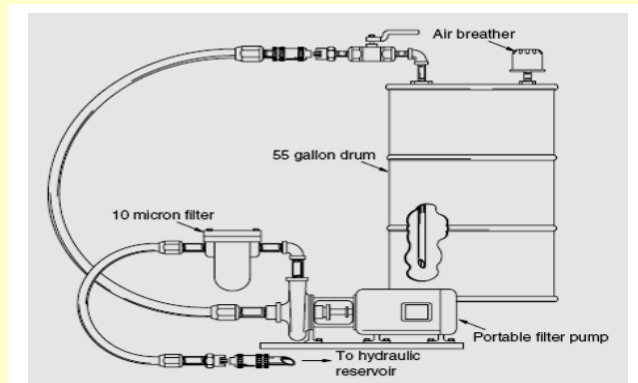
### Maintenance

Les points suivants sont recommandés :

#### Après 50 heures de marche

Dans l'huile il y a sans doute de la limaille et des débris dus à l'usinage et au montage. Il est donc recommandé de faire une vidange.

Si le réducteur est important, on peut faire une petite vidange pour nettoyer le fond, puis un filtrage avec un appareil mobile.



#### Après 6 mois et 1 an

Les dentures peuvent se détruire lentement en raison d'une incompatibilité avec l'huile (additifs) ou de mauvais montages. Il est recommandé de faire une vérification assez tôt, soit après 6 mois puis 1 an. S'il s'agit d'un gros réducteur, on peut procéder par endoscopie en passant par exemple par le trou du reniflard. Il suffit de voir l'état de quelques dentures.

### Lubrification

- Contrôler régulièrement l'absence de fuites et le bruit : une fois / semaine si possible.
- Contrôler régulièrement le niveau d'huile quand c'est possible : une fois / mois si possible. S'il n'y a pas de voyant, on peut alors faire des ajouts jusqu'au trop plein par exemple une fois par semestre, ou introduire une jauge.
- Pour les réservoirs et réducteurs contenant au moins 500 litres, il est conseillé de faire des analyses d'huile une fois par semestre. Ce sont les résultats qui dicteront la nécessité de vidanger ou non.
- Lorsqu'il n'y a pas d'analyse d'huile, il est conseillé de faire une vidange par an pour les huiles minérales et tous les 3 ans pour les huiles de synthèse. Bien entendu pour les petits réducteurs et motoréducteurs, on peut augmenter cette fréquence et passer par exemple à 3 ans pour les huiles minérales.
- Lorsque l'atmosphère est poussiéreuse, les reniflards doivent être nettoyés une fois par mois.

### Inspection

Voir le chapitre sur la Maintenance préventive.

## Joint ( hors garnitures mécaniques)

Un joint est un moyen mécanique qui assure l'étanchéité en évitant les fuites de liquide ou de gaz à un raccord, fixe ou mobile.

La plupart du temps, le joint est une pièce de :

- cuir
- étoupe (tresse)
- fibrine (robinetterie)
- feutre
- caoutchouc
- élastomères
- polymères (synthétique souple)
- métal (acier allié; laiton; maillechort)

### Joint statique

#### Joint plat

Un joint plat comporte deux faces parallèles qui, serrées entre deux parties fixes, assurent l'étanchéité.

On distingue deux types de joints plats :

- joint fait d'une seule matière : c'est la cas le plus courant ;
- joint fait fait d'au moins deux matières, l'une assurant l'étanchéité par son élasticité, l'autre assurant le bon positionnement par sa rigidité.

#### Joint d'une seule matière

Les différents types que l'on peut rencontrer sont les suivants.

- ✓ Joints de faible épaisseur en papier ou liège enduit, résistant aux brusques variations de température et à certains agents chimiques comme les huiles et carburants. Ils sont le plus souvent découpés dans de grandes feuilles aux formes des matériels concernés (carters..)
- ✓ Joints assurant l'étanchéité de bords alimentaires. Ils sont composés d'un élastomère d'épaisseur 2 à 3mm, de couleur rouge.
- ✓ Joints d'étanchéité en caoutchouc tendre, souvent de couleur noir, utilisés en robinetterie pour un serrage manuel.
- ✓ Joints fibres qui subissent un léger gonflement lors de leur contact avec l'eau. C'est pourquoi on les utilise principalement en robinetterie. Il ne faut pas les utiliser pour le gaz.
- ✓ Joint plat qui est vissé au bout de la tige de manoeuvre ; plaqué sur le siège du robinet il assure l'étanchéité.
- ✓ Joint de couleur noire, en fibre et caoutchouc et que l'on emploie pour les hautes pressions et/ou hautes températures des fluides.
- ✓ Joint de vidange métalloplastique.
- ✓ Joints spéciaux à base de graphite.

#### Joint spiralé

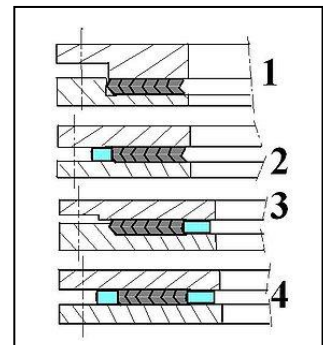
Le joint spiralé permet d'assurer une étanchéité entre 2 brides sur des installations chaudes.

Le joint est formé d'un feuilard en inox et en forme de V enroulé en spirale et dont les spires sont intercalées avec une couche de graphite ou de PTFE.

Il existe plusieurs types :

**fig. 1** : joint souple seul,

**fig. 2** : joint souple avec bague inox extérieure,





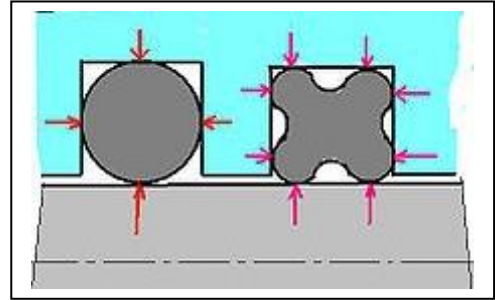
**fig. 3** : joint souple avec bague inox intérieure,

**fig. 4** : joint souple avec bagues intérieure et extérieure.

### Joint torique

Le joint torique est en forme de tore. Son utilisation peut être statique ou dynamique.

Il peut être à 1 ou 4 lobes. L'intérêt du 4 lobes est qu'il diminue le frottement.

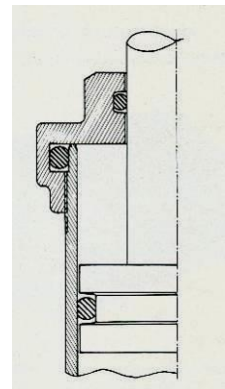


Ce type de joint qui est très utilisé nécessite plusieurs précautions de choix et de montage.

### Anneau d'étanchéité

Pour obtenir le meilleur résultat dans l'emploi des joints toriques :

1. Les surfaces d'usinage du piston, de la gorge et du cylindre doivent être aussi lisses que possible.
2. Les angles doivent être arrondis. Le joint ne doit jamais venir en contact d'angles aigus, de bavures, de filetages.
3. Le jeu entre le piston et le cylindre doit être le plus faible possible.
4. Evitez toute impureté entre les parties coulissantes.



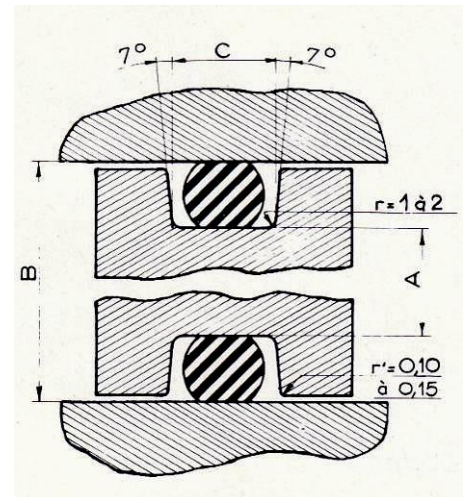
Cotes recommandées :

Diamètre intérieur du joint =  $0,95 A$

Diamètre du tore =  $0,55 (B-A)$  et  $0,9 C$

Pente de la gorge =  $7^\circ$

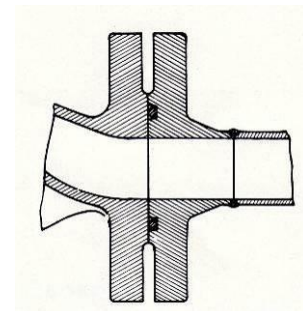
Compression totale : environ 10 %



### Joint torique statique monté entre brides

Le logement est constitué par une gorge usinée dans la contre-bride. La bride correspondante demeure plate et simplement dressée.

Ce montage permet d'obtenir une étanchéité absolue aux plus hautes pressions de gaz ou de liquides jusqu'à  $120^\circ\text{C}$  même avec un serrage modéré des boulons.

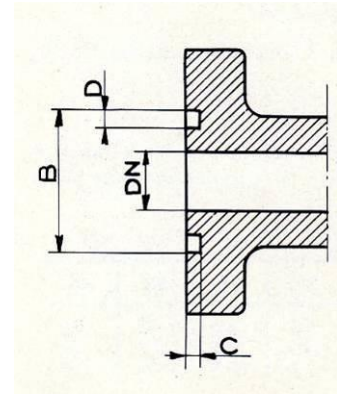


Cotes recommandées :

Diamètre extérieur du joint torique = B

Diamètre du tore =  $1,2 C$  et  $= 0,7 D$

Compression : environ 20 %



### Raccord bicône

Le raccord bicône assure la jonction entre deux tube avec une étanchéité totale.

Il comprend :

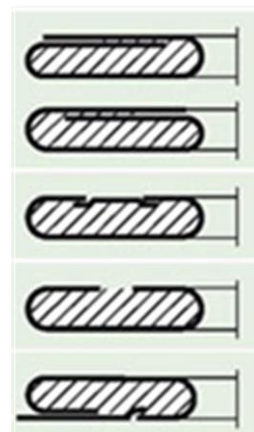
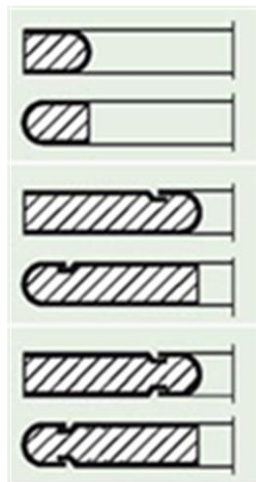
- un raccord central,
- deux bagues biconiques,
- deux écrous.



### Joints métaloplastiques

Les joints métaloplastiques se composent d'une âme en graphite, PTFE ou fibres minérales, enrobée d'une enveloppe métallique souple. Celle-ci est destinée à protéger l'âme des destructions mécaniques et chimiques.

L'âme est généralement un matériau ayant une grande résistance thermique.



Exemples



## Joint dynamiques

### Joint à lèvre

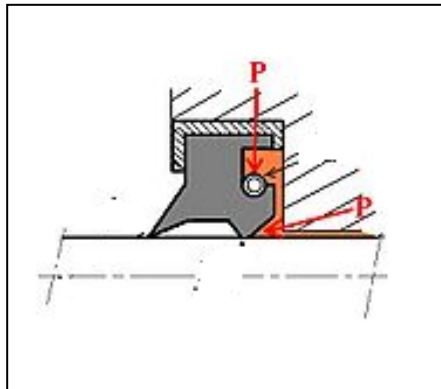
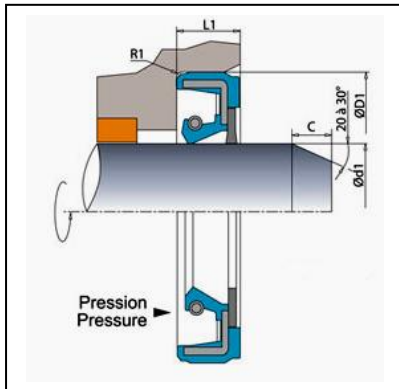
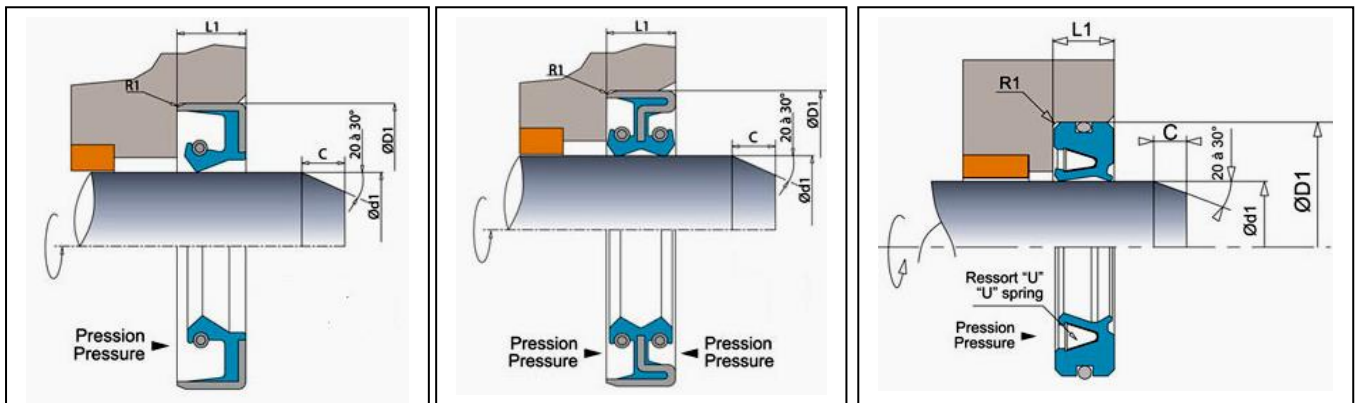
Ce type de joint est assez souvent appelé joint SPI du nom de son premier fabricant.

La bague extérieure est constituée d'un boîtier qui est emmanché dur ou collé dans la partie fixe, ou parfois maintenu par le revêtement caoutchouc de la bague extérieure.

La partie intérieure est constituée d'une ou plusieurs lèvres qui assurent l'étanchéité par serrage contre la partie mobile, ce serrage étant assuré par un ressort ou par l'élasticité du matériau.

Tout léger défaut de montage entraîne une fuite.

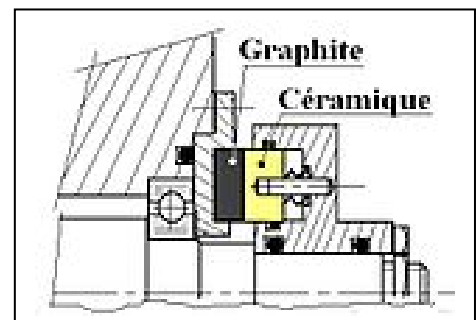
La pose s'effectue normalement à l'aide d'une bague de diamètre adapté. A la dépose, il ne faut pas rayer l'arbre ou endommager le logement ; on utilise un extracteur ou des vis autotaraudeuses prises dans le boîtier de la bague et servant de levier d'extraction.



Exemples de joints à lèvres

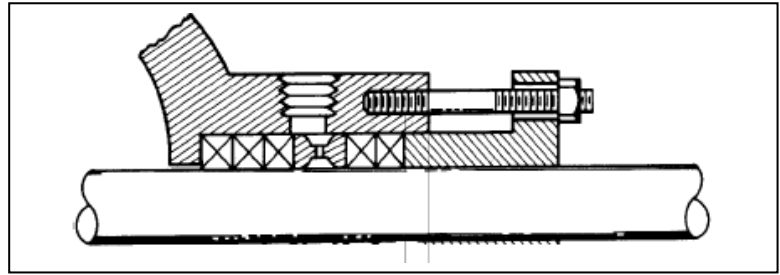
### Joint d'étanchéité annulaire

Il existe des joints d'étanchéité annulaire, qui ne sont pas des garnitures mécaniques au sens propre. Ce type de joint travaille en ambiance dure ou/et corrosive. IL comporte une face revêtue de céramique et frottant sur une face en graphite. La pression entre les deux faces est assurée par de petits ressorts.



### Presse-étoupe

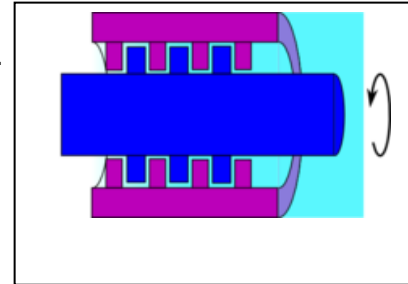
Voir la Règle de l'art concernant le remplacement d'un presse-étoupe.



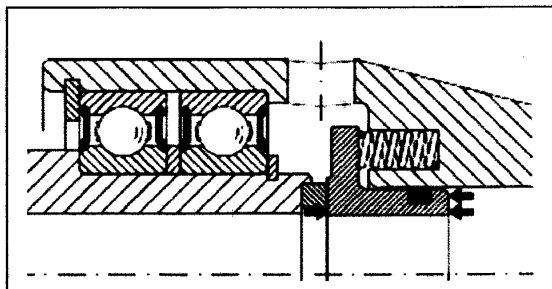
### Déflexeurs

Ils sont recommandés dans le cas de lubrification à la graisse.

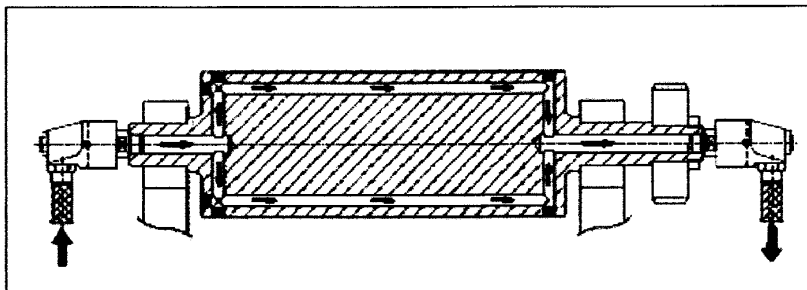
Leur très gros avantage est qu'ils ne s'usent pas.



### Joint tournant



Exemple de joint tournant



Exemple d'application

# Garnitures mécaniques

## Principes généraux

### Types de garnitures

Le rôle des garnitures est de séparer des espaces entre lesquels existent des différences de pressions, de fluides et de températures.

En outre, elles évitent l'introduction de corps étrangers dans les organes de machines et les pertes de lubrifiant des carters.

Les garnitures sont employées en grande quantité dans l'industrie pour résoudre les problèmes les plus divers. Selon les conditions de fonctionnement et les exigences, on utilise :

- pour les organes statiques de machine : joints plats, bagues toriques ou alliages soudés;
- pour l'étanchéité lors de mouvements alternatifs : garnitures tressées, joints à manchette, segments de pistons, garnitures métalliques ou joints à membrane;
- pour l'étanchéité des arbres tournants : labyrinthes, presse-étoupes, manchettes, garnitures à lèvres, garnitures mécaniques;

pour ne citer que quelques réalisations.

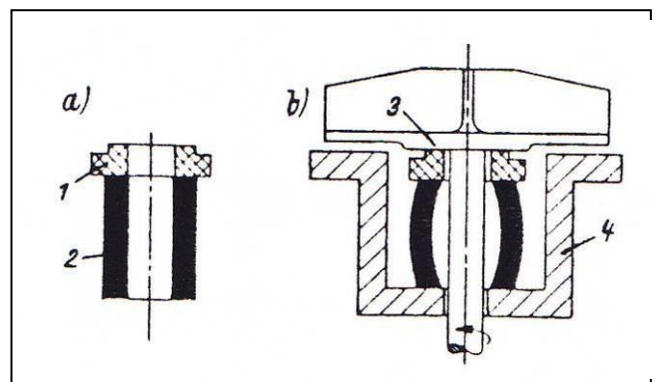
### Principes fondamentaux des garnitures mécaniques

La garniture mécanique se compose toujours d'un élément radial fixe et d'un élément axial tournant. Les surfaces d'étanchéité fixe et mobile du presse-étoupe ordinaire sont ici pratiquement inversées, présentant l'avantage que leur configuration peut être réalisée avec une plus grande précision, d'une manière plus économique, et que l'usure de l'arbre ou de la chemise d'arbre est supprimée.

Afin de compenser le manque de parallélisme des surfaces des bagues, les dilatations linéaires des organes de machines et des éléments de la garniture, ainsi que l'usure des faces frontales, la garniture doit comporter au moins un élément élastique tel que membrane, soufflet, pièce élastique en caoutchouc ou ressort.

La figure ci-contre représente sous une forme de réalisation très simple la solution d'une garniture mécanique.

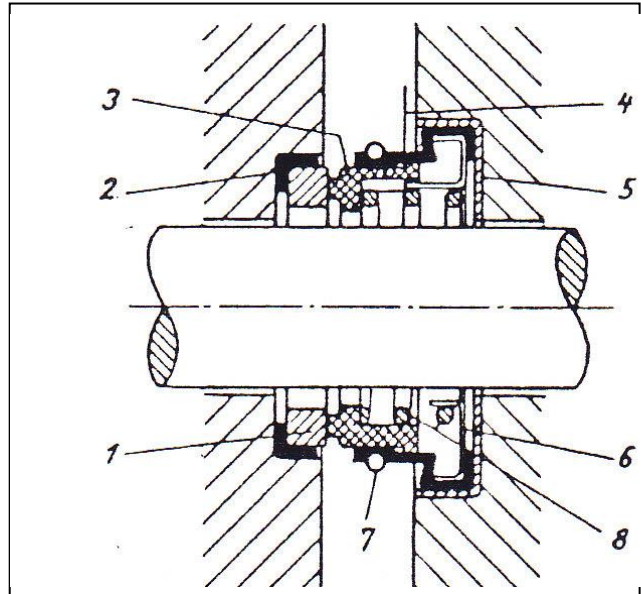
Dans cette solution le soufflet en caoutchouc ne remplit pas seulement la fonction de l'élément d'étanchéité radial mais aussi celle du ressort. Le moment de torsion est transmis ici par le soufflet. Néanmoins, cette réalisation n'est pas d'un fonctionnement sûr, vu que l'immobilisation est insuffisante et que la possibilité d'une déchirure du soufflet existe.



a : avant montage  
b : après mise en place

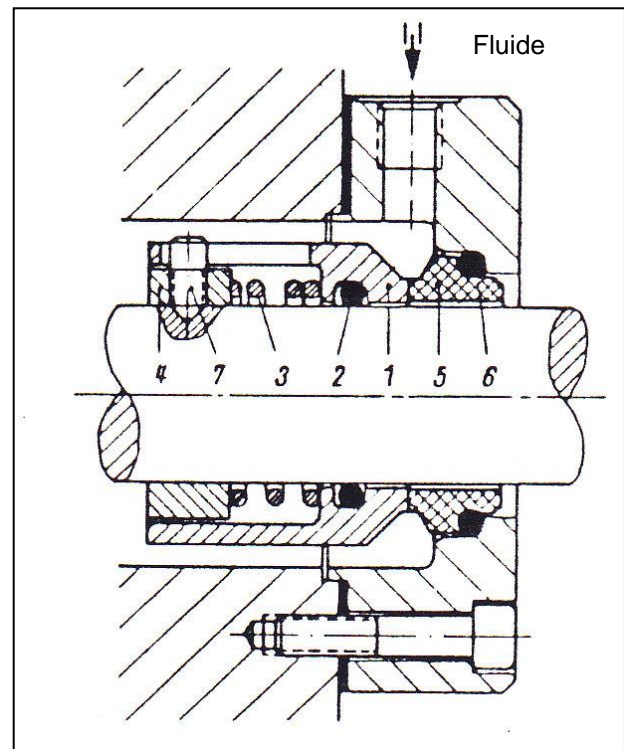
1. Bague résine synthétique
2. Tuyau en caoutchouc
3. Roue à aubes
4. Carter de pompe

Les garnitures à bague de frottement peuvent être agencées et montées de façon que la pression sur la surface d'étanchéité résulte d'une seule force, celle d'un ressort ou d'un aimant par exemple. Les garnitures ainsi réalisées ne peuvent être employées que pour des pressions très limitées, étant donné que les surfaces d'étanchéité se décolle par augmentation de la pression intérieure. Dans ce cas la charge hydraulique est négative, vu qu'elle s'oppose à la pression d'étanchéité



1. Bague céramique tournante
2. Joint en coupelle
3. Bague haute résistance en résine synthétique
4. Soufflet caoutchouc aux silicones
5. Plaque d'étanchéité
6. Guide de ressort avec sécurité anti-rotation
7. Ressort
8. Ressort de pression axiale

Pour la raison mentionnée ci-dessus, presque toutes les garnitures sont construites ou montées de telle sorte qu'à l'augmentation de la pression interne corresponde une augmentation de la pression hydraulique sur les surfaces de frottement



1. Bague de frottement
2. Joint d'étanchéité
3. Ressort de pression
4. Bague d'entraînement
5. Contre-bague
6. Joint de positionnement
7. Vis de blocage

## Différents types de garnitures mécaniques

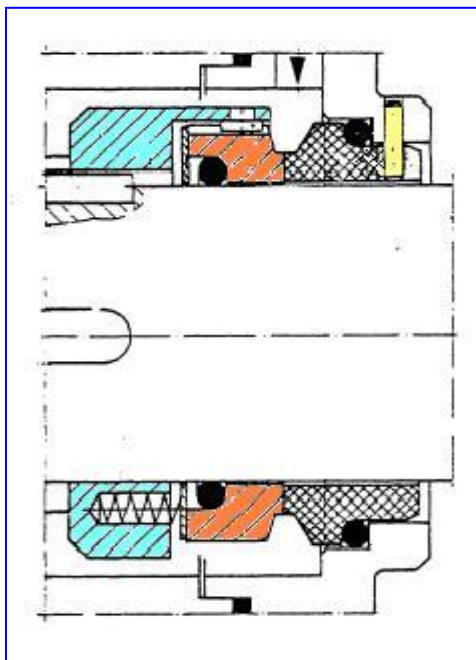
### Garniture simple effet, ou double effet

La garniture mécanique à double effet est constituée par deux garnitures mécaniques à simple effet. Elle est employée principalement pour l'étanchéité aux gaz, aux liquides fortement chargés, aux produits chimiques nocifs, ou aux fluides à très haute température.

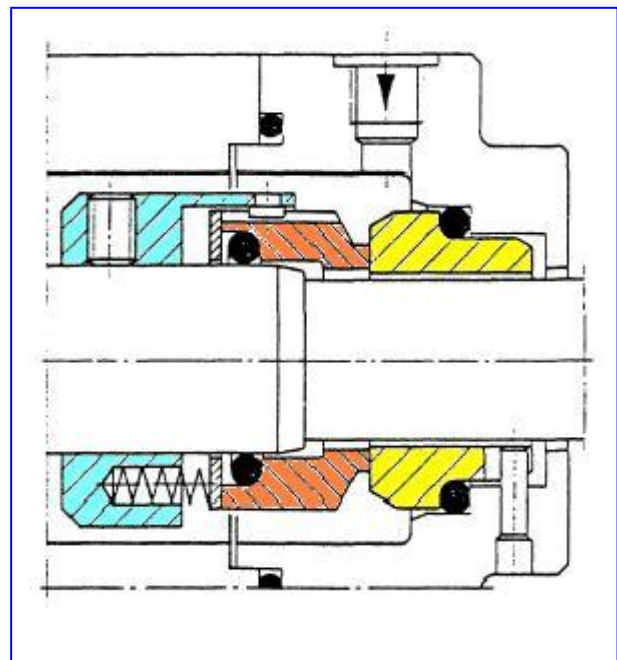
Dans ce cas une circulation additionnelle de fluide de barrage fournit la pression de barrage nécessaire, lubrifie les surfaces de frottement et évacue la chaleur de frottement.

Quelquefois, pour assurer la stabilisation de l'arbre, on monte une portée radiale entre les deux garnitures. Cela présente néanmoins l'inconvénient de ne pouvoir utiliser que des huiles comme moyen de graissage, bien que leur coefficient de dérivation de la chaleur soit défavorable.

### Garniture non compensée, ou compensée

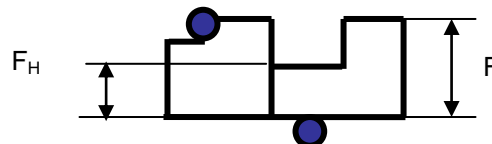


Garniture non compensée



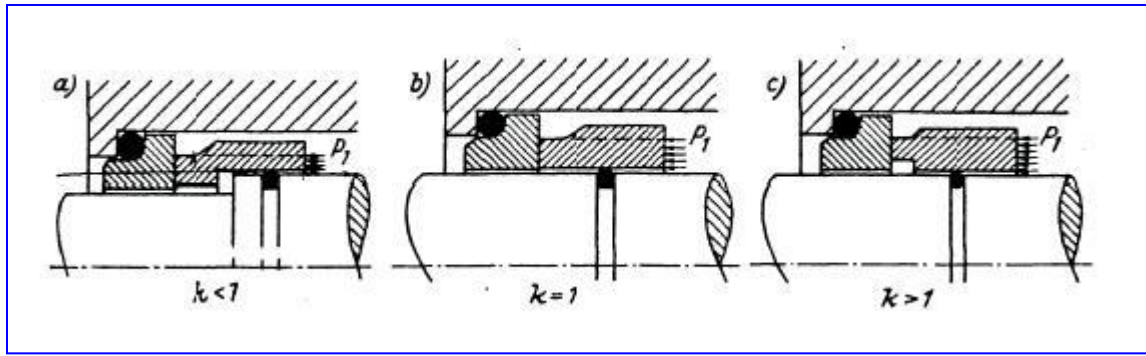
Garniture compensée

Le rapport de pression hydraulique  $k = \frac{F_H}{F}$  : surface de frottement  
: surface sous charge hydraulique  
permet une classification additionnelle.



Pour le cas de  $k < 1$ , on est en présence d'une garniture mécanique compensée, et dans l'éventualité de  $k = 1$  et  $k > 1$  on est en présence de garnitures non compensées.



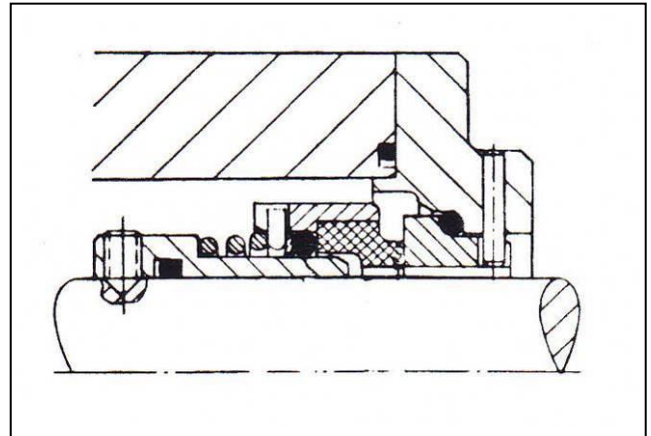


Conditions de charge pour garniture mécanique

Pratiquement, la majorité des garnitures non compensées se situent au voisinage de  $k = 1,1$  à  $1,2$ , étant donné que l'alésage de la contre-bague est toujours supérieur au diamètre de l'arbre.

Les garnitures compensées sont exécutées principalement avec des valeurs de  $k$  comprises entre  $0,6$  et  $0,9$ . A la diminution des valeurs de  $k$  correspond un accroissement de sécurité vis à vis de la surcharge thermique, mais le danger de décollement des surfaces d'étanchéité augmente.

Etant donné que pour des raisons économiques on évite souvent les épaulements sur les arbres de garnitures compensées, il faut alors considérer un élément d'étanchéité radial supplémentaire pour la chemise de compensation. De là découle la nécessité d'éliminer une autre fuite comme le montre la figure ci-contre.



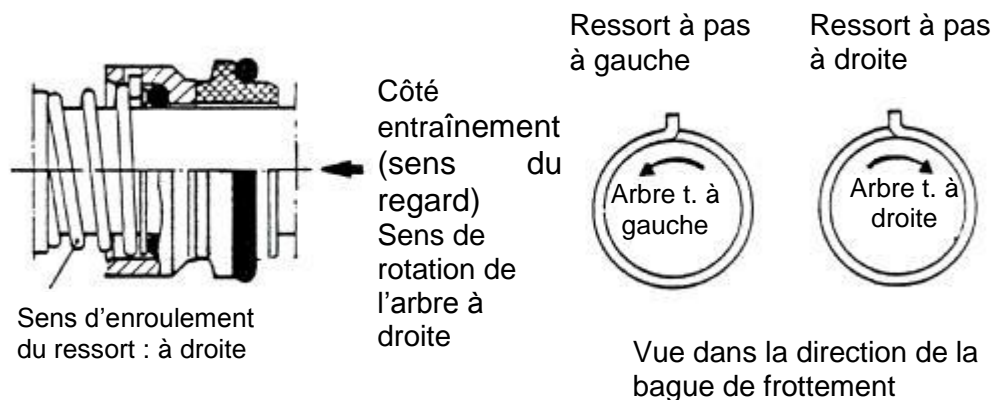
### Garniture dépendante du sens de rotation

La conception d'une garniture mécanique est indépendante du sens de rotation, sauf dans les deux cas suivants.

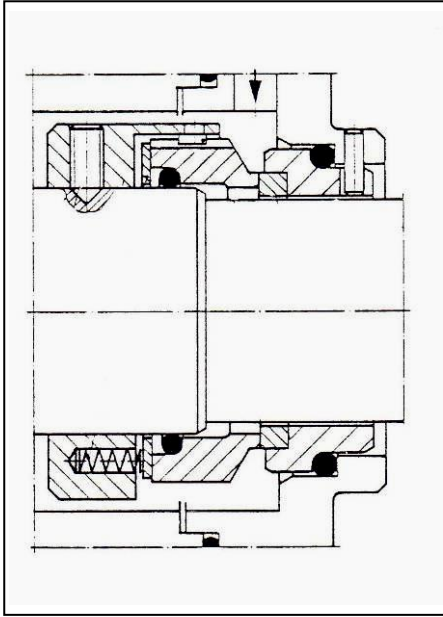
#### Ressort conique

Si l'on utilise un ressort conique pour transmettre le mouvement de rotation au grain mobile, la garniture mécanique devient dépendante du sens de rotation.

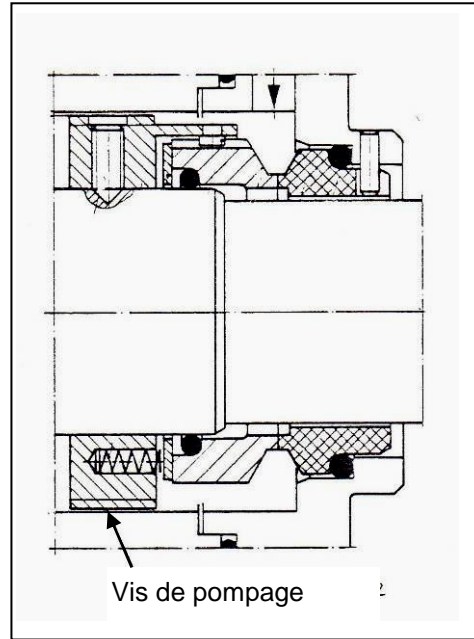
En regardant la surface de frottement des parties tournantes de la garniture les arbres tournant vers la droite exigent des ressorts à pas à droite, et les arbres tournant vers la gauche des ressorts à pas à gauche.



### Vis de pompage



Garniture sans vis de pompage



Garniture avec vis de pompage

Les vis de pompage s'emploient pour favoriser la circulation du fluide de refroidissement dans les garnitures mécaniques.

Il est possible, grâce à la conception de la construction, d'adapter exactement le sens de la circulation, la hauteur de refoulement et de volume déplacé aux conditions de fonctionnement données.

Les vis de pompage dépendent du sens de rotation.

### Garniture mécanique hydrodynamique

Lorsque la surface de frottement d'une garniture est munie d'évidements qui, par rotation, peuvent engendrer des zones de pression et de lubrification hydrodynamique, on est en présence d'une garniture mécanique hydrodynamique.

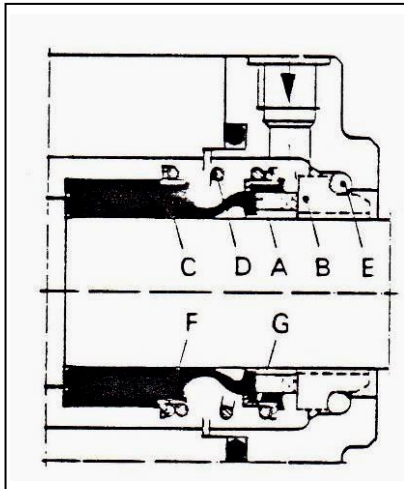
Ces évidements des surfaces de frottement qui ne s'étendent que sur une partie de la largeur d'étanchéité peuvent être disposés en forme de coin, ou peuvent être influencés par le choix des matériaux et des dimensions de telle sorte que, par déformation thermique contrôlée, il se produise un intervalle rétréci et qu'ainsi le développement de pressions hydrodynamiques soit rendu possible.

### Exemples de garnitures mécaniques

Les dessins ci-après donnent des exemples types de garnitures mécaniques :

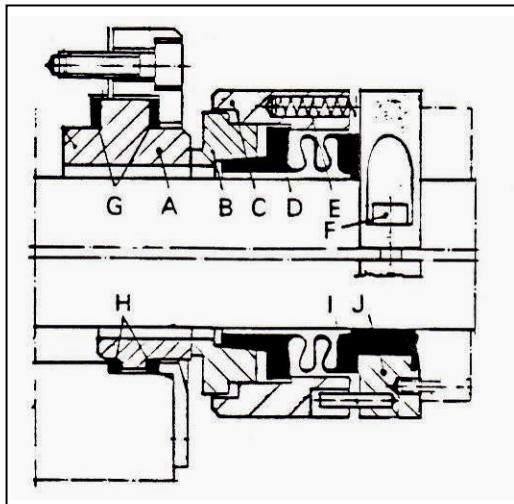
- non compensées, à simple effet,
- compensées, à simple effet,
- simple effet, thermohydrodynamique,
- non compensée, à double effet,
- compensée, à double effet,
- « back to back »

**Garnitures mécaniques non compensées, à simple effet**



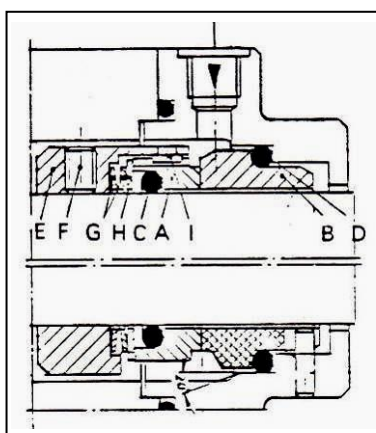
Soufflet en caoutchouc

- A. Grain mobile
- B. Grain fixe
- C. Soufflet
- D. Ressort de pression
- E. Joint torique
- F. Bague angulaire
- G. Bague angulaire



Soufflet en PTFE

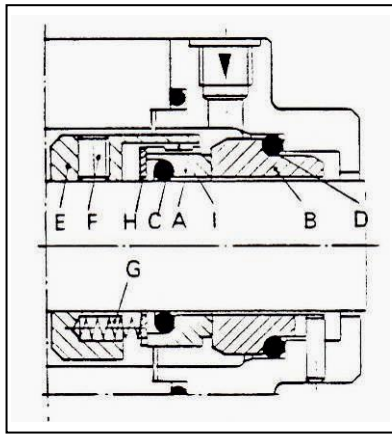
- A. Grain fixe
- B. Grain mobile
- C. Entraîneur
- D. Soufflet
- E. Ressort de pression
- F. Vis cylindrique
- G. Joints plats
- H. Joints toriques
- I. Goupille cylindrique
- J. Frette d'entraînement



Ressorts coupelles

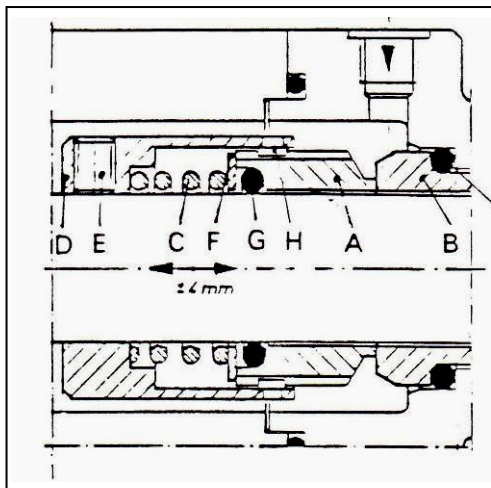
- A. Grain mobile
- B. Grain fixe
- C. Joint torique
- D. Joint torique
- E. Entraîneur avec plot
- F. Vis sans tête
- G. Ressort
- H. Rondelle d'appui
- I. Rondelle d'appui





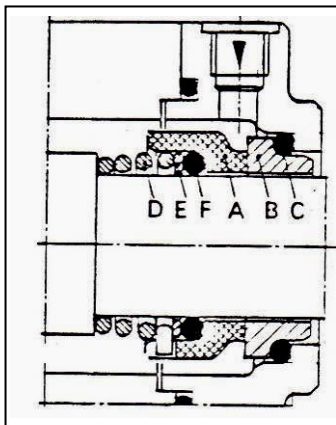
#### Ressorts multiples

- A. Grain mobile
- B. Grain fixe
- C. Joint torique
- D. Joint torique
- E. Entraîneur avec plot
- F. Vis sans tête
- G. Ressort
- H. Rondelle d'appui



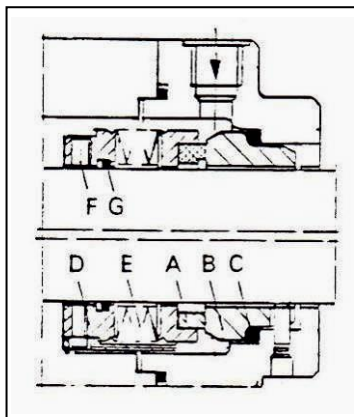
#### Ressort cylindrique

- A. Grain mobile
- B. Grain fixe
- C. Ressort
- D. Entraîneur
- E. Vis sans tête
- F. Rondelle d'appui
- G. Joint torique
- H. Plot
- I. Joint torique



#### Ressort conique

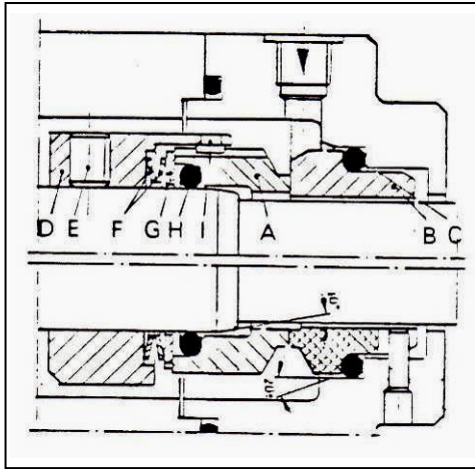
- A. Grain mobile
- B. Grain fixe
- C. Joint torique
- D. Ressort conique
- E. Rondelle d'appui
- F. Joint torique



#### Soufflet métallique

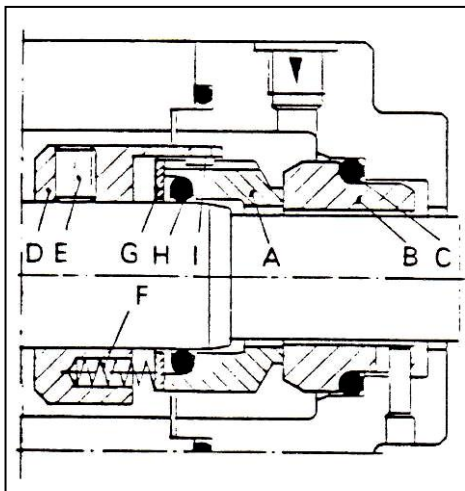
- A. Face de frottement frettée
- B. Grain fixe
- C. Joint torique
- D. Vis de pompage
- E. Soufflet métallique
- F. Vis sans tête
- G. Joint torique

## Garnitures mécaniques compensées à simple effet



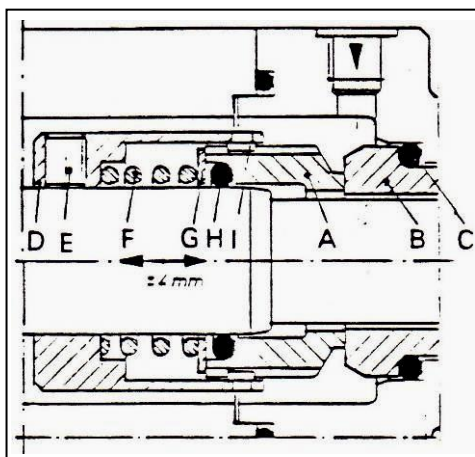
### Ressorts coupelles

- A. Grain mobile
- B. Grain fixe
- C. Joint torique
- D. Entraîneur
- E. Vis sans tête
- F. Ressort
- G. Rondelle d'appui
- H. Joint torique
- I. Plot



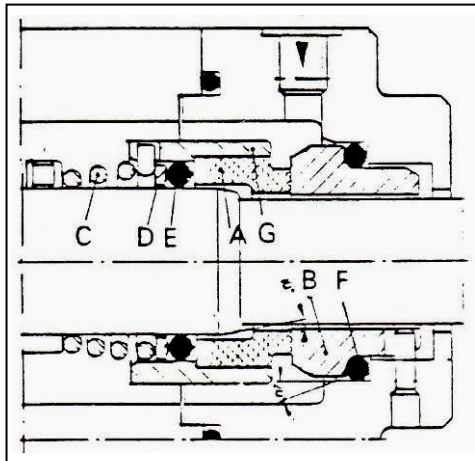
### Ressorts multiples

- A. Grain mobile
- B. Grain fixe
- C. Joint torique
- D. Entraîneur
- E. Vis sans tête
- F. Ressort
- G. Rondelle d'appui
- H. Joint torique
- I. Plot



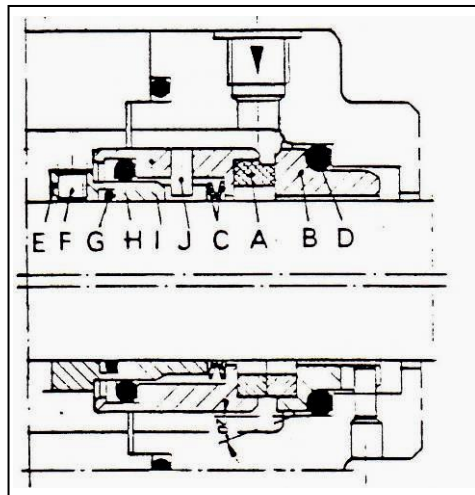
### Ressort cylindrique

- A. Grain mobile
- B. Grain fixe
- C. Joint torique
- D. Entraîneur
- E. Vis sans tête
- F. Ressort
- G. Rondelle d'appui
- H. Joint torique
- I. Plot



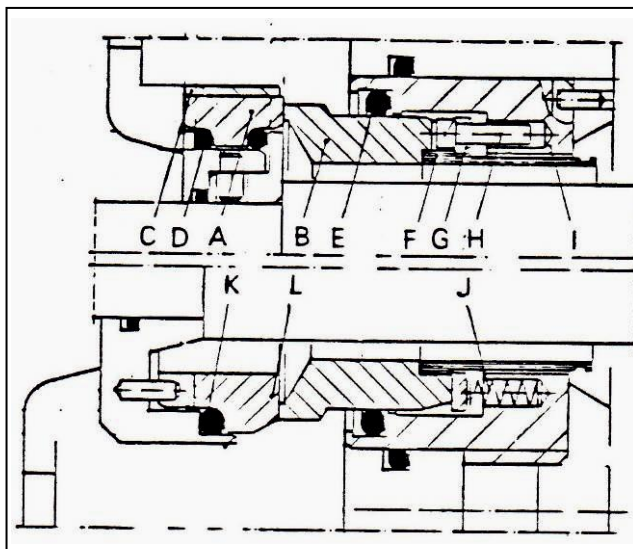
#### Ressort conique

- A. Face de frottement frettée
- B. Grain fixe
- C. Ressort conique
- D. Rondelle d'appui
- E. Joint torique
- F. Joint torique
- G. Grain mobile ( avec face de frottement frettée )



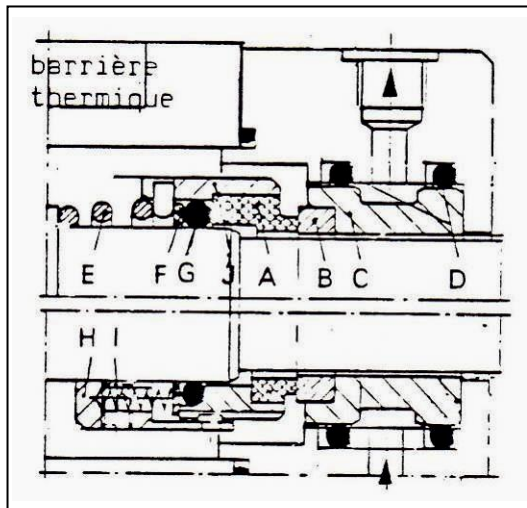
#### Ressort protégé

- A. Face de frottement frettée
- B. Grain fixe
- C. Ressort
- D. Joint torique
- E. Entraîneur
- F. Vis sans tête
- G. Joint torique
- H. Joint torique
- I. Grain mobile
- J. Goupille



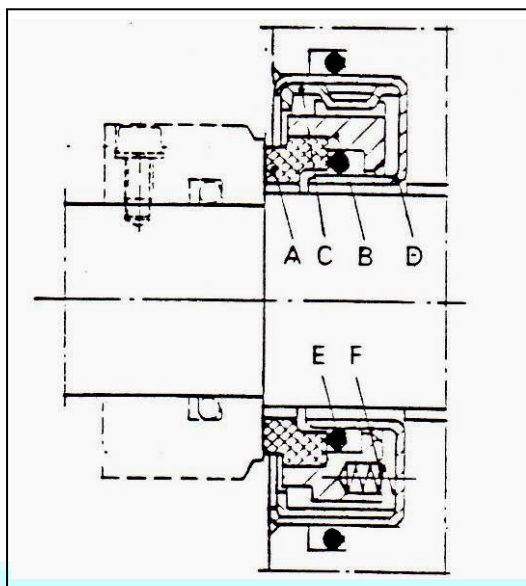
#### Contre-grain rotatif

- A. Contre-grain rotatif
- B. Grain
- C. Bague frettée
- D. Joint torique
- E. Joint torique
- F. Douille de protection
- G. Rondelle d'appui
- H. Goupille
- I. Boîtier
- J. Ressorts
- K. Joint torique
- L. Contre-grain rotatif



Grain fixe refroidi

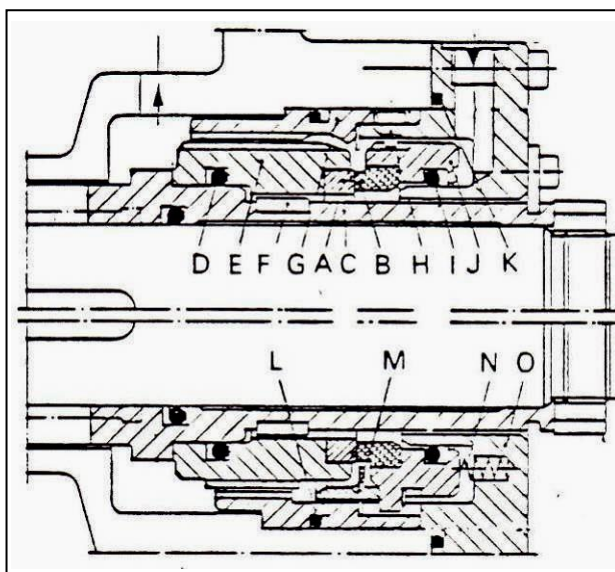
- A. Face de frottement frettée
- B. Face de frottement frettée
- C. Grain fixe
- D. Joint torique
- E. Ressort conique
- F. Rondelle d'appui
- G. Joint torique
- H. Entraîneur avec plot
- I. Ressorts
- J. Grain mobile



Exécution courte

- A. Face de frottement frettée
- B. Grain
- C. Dispositif d'immobilisation en rotation
- D. Boîtier
- E. Joint torique
- F. Ressorts

Garniture mécanique à simple effet, thermodynamique

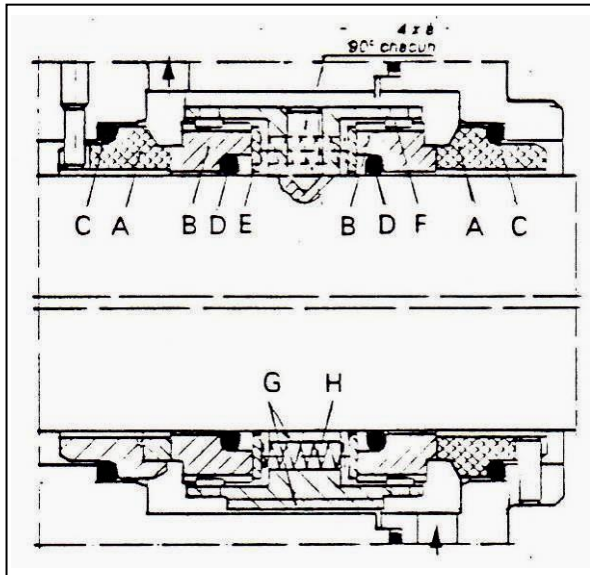


Avec vis et contre vis de pompage

- A. Face de frottement frettée
- B. Face de frottement frettée
- C. Douille
- D. Joint torique
- E. Grain mobile
- F. Clavette
- G. Contre vis de pompage
- H. Vis d'immobilisation
- I. Joint torique
- J. Grain
- K. Joint torique
- L. Joint torique
- M. Tôle de guidage
- N. Ressorts
- O. Chapeau

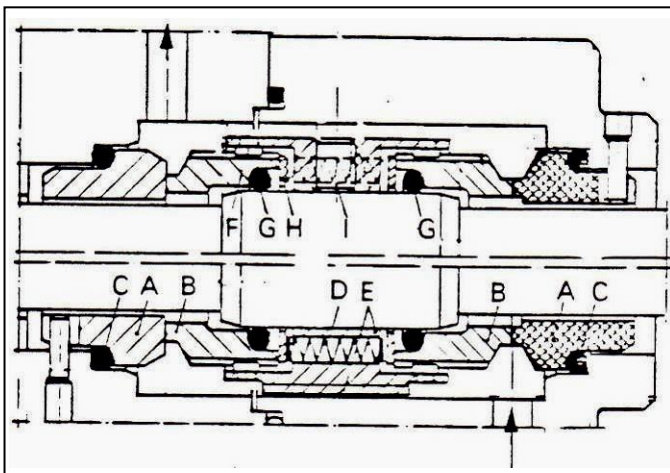


### Garniture mécanique non compensée, à double effet



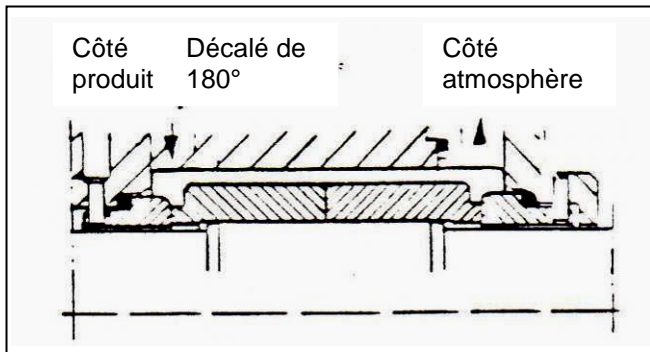
- A. Grain fixe
- B. Grain mobile
- C. Joint torique
- D. Joint torique
- E. Rondelle d'appui
- F. Plot
- G. Entraîneur
- H. Ressorts

### Garniture mécanique compensée, à double effet



- A. Grain fixe
- B. Grain mobile
- C. Joint torique
- D. Ressorts
- E. Entraîneur
- F. Plot
- G. Joint torique
- H. Rondelle d'appui

### Garniture mécanique "Back-to-back"



Le montage back to back ( dos à dos ) propose une immobilisation axiale du grain fixe côté produit au moyen d'une bride supplémentaire.

La garniture individuelle côté produit ou côté atmosphère peut être exécutée avec vis de pompage.

## Matériaux

### Grains ou bagues de frottement

Les garnitures mécaniques standards fonctionnent principalement dans des conditions de frottement limite avec des coefficients de frottement d'ordre de grandeur  $f = 0,07 \pm 0,03$ .

Les faces de frottement usinées avec une extrême précision ont après l'usinage final suivant le matériau les rugosités moyennes arithmétiques  $R_a$  suivantes :

- Carbure au tungstène avec liant nickel :  $0,01 \mu\text{m}$
- Carbure au silicium (SiC) :  $0,04 \mu\text{m}$
- Fonte spéciale au chrome :  $0,15 \mu\text{m}$
- Graphite au carbone :  $0,15 \mu\text{m}$
- Oxyde d'aluminium :  $0,15 \mu\text{m}$
- C-SiC-Si/C-SiC :  $0,15 \mu\text{m}$

La partie portante augmente quand la rugosité diminue; la capacité de charge d'une garniture mécanique augmente donc aussi de ce fait.

L'expérience a prouvé qu'une garniture mal calculée, mais réalisée avec de bons matériaux, est souvent supérieure à une garniture calculée correctement mais réalisée avec des matériaux inadéquats.

La porosité, si les matériaux sont bons, n'est pas nocive aussi longtemps que les pores sont en communication entre eux. Ces cavités ont l'avantage de pouvoir retenir des lubrifiants et présentent un comportement en service favorable; c'est le cas par exemple des oxydes métalliques, des aciers graphités et des matériaux coulés. Un effet analogue se produit sous forme d'une réduction du frottement et de l'usure avec les matériaux non homogènes ayant des particules de dureté différentes dans leur réseau, ou des coefficients de conduction et de dilatation thermiques différents.

Les principaux matériaux pour grains ( ou bagues de frottement ) sont les suivants.

### Carbones synthétiques et graphite

Dans les carbones synthétiques et graphites les pores sont seulement fermés par imprégnation. Si l'on chauffe un carbone imprégné de résines synthétiques au-delà de la limite acceptable, c'est la résine qui se désagrègera en premier. Pour une imprégnation métallique c'est le carbone qui

coulerait. Forcément il y aurait de plus grosses fuites, mais l'armature en carbone ou en graphite constituerait toujours la bague.

Les matériaux en céramique au carbone peuvent être subdivisés en :

- carbone amorphe,
- carbone graphite,
- graphite électrolytique.

Selon les matières de base utilisées, le temps d'incandescence et les températures, les carbones synthétiques peuvent être fabriqués avec des propriétés physiques et mécaniques les plus diverses.

Les carbones durs se caractérisent par une grande ténacité et ne peuvent souvent être usinés que par affûtage alors que leur conductivité thermique est en principe médiocre. Les graphites électrolytiques au contraire ont une résistance réduite mais de meilleures conductivités thermiques et les carbones graphités sont à classer entre les deux.

### Matières plastiques

Les résines synthétiques sont caractérisées par leur module E très bas, une résistance à l'usure élevée avec des matériaux appropriés tels que fonte, fonte au chrome, bronze et céramique, même si le lubrifiant utilisé est seulement de l'eau. Par contre, sont négatives les propriétés thermiques défavorables telles que coefficients de dilatation élevés, conductivités thermiques faibles, qui réduisent l'étendue des températures d'emploi ( en cas de surchauffe et d'évaporation du film de graissage, on note des coefficients de frottement  $> 0,7$  dus à des phénomènes de désorption; en outre, en cas de dépassement des limites de température, toute la bague peut se désagréger vu que la résine synthétique est le liant ).

Leur résistance à l'usure peut être fortement influencée par les procédés de fabrication comme la pression de moulage, la température et le temps de chauffage.

### Métaux

L'emploi de matériaux de frottement métalliques est très élevé. On utilise des métaux frittés et fondus, des alliages à pourcentage élevé et aussi des alliages multicouches.

L'emploi d'alliages au nickel n'est recommandé que pour de faibles pressions (  $< 1$  bar ) car ils sont sujets à la formation de rayures et à une forte usure.

Le chrome et le cobalt ou leurs alliages comme la fonte ferritique au chrome, la stellite sont remarquables par leurs résistances à l'usure et aux agents chimiques ( pression  $< 50$  bars ).

Pour les aciers trempés, un résidu de carbone libre permet une amélioration en cas de frottement limite grâce à la formation de coupelles de graissage.

Les résistances de ces matériaux de frottement sont supérieures de l'ordre de grandeur de la puissance 10 à celles des matériaux synthétiques ou des céramiques au carbone. Les coefficients de conductibilité calorifique peuvent varier fortement et une légère modification de la composition chimique peut avoir une influence marquée.

### Carbures

Les carbures métalliques sont caractérisés par leur grande dureté et leur résistance à l'usure et ils sont utilisés de préférence pour des charges élevées.

Pour des raisons de fabrication ils sont rarement utilisés à l'état pur, mais associés à des liants métalliques tels que nickel, cobalt, et fréquemment à d'autres carbures.

La variation des coefficients de conductibilité calorifique est très diverse. Les valeurs élevées du coefficient d'élasticité sont parfois gênantes pour la fonction d'étanchéité.

En cas d'agression chimique il faut considérer le carbure et le liant aussi bien séparément que comme un ensemble.

Les carbures de tungstène avec liant de cobalt ont été le plus souvent employés ; ils sont néanmoins attaqués par l'eau chimiquement pure et s'oxydent à 600°C.

On rencontre des carbures de titane, et surtout de plus en plus de carbures au silicium.

Attirons l'attention sur le fait que, pour des raisons de fabrication, les bagues de grandes dimensions sont parfois entachées de défauts difficiles à déceler tels que porosités trop grandes, prédominance du liant, résistance réduite, tensions internes élevées.

### Oxydes métalliques

Les oxydes métalliques employés pour leur stabilité chimique et leur grande résistance à l'usure, en dépit de leur usinage difficile.

Ils sont très sensibles aux chocs, températures et à-coups.

Le coefficient de conductibilité calorifique est faible et descend fortement lorsque la température s'élève.

Par ailleurs, avec une porosité croissante, le coefficient de conductibilité calorifique tombe également.

Les bagues en oxydes métalliques sont surtout utilisées dans les appareils ménagers, accouplées avec des bagues en carbone ou résines synthétiques. Elles sont très résistantes à l'usure et ne rouillent pas.

Leurs aptitudes en cas de marche en conditions limites sont néanmoins réduites.

### Appariement des matériaux

Outre le choix du matériau seul, la combinaison des matériaux de frottement est de la plus haute importance pour les garnitures mécaniques.

Il faut :

- veiller à ce que l'appariement de matériaux possède une bonne résistance à l'usure par rapport au fluide à retenir et qu'il n'y ait pas formation de rayures ou grippage ;
- veiller à une aptitude suffisante en cas de marche en frottement limite causée par des troubles de fonctionnement imprévus ;
- choisir l'appariement de matériaux et le disposer de façon à être sûr d'une transmission de chaleur sans risque de surchauffer les matériaux ou le film de graissage dans l'interface; la bague ayant le meilleur pouvoir de transmission de chaleur doit toujours être montée du côté de la chute de température.

Dans la plupart des cas, des matériaux synthétiques ou des céramiques au carbone sont opposés dans les garnitures mécaniques à des métaux, oxydes métalliques et carbures les plus variés.

Le choix des matériaux doit être fait en fonction des futures conditions de marche, de l'exécution et du prix de revient.

## Eléments d'étanchéité radiale

L'interface d'étanchéité est seulement une des voies par lesquelles peuvent se produire des fuites. D'autres fuites se situent entre arbre et boîtier d'étanchéité et entre contre-bague et bâti de la machine.

Afin de les étancher on utilise de nombreuses bagues de profils et matériaux les plus divers.

### Elastomères

Dans la pratique le matériau élastique est de loin le plus employé car il a l'avantage de pouvoir supporter des rugosités de surface importantes et d'avoir un bon pouvoir d'incorporation de corps étrangers.

Les élastomères les plus fréquents sont les suivants :

- Perbunan : copolymère butadiène-nitrile acrylique
- Viton : copolymère de chlorotrifluoroéthylène et de fluorure de vinylidène
- Caoutchouc silicone
- Caoutchouc à néoprène ( chloroprène )
- Caoutchouc butyl : copolymère d'isobutylène et de butadiène ou d'isoprène Hypalon : polyéthylène chloro-sulfoné
- Silicone fluoré
- Différents élastomères à simple ou double enveloppe PTFE (polytétrafluoroéthylène) : Viton, Caoutchouc, Néoprène, notamment.



Les sections courantes de bagues élastomères sont :

	Joint torique		Manchette en U
	Bague cruciforme		Manchette à chevron
	Bague en sifflet		Joint torique à fente
	Bague carrée		Lèvre d'étanchéité à ressort
	Bague en coupelle ou L		Joint torique à double enrobage
	Bague triangulaire		

Le joint torique est de loin le plus employé.

Ces bagues servent souvent à la transmission du moment de rotation. Pour cette raison, **les bagues toriques des garnitures sont montées normalement avec 5 à 12% de compression diamétrale pour les duretés entre 60 et 90 Shore A.**

Il faut éviter à tout prix les arêtes vives car les joints seraient déjà endommagés au montage ou pelés en tranches minces en fonctionnement.

Pour les pressions élevées les joints toriques sont souvent renforcés par des rondelles de pression en cuir ou en PTFE afin d'éviter leur extrusion.

L'expérience montre que les élastomères représentent la partie sensible des garnitures mécaniques.

Du fait de la grande variété de caoutchoucs synthétiques disponibles de nos jours il est possible d'étancher la plupart des fluides avec une qualité appropriée; néanmoins il y a toujours des difficultés si une même pompe véhicule des fluides fort différents. Dans ce cas, on ne peut pratiquement employer que le PTFE qui présente par ailleurs de nombreux inconvénients comme nous le mentionnons ci-après.

C'est pourquoi les fabricants ont développé des joints toriques à double enrobage de PTFE qui peuvent être échangés, sans modification, avec d'autres joints toriques montés en gorges ouvertes.

Normalement on utilise un matériau à haute résistance thermique pour le noyau, tel que caoutchouc au silicone, éthylène-propylène ou Viton. Ainsi on peut maîtriser des températures jusqu'à 250 °C. Le bord de l'enveloppe extérieure doit être placé du côté opposé à la pression. En outre il faut prévoir une rondelle de soutien en PTFE renforcé ou en Iton afin d'éviter l'extrusion.

### Non-élastomères

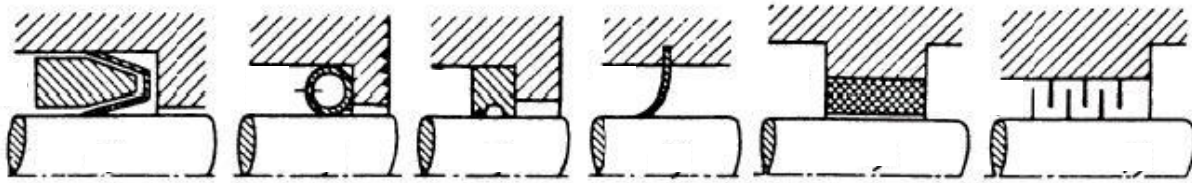
Les bagues non-élastomères sont le plus généralement en PTFE, Iton, graphite ou autres matériaux éventuels.

Les inconvénients des éléments en PTFE massif, spécialement dans les cas de hautes pressions et des températures intermittentes, sont causés par le coefficient de dilatation élevé de ce matériau, son manque de conductivité thermique, sa raideur comparable à celle de la corne, ainsi que sa tendance au fluage à froid.

A 20 °C environ on remarque un changement de volume qui provient d'une cristallisation se produisant à cette température. Un élément d'étanchéité qui aura été usiné au-dessus ou au-dessous de cette température changera de dimensions dès qu'il franchira cette zone de température.

En outre, il est presque toujours nécessaire de procéder à des modifications de construction pour permettre le montage des éléments d'étanchéité en PTFE.

Elements d'étanchéité en matériaux métalliques ou en céramique—carbone



a : manchette métallique ; b : bague creuse ; c : segment de piston ; d bague membrane ;  
e : intervalle d'étranglement ; f : labyrinthe.

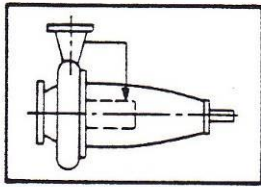
### Arrosage, systèmes de barrage

#### Garnitures à simple effet

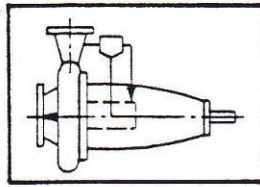
##### Circulation

Dans les garnitures mécaniques à simple effet, il est conseillé généralement de monter une conduite de circulation à partir de la tubulure de refoulement de la pompe vers le boîtier d'étanchéité.

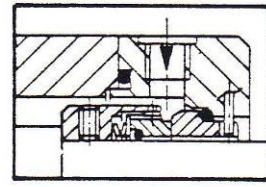
Une section de  $\frac{1}{4}$  " est normalement suffisante.



Du tuyau de refoulement de la pompe

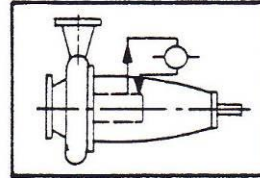


Avec séparateur cyclone



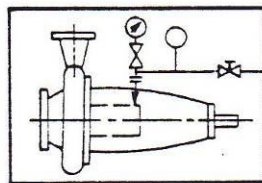
Disposition de la garniture

Ou par pompage à vis en passant par refroidisseur

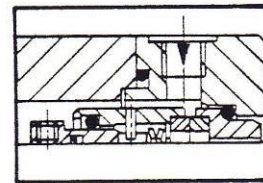


### Arrosage

S'il est impossible de prévoir des garnitures mécaniques d'étanchéité à double effet pour des fluides contenant beaucoup d'impuretés, un fluide étranger propre est introduit à l'endroit des surfaces de frottement dans les garnitures à simple effet.



Raccord externe

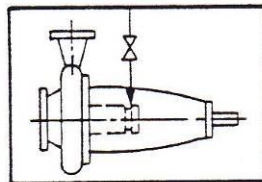


Disposition de la garniture

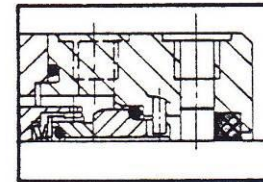
### Quench

Un montage avec quench est recommandé pour les basses températures (risque de givrage) ainsi que pour des fluides ayant tendance à former des dépôts au contact de l'atmosphère.

Les fuites éventuelles sont prises en charge par le liquide du quench. Avec un blocage du grain fixe, la pression du quench ne doit pas dépasser 1 bar.



Joint liquide sans pression



Disposition de la garniture

### Garnitures à double effet

Le fonctionnement des garnitures à double effet n'est garanti que si les conditions de base suivantes sont remplies :

- la chambre de barrage, entre le côté produit et le côté atmosphère, doit être remplie d'un fluide de barrage propre ;
- la pression de barrage doit toujours être, pendant le fonctionnement, au minimum de 2 bars plus élevée que la pression maximale dont il faut assurer l'étanchéité ;

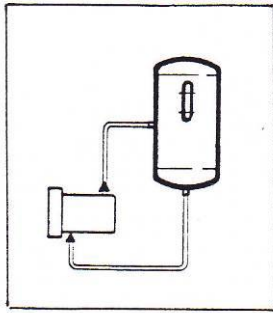
- la chaleur due au frottement des faces dans la garniture mécanique doit être éliminée par le fluide de barrage.

Pour ces raisons, un système de barrage doit remplir les fonctions suivantes :

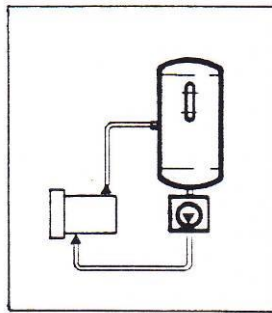
- établir une pression dans la chambre de barrage ;
- compenser les fuites ;
- faire circuler le fluide de barrage ;
- refroidir le fluide de barrage.

Dans les trois systèmes suivants, le fluide de barrage circule sous une pression sensiblement constante.

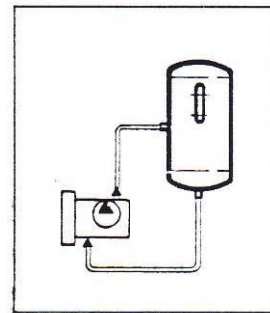
Ces systèmes ont besoin d'une alimentation en pression supplémentaire par du gaz (  $N_2$  par exemple ) ou par le liquide de barrage lui-même.



Système de barrage avec circuit thermosiphon



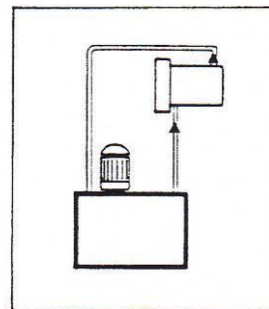
Système de barrage avec dispositif de circulation à l'extérieur de la garniture mécanique



Système de barrage avec dispositif de circulation intégré dans la garniture mécanique

Dans le système ci-après, c'est un composant du système qui assure la circulation ainsi que l'alimentation en pression

Système de barrage avec dispositif combiné d'alimentation en pression et en circulation :



### Maintenance

En principe, une garniture mécanique devrait durer 30 000 à 40 000 heures. Mais dans la réalité, c'est rarement le cas.

L'insuffisance de durée de vie peut être due à des règles d'exploitation.

### Montage de la garniture

Voir la règle de l'art « Montage des garnitures mécaniques »

Il faut surtout que le ressort soit correctement serré :

- trop serré, il va faire chauffer les bagues de frottement ;
- trop peu serré, il va permettre des fuites.

La pompe doit pouvoir tourner à la main, avec un léger dur.

### Exploitation

#### Garnitures double effet

La sortie du fluide de barrage doit être prévue au point le plus haut du compartiment d'étanchéité pour éviter une formation éventuelle de bulles de gaz.

Avant la mise en service des garnitures mécaniques à double effet, la circulation du fluide de barrage doit être assurée.

La pression de barrage doit être de l'ordre de 2 bars ( 1,5 est un minimum ) au-dessus de la pression interne à étancher.

Le débit doit être réglé de façon que la température de sortie ne dépasse pas 60°C.

Erreur courante : on oublie de purger.

Purgez soigneusement l'air hors de la chambre de barrage après le montage de la garniture double, surtout s'il s'agit d'une garniture qui ne peut se purger automatiquement.

#### Garnitures simple effet

Arrosage par « quench » : avec un blocage correspondant de la bague fixe, la pression du quench ne doit pas dépasser 1 bar.

### Choix de la garniture

Si toute la pompe n'est pas en acier inoxydable, il vaut mieux éviter qu'une partie de garniture le soit car il y a risque de corrosion galvanique.

# Pompes

La pompe transforme une énergie mécanique en énergie hydraulique. Elle aspire avec une très faible dépression ( entre 0,17 et 0,2 bar ) le liquide contenu dans un réservoir.

La pompe produit un débit et, s'il y a freinage ~ la circulation de ce débit, la pression monte dans le circuit.

## Les différentes constructions

Il existe de très nombreux types de pompes qui peuvent se ramener à trois groupes :

**Les pompes non volumétriques** qui transforment une énergie cinétique en énergie de pression. Ces pompes communiquent aux molécules du produit une certaine vitesse que l'on transforme en pression. Ce sont :

- ✓ Les pompes centrifuges radiales
- ✓ Les pompes centrifuges axiales.

Ces pompes n'ayant pas d'étanchéité interne ne permettent pas de gain de pression important. Leurs fuites internes sont élevées. Elles fournissent des débits élevés sous de faibles pressions et sont surtout utilisées comme pompes de transfert.

### Les pompes volumétriques

Le débit est obtenu par réduction de volume de capacités en mouvement. Le débit est généralement pulsatoire et varie peu lorsque la pression augmente. En effet il existe une étanchéité entre les pièces en mouvement, et les fuites internes de ces pompes sont assez faibles. Ces pompes se divisent en deux groupes :

- ➔ Les pompes à cylindrée constante :
  - ✓ Les pompes à membrane
  - ✓ les pompes à engrenages,
  - ✓ les pompes à vis,
  - ✓ les pompes hélicoïdales,
  - ✓ les pompes péristatiques
  - ✓ les pompes à palettes,
  - ✓ Les pompes à lobe
  - ✓ les pompes à pistons :
    - . en ligne,
    - . radiaux,
    - . axiaux à plateau incliné,
    - . axiaux à barillet incliné.
- ➔ Les pompes à cylindrée variable :
  - ✓ les pompes à pistons radiaux à bloc cylindre tournant
  - ✓ les pompes à pistons axiaux :
    - à plateau inclinable,
    - à barillet inclinable.
  - ✓ les pompes à palettes à annulation de débit.
  - ✓ Les pompes à anneau liquide

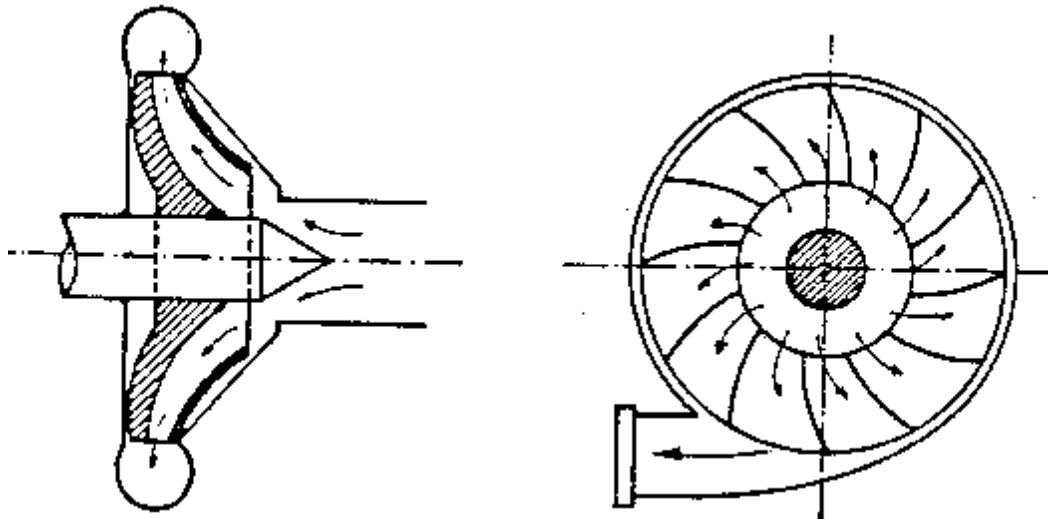
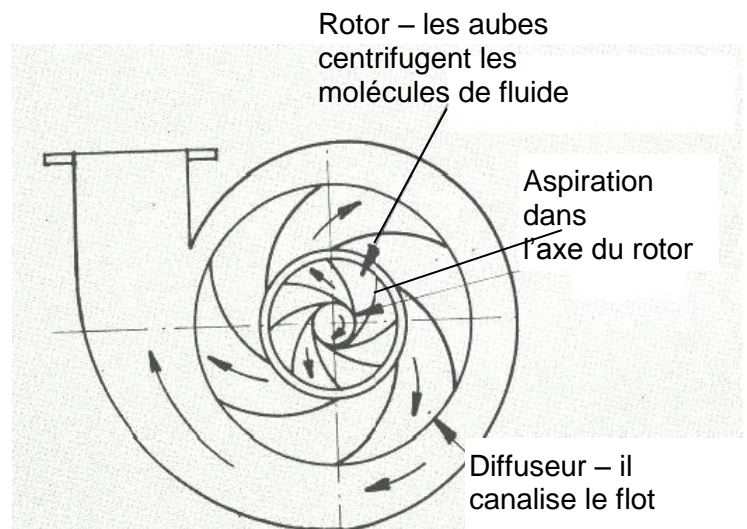
## Les pompes non volumétriques

### Les pompes centrifuges radiales

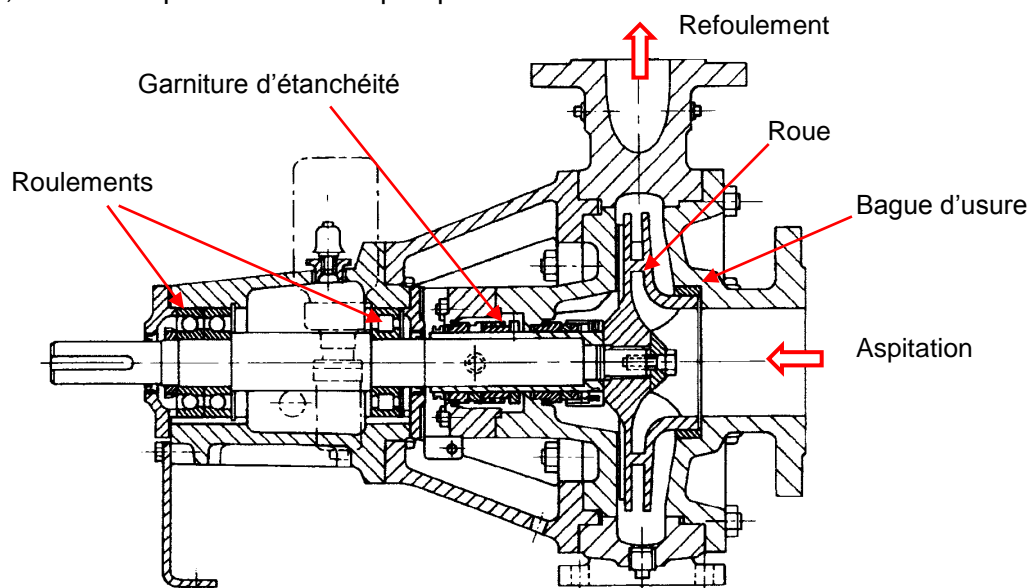
Le liquide est introduit dans la partie centrale de la pompe sur une turbine.

C'est la force centrifuge qui projette le fluide dans le diffuseur.

Cette pompe est dite radiale car le fluide circule du centre vers la périphérie après la mise en pression.

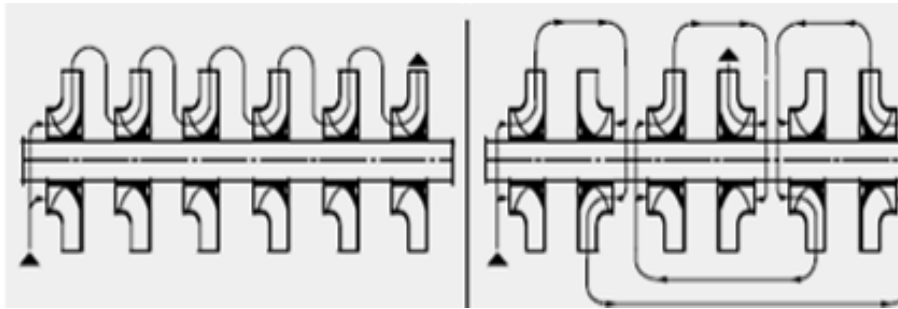


Bien qu'il existe des centaines de versions la pompe sera toujours constituée d'un moteur d'entraînement, d'un accouplement et de la pompe elle-même.





La pompe multicellulaire est utilisée pour tous les débits à des pressions relativement hautes, plusieurs dizaines de bars.



Six étages

Six étages, back to back

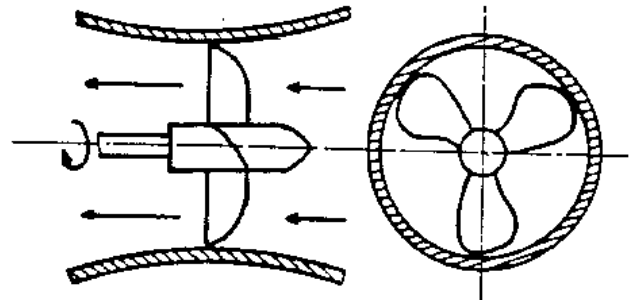
### Les pompes centrifuges axiales

Le fluide traverse la pompe suivant une direction axiale.

En tournant l'hélice aspire en amont et refoule en aval sans qu'il y ait rupture de la veine fluide.

Avec ce type de pompe les débits peuvent être importants mais les pressions restent faibles.

Les pompes centrifuges axiales sont surtout utilisées pour le transfert de carburant.



D'une manière générale, les pompes centrifuges ( radiales et axiales ) sont des pompes à débits importants. La pression est obtenue par la mise en vitesse du fluide.

### Les pompes volumétriques à cylindrée constante

Leur principe est simple : à chaque révolution de la machine, un volume déterminé de liquide pénètre dans le corps de pompe, via l'aspiration, pour en être refoulé par le refoulement.

Il existe différents types de pompes volumétriques.

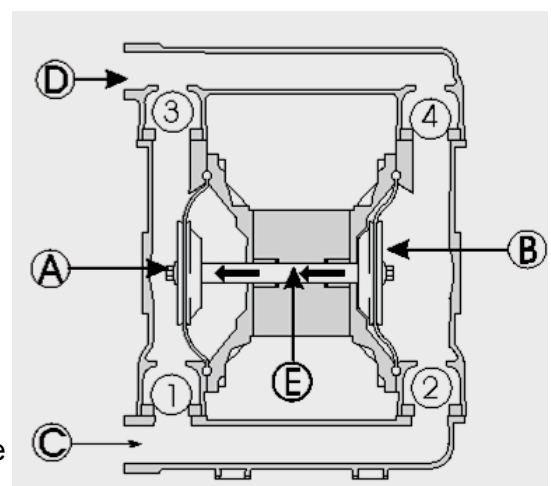
#### Les pompes à membrane

La membrane est animée d'un mouvement de va et vient. Ce mouvement provoque, grâce aux soupapes, l'aspiration et le refoulement du fluide.

L'inconvénient est un fonctionnement par à coup et donc des coups de bélier dans la tuyauterie. On y pallie par un accumulateur, ou par l'utilisation de pompes multi têtes.

Exemple : pompe pneumatique à deux membranes

Les chambres A et B sont remplies et vidées alternativement : entrée commune C, sortie commune D. L'air comprimé est dirigé alternativement derrière chacune des membranes, afin d'aspirer et de refouler le fluide.





## Les pompes à engrenages

Les pompes à engrenages sont constituées par un ou plusieurs engrenages reliés mécaniquement par le corps de pompe. Une roue est menante, l'autre menée.

A l'aspiration, les dents des deux pignons se séparent. Le liquide est véhiculé par les creux de la denture en direction du refoulement. L'engrènement des pignons assure donc le refoulement.

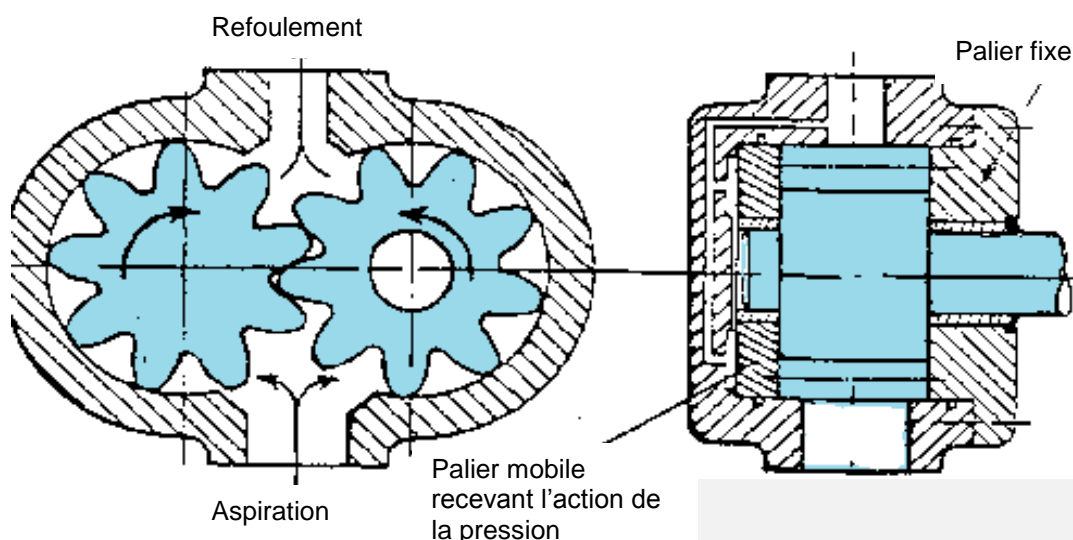
Très employée dans l'industrie, cette pompe, très simple et fiable, a cependant des performances modestes ( pression faible, inférieure à 100 bars ).

Néanmoins, les techniques d'usinage et la résistance des matériaux permettent actuellement de réaliser des pompes à engrenages pour des circuits haute pression de carburant pour turbomoteurs, par exemple.

Afin que les dents puissent tourner librement et n'usent pas les flasques pendant la rotation, il faut laisser un très léger jeu de fonctionnement :

- - trop faible, ce jeu augmente les frottements et réduit le rendement mécanique;
- - trop élevé, il diminue le rendement volumétrique en favorisant les fuites du refoulement vers l'aspiration.

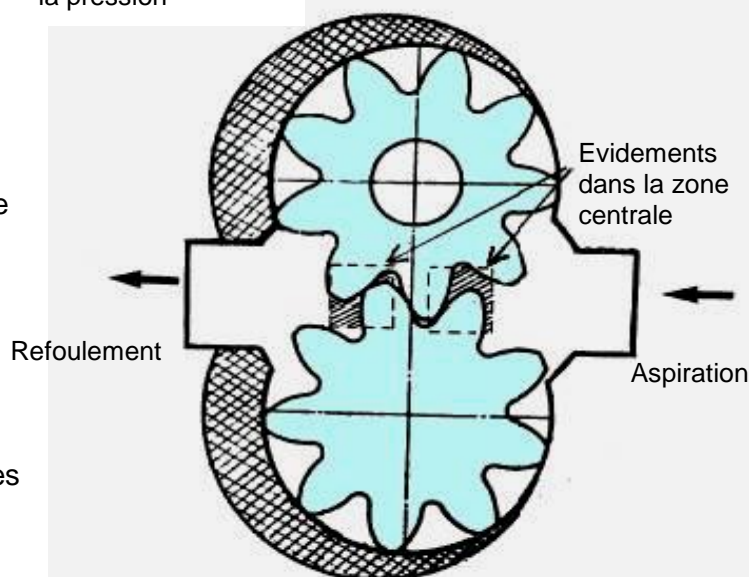
Pour réduire l'influence de ce jeu, l'un des flasques reste fixe tandis que l'autre est rendu mobile latéralement : généralement à l'aide d'une lame de ressort ondulée qui maintient ce flasque mobile en appui sur les pignons.



Quand il y a freinage à la circulation du fluide, la pression monte au refoulement.

Les forces qui s'exercent sur chaque pignon se traduisent par une résultante qui pousse le pignon et son axe de rotation dans une direction bien déterminée.

Pour éviter la rupture du film d'huile sur les axes, on améliore la lubrification en pratiquant dans les paliers une rainure qui réduit les risques de grippage grâce à la formation d'un coin d'huile.



Par ailleurs, remarquons le phénomène suivant : lorsque deux dents engrènent à fond, dans la zone centrale, l'huile qui se trouve emprisonnée dans le creux voit son volume évoluer rapidement et l'on risque de brutales variations de pression.

Pour les éviter, on ménage dans les flasques deux évidements séparés par une bande centrale. L'un est en relation avec le refoulement, et l'autre avec l'aspiration.

De ce fait, le niveau sonore de la pompe est aussi amélioré.

Dans une pompe à engrenages, quand on augmente la vitesse de rotation, on constate :

- - que le débit augmente;
- - que le rendement volumétrique augmente;
- - que la durée de vie diminue.

### Les pompes à vis

Une vis à deux filets engrène latéralement avec deux autres vis.

La vis centrale est menante et les deux autres menées.

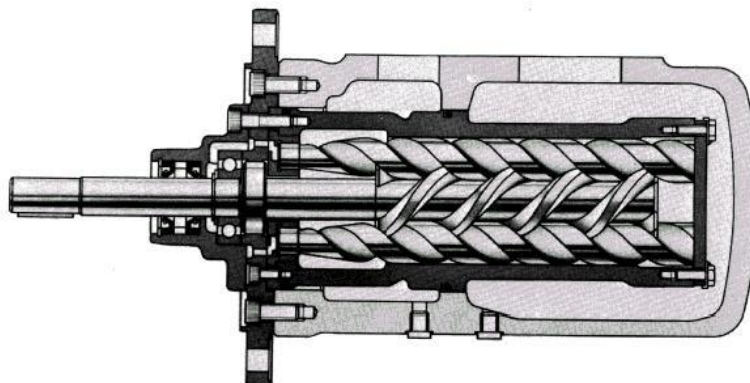
Lors de la rotation, les espaces libres entre les filets sont occupés par le liquide qui est ainsi mené vers l'orifice de refoulement dans une vis d'Archimède.

Généralement, les trois vis sont assemblées dans une cartouche qui permet différents montages.

Caractéristiques :

Jusqu'à 120 bars – vitesse jusqu'à 3000 tr/min – rendement voisin de 90 % - débit jusqu'à 1000 l/min régulier – pompes silencieuses.

Ces pompes sont essentiellement utilisées en hydraulique car l'huile assure la lubrification

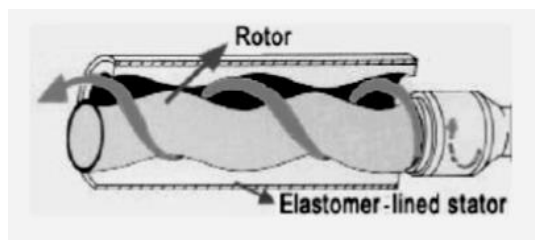


### Les pompes hélicoïdales

Les éléments constitutifs de la pompe sont : le rotor hélicoïdal et le stator.

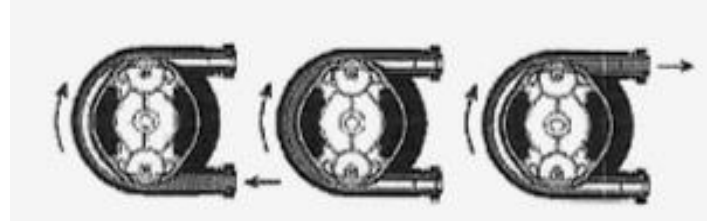
La progression du fluide est continue suivant l'axe de la pompe, de l'aspiration vers le refoulement. En fait l'espace entre le rotor et le stator forme une chambre qui est poussée continuellement vers la sortie.

Tout comme les pompes à engrenages ces pompes hélicoïdales fonctionnent sans à coup.

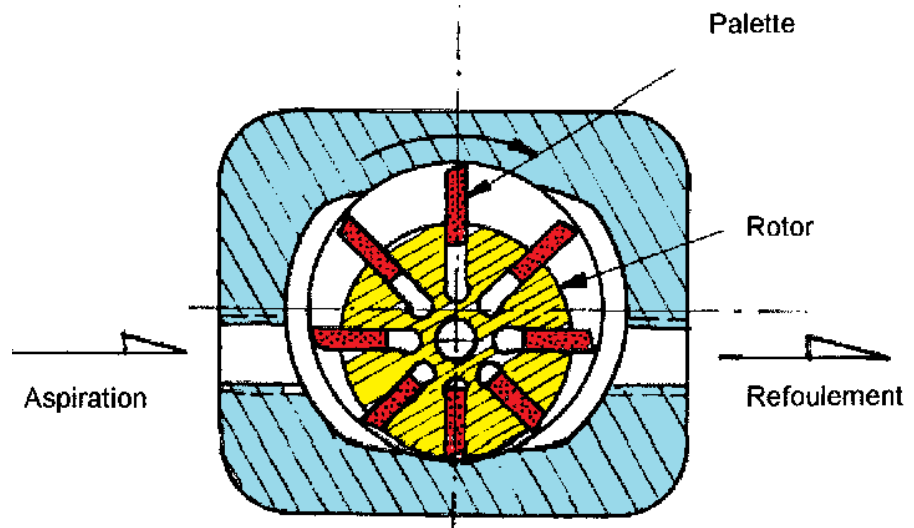


## Les pompes péristaltiques

Cette pompe est constituée d'un tuyau souple fixe qui est soumis à l'action d'une roue à ergots tournante. A chaque rotation de la roue le liquide est forcé vers la sortie. Elle fonctionne sans à coup ; sa résistance chimique et mécanique limite la durée de vie du tuyau souple



## Les pompes à palettes

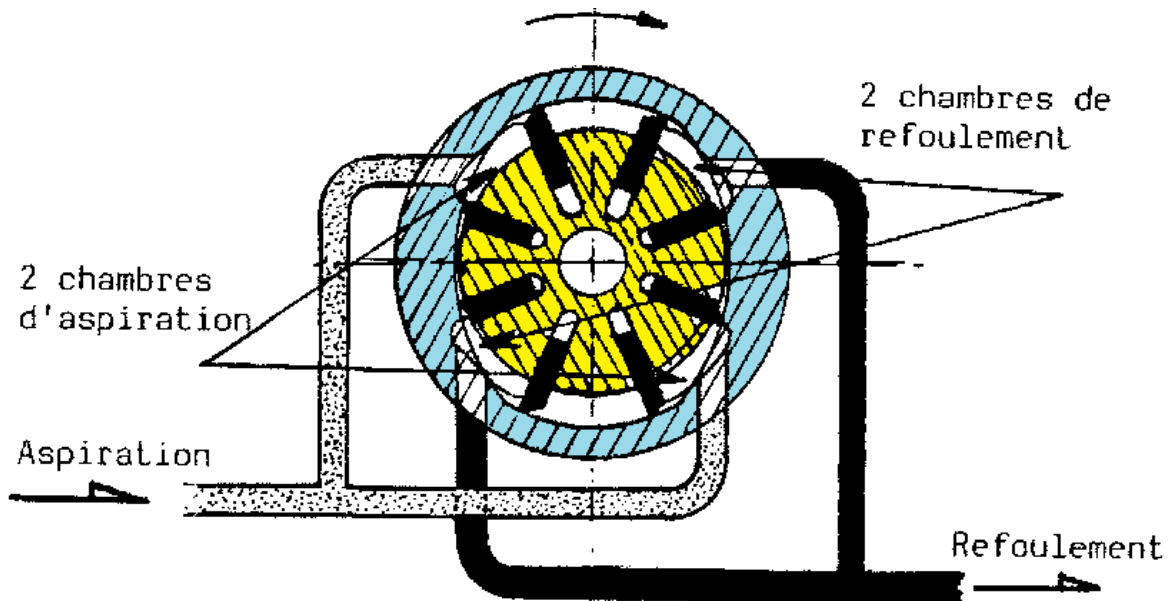


Un rotor à fentes est entraîné par l'arbre.

Les palettes rectangulaires se déplacent dans un mouvement de rentrée et sortie dans les fentes du rotor en épousant la forme intérieure du carter de pompe.

Le rotor est excentré vers le bas par rapport à l'alésage du carter. Dans ce type de pompe l'usure des extrémités des palettes et de l'alésage du carter est rapide et limite les performances.

Les paliers et le rotor sont chargés côté refoulement. Cette charge amène une fatigue et une usure inutiles. Pour la réduire, les constructeurs ont créé des pompes possédant deux orifices d'aspiration et deux orifices de refoulement diamétralement opposés. L'anneau n'est plus cylindrique mais se rapproche d'une forme ovale. Les deux zones soumises à la pression engendrent sur le rotor deux forces égales et opposées qui s'annulent.



Avantages de ces aménagements :

- suppression de la charge sur les paliers,
- comme il y a deux chambres séparées, la cylindrée est doublée : le débit est doublé pour la même vitesse.

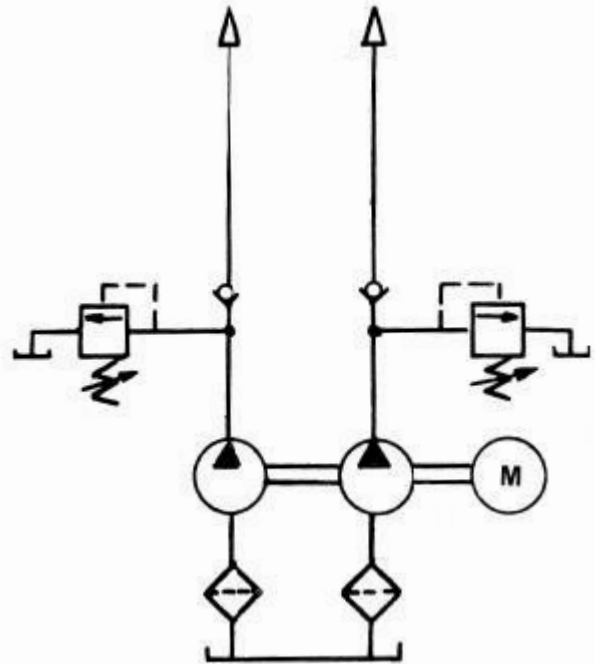
## Les pompes doubles

Deux cartouches, dont les rotors sont entraînés par un même arbre, sont placées dans un même corps.

Il y a une aspiration commune, mais deux orifices de refoulement.

## Circuits de sortie séparés

Dans ce cas, chaque pompe refoule sur un circuit avec un tarage de limiteur de pression.



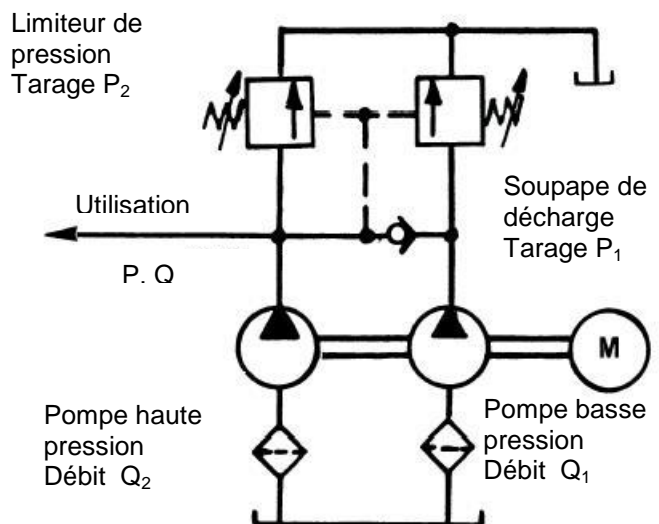
## Circuits de sortie raccordés au travers d'un clapet anti-retour

Les deux circuits sont à des pressions différentes.

Le circuit ayant la pression la plus élevée est contrôlé par un limiteur de pression.

Le circuit ayant la pression la plus basse est contrôlé par une soupape de décharge.

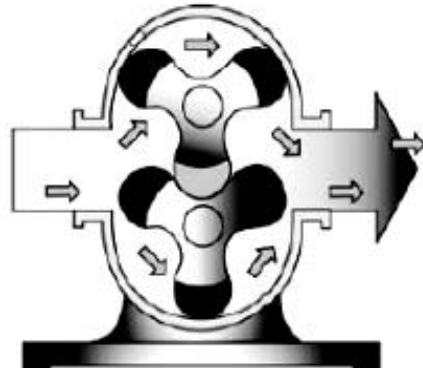
- . Si  $P < P_1$  :  $Q = Q_1 + Q_2$
- . Si  $P_1 < P < P_2$  :  $Q = Q_2$
- . Si  $P = P_2$  :  $Q < Q_2$





## Les pompes à lobe

La pompe à lobe est une pompe à engrenages d'une forme particulière. On dit parfois « pompe haricot » quand il n'y a que 2 branches par arbre.



## Les pompes à piston

### Les pompes à piston unique

Le piston, entraîné par un excentrique, est animé d'un mouvement de va et vient. Ce mouvement provoque, grâce aux soupapes, l'aspiration et le refoulement du fluide.

L'inconvénient est un fonctionnement par à coup et donc des coups de bélier dans la tuyauterie. On y pallie par un accumulateur, ou par l'utilisation de pompes multi têtes.

Ce sont des pompes à hautes performances :

- pressions élevées : 350 à 500 bars, et même
- 1000 bars dans certains cas.
- débits importants : jusqu'à 500 tr/min.
- très bons rendements : de l'ordre de 90 %.
- fuites internes très faibles.

La durée de vie de ces pompes est assez grande,

### Les pompes à pistons en ligne

Les pistons sont placés en ligne (comme sur la plupart des moteurs d'automobile).

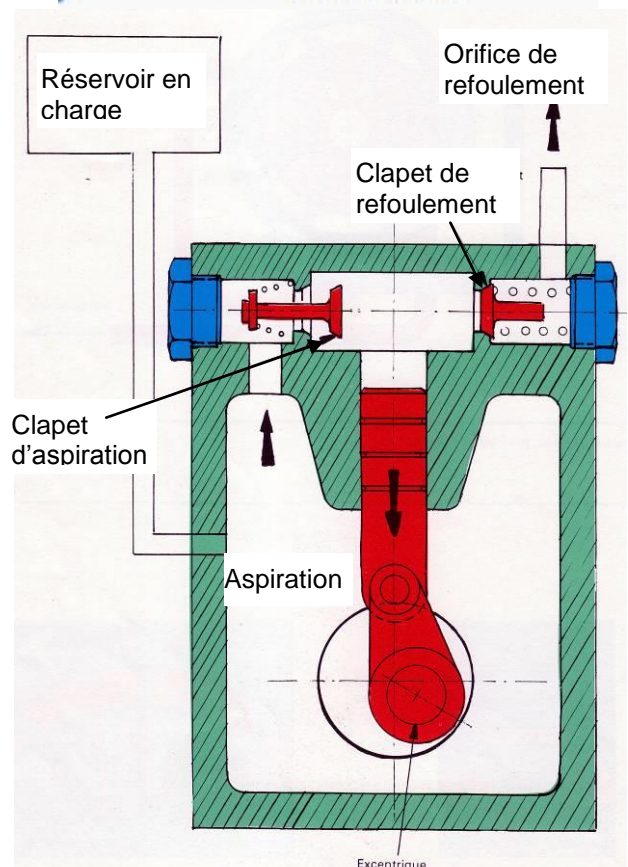
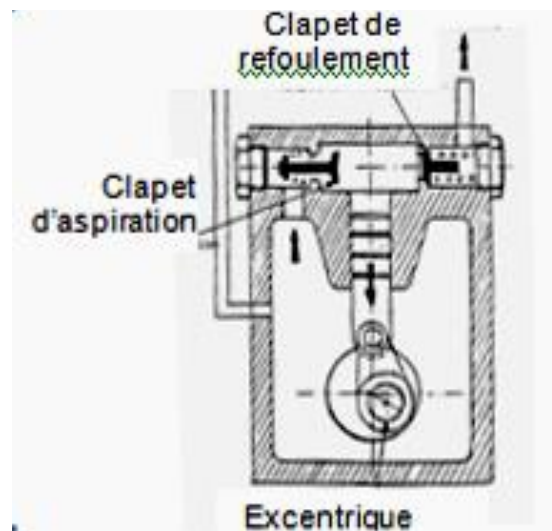
Leur nombre est variable : 3, 4, 6 ou 8.

Certaines pompes sont à 12 pistons qui peuvent alors être montés en opposition.

L'entraînement des pistons se fait par des excentriques, ceux-ci étant décalés angulairement afin d'équilibrer la charge de la pompe.

Une culasse, surmontant le corps de la pompe, comporte des clapets d'aspiration et de refoulement. Ces clapets sont passifs et se ferment ou s'ouvrent sous l'action des pressions.

Par ailleurs, cette culasse comporte un orifice de refoulement par cylindre et un orifice qui sert au remplissage en liquide de chaque cylindre avant le démarrage.



Les orifices de refoulement des différents cylindres peuvent être :

- répartis en deux ou plusieurs groupes refoulant sur des orifices de sortie différents;
- groupés sur la même conduite de refoulement.

Ces combinaisons permettent d'obtenir une pompe à deux ou plusieurs débits indépendants, ou plus simplement une pompe avec pour débit la somme des débits élémentaires.

Si la pompe tourne lentement et si le nombre de pistons est faible, on a alors un débit pulsatoire ce qui peut être gênant. On utilise alors un petit accumulateur à vessie placé en ligne sur la sortie de pompe, pour amortir les pulsations.

### Les pompes à pistons radiaux

Dans ce type de pompe, les pistons sont disposés radialement dans les alésages, perpendiculairement à l'axe de rotation et sont tous dans le même plan. Le fluide circule à travers un volume fermé, à l'intérieur duquel il est successivement aspiré puis refoulé. L'aspiration se produit lors de l'accroissement de volume et le refoulement lors de la diminution.

### Pompes à pistons radiaux et bloc cylindre fixe

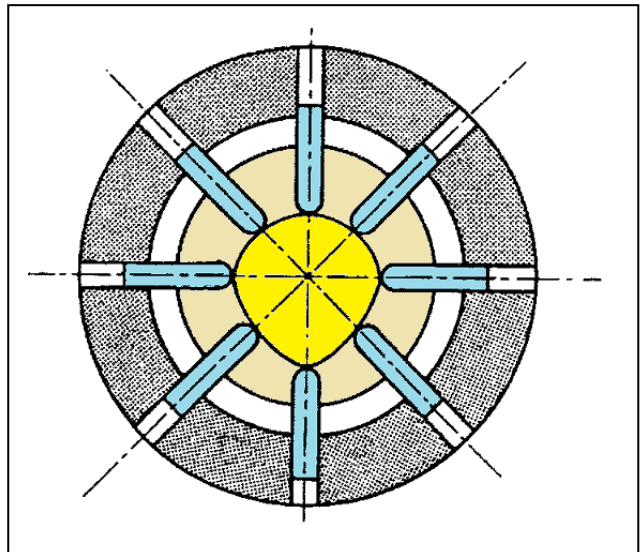
Le bloc qui porte les cylindres est placé vers l'extérieur de la pompe. Un excentrique central anime les pistons d'un mouvement de translation. Chaque cylindre a son orifice de refoulement séparé, la distribution se faisant généralement par clapets. En répartissant les orifices de refoulement en deux groupes, il est possible d'obtenir une pompe à deux débits indépendants.

Chaque débit doit être protégé par un limiteur de pression.

Ces pompes doivent être immergées ou alimentées par un réservoir en charge.

Caractéristiques :

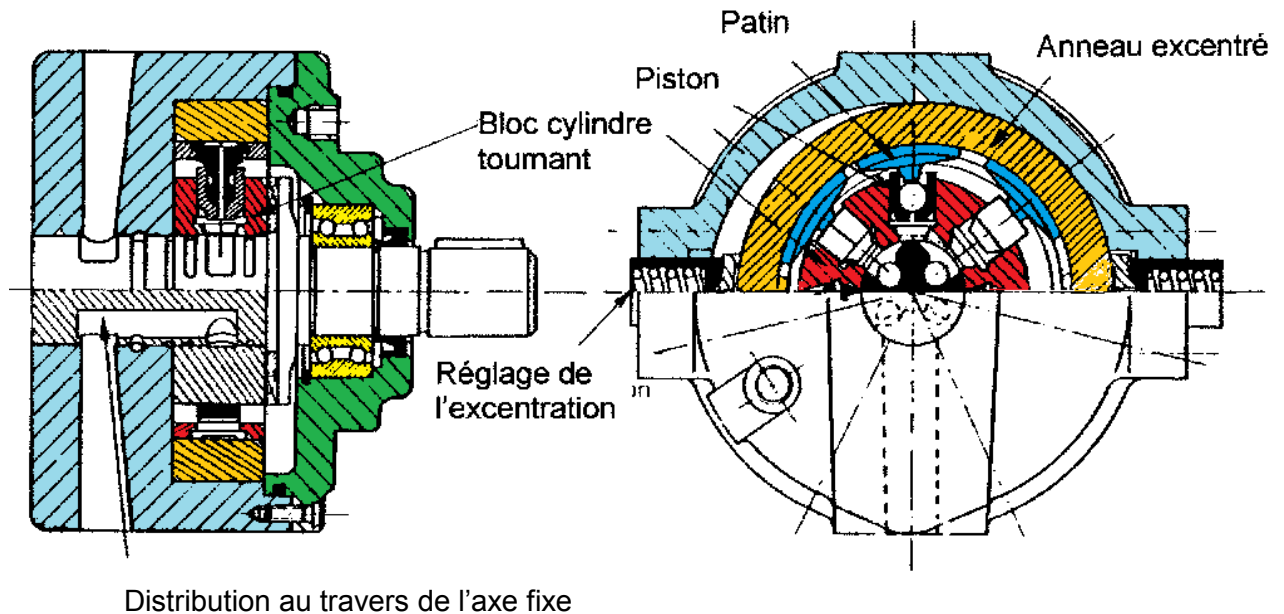
- Pression : 350 à 350 bars (parfois 700 bars)
- Débit : jusqu'à 150 l /mm
- Vitesse : 30 à 2000 tr/min



### Pompes à pistons radiaux et bloc cylindre tournant

- Le bloc qui porte les cylindres est dans l'axe de la pompe.
- Avec des patins les parties arrières des pistons glissent sur une came extérieure qui est souvent un anneau excentré.
- La distribution se fait dans l'axe de rotation du bloc cylindre grâce à des glaces munies de lumières : une lumière d'aspiration et lumière de refoulement.
- En modifiant l'excentricité de l'anneau ( par vis, ou par volant ) on obtient une pompe à débit réglable.
- Si l'évolution de la pression déplace l'anneau, on a alors une pompe à débit variable.

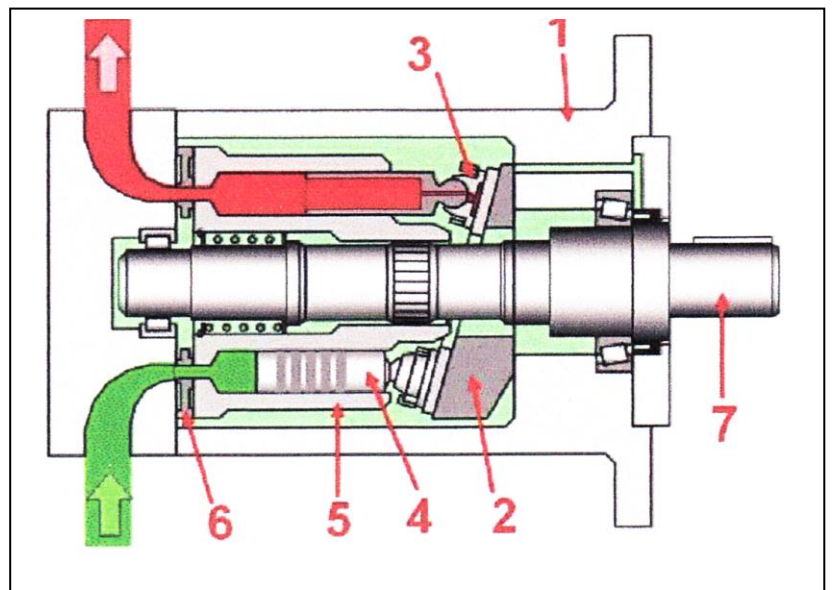
- En inversant le sens de l'excentration de l'anneau, on inverse le débit.
- On voit donc que ces pompes peuvent recevoir des modes de commande et de réglage très variés.
- Caractéristiques :
  - Pression : jusqu'à 320 bars
  - Débit : jusqu'à 80 l /mm
  - Vitesse maximale 2000 à 3000 tr/min



### Les pompes à pistons axiaux

- Les pistons sont disposés dans un cylindre ou barillet. Un plateau incliné provoque le mouvement alternatif des pistons.
- Afin de diminuer les pulsations de débit, ce qui améliore la régularité de l'écoulement, les pompes possèdent généralement un nombre impair de pistons, 5, 7 ou 9.

1. Corps
2. Plateau face ou inclinable
3. Patin de glissement
4. Piston
5. Barillet
6. Glace de distribution
7. Arbre de pompe





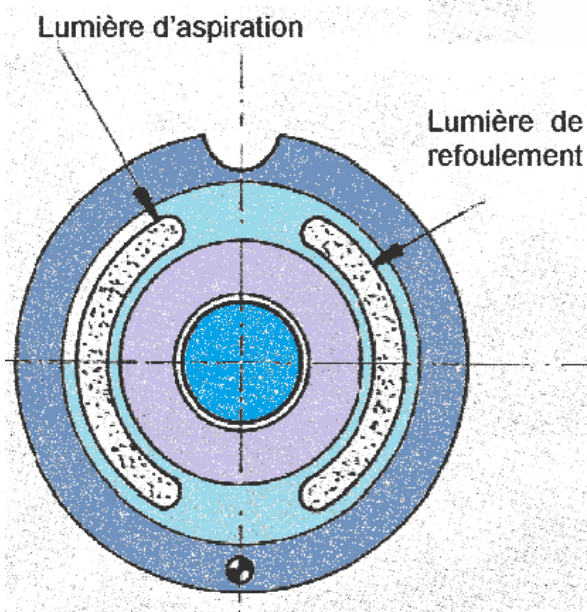
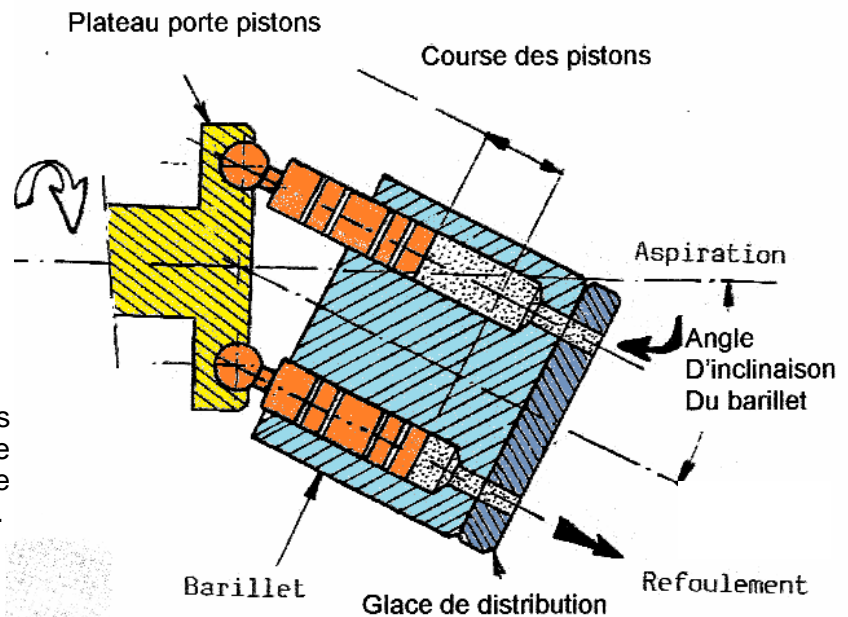
## Pompes à pistons axiaux et barillet incliné

- Des bielles, terminées à chaque extrémité par un embout sphérique, réalisent la liaison entre le plateau et les pistons.
- Pour permettre le maintien en position des pièces et le libre débattement angulaire nécessaire au montage et à la rotation, ces embouts sphériques sont sertis dans une alvéole du plateau et dans le piston concerné.
- L'inclinaison du barillet ( qui porte les alésages ) provoque lors de la rotation un déplacement relatif de chaque piston par rapport à son alésage.

Sur 180° il y a aspiration et remplissage, et sur les 180° suivants il y a refoulement du fluide aspiré.

A noter que parfois le plateau porte pistons et le barillet sont liés par un arbre à double cardan, et tournent ensemble sur leurs axes de rotation respectifs.

La distribution se fait au travers d'une glace portant une lumière de refoulement et une lumière d'aspiration ( schéma ci-après ).



Le mouvement alternatif des pistons va entraîner un léger débit de fuite. Ces fuites seront évacuées par l'orifice de drain qui doit toujours être placé à la partie la plus haute de la pompe.

Caractéristiques :

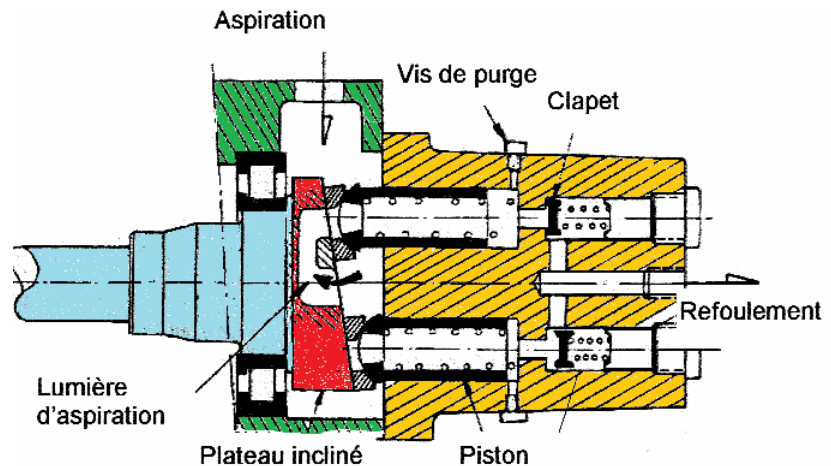
- Pression : jusqu'à 350 bars
- Débit : 30 à 500 l/min
- Vitesse : 1200 à 2800 tr/min suivant modèles
- Rendement : environ 90 %

## Pompes à pistons axiaux, à plateau incliné et barillet fixe

- Le corps de la pompe constitue en partie le barillet.
- Les pistons sont terminés par un embout sphérique percé, en appui sur un patin percé également, qui glisse sur le plateau incliné.
- Le plateau incliné fait office de glace de distribution pour l'aspiration. En effet, sur la partie descendante du plateau, il y a une lumière d'alimentation qui débouche à l'intérieur du carter, là où se fait l'aspiration.



- En fin de pente, le patin quitte la lumière d'aspiration et le fluide se trouve isolé dans le piston. Celui-ci remonte dans le cylindre et refoule l'huile vers l'orifice de refoulement, au travers d'un clapet.
- Les fuites sont internes et retournent à l'aspiration qui assure aussi la lubrification de l'ensemble.
- L'aspiration doit donc être orientée à la partie la plus haute, de façon à conserver un carter plein à l'arrêt.



### Précautions d'utilisation particulières :

- A leur sortie d'usine, ces pompes ont obligatoirement un sens de rotation qui ne peut être inverse : une inversion nécessiterait de changer l'arbre d'entraînement qui porte le plateau incliné et la lumière d'aspiration.
- Pour être certain d'une bonne alimentation : le réservoir doit être monté en charge, ou éventuellement la pompe est immergée dans le réservoir. Si celui-ci est pressurisé, une bavette de soutien du joint d'étanchéité de l'arbre peut être nécessaire.

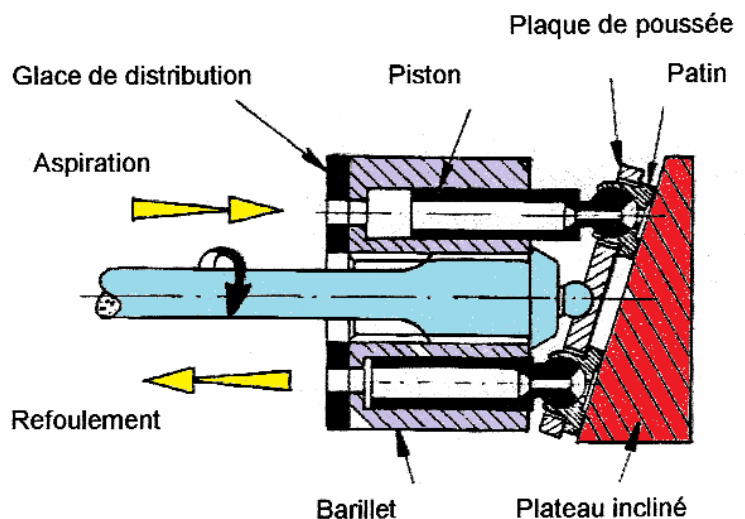
### Caractéristiques :

- Pression : 300 à 400 bars ( jusqu'à 600 pour les petites cylindrées )
- Débit : de 2 à 120 l /mm
- Vitesse 1800 à 3500 tr/min ( même 5000 tr/min pour certains types )

### Pompes à pistons axiaux, à plateau incliné et barillet tournant

Le barillet et les pistons tournent ensemble.  
Les pistons sont terminés par un embout sphérique portant un patin serti, lequel est appliqué sur le plateau incliné par une plaque de poussée qui reçoit la force d'un ressort ou de rondelles Belleville. La distribution se fait grâce à une glace ayant une lumière d'aspiration et une lumière de refoulement.

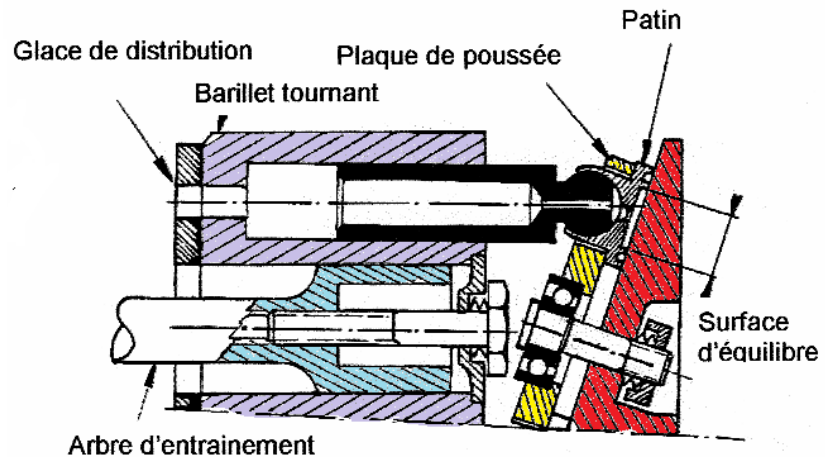
Dans le carter s'établit un débit de fuite externe au circuit du liquide ; il est évacué par le drain que l'on doit placer en partie haute



De ce fait, la lubrification des parties mécaniques est excellente si le liquide est de l'huile. Patins, rotules et pistons sont percés pour que l'huile exerce sa pression sous le patin et réalise ainsi un équilibrage hydraulique qui soulage pistons et patins.

Caractéristiques :

- Pression : 200 à 350 bars
- Débit : 15 à 250 l/mn
- Vitesse : 1500 à 3500 tr/min



## Les pompes volumétriques à cylindrée variable

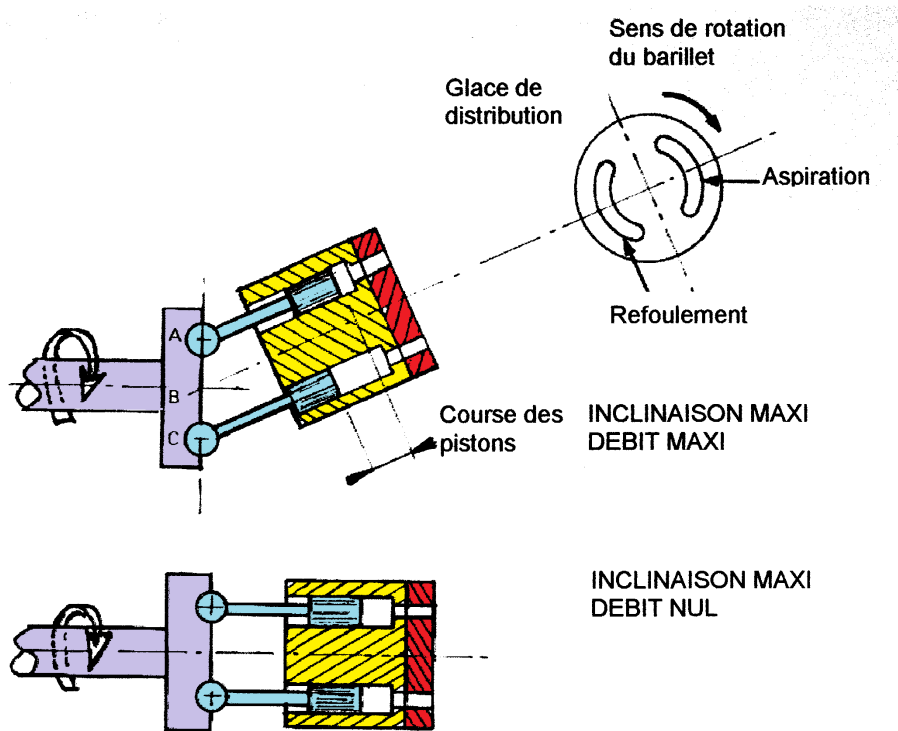
### Pompes à pistons radiaux à cylindrée variable

- Ce sont des pompes à bloc cylindre tournant.
- La variation de l'excentration de l'anneau permet une variation de cylindrée.
- Cet anneau est poussé en permanence par un contre-piston, qui l'applique sur un piston de commande, alimenté par un régulateur de pression dont le tarage s'effectue par une vis.
- Quand la pression de refoulement est inférieure au tarage du régulateur, le piston de commande est alimenté et l'excentration de l'anneau est maximale ; le débit de la pompe est alors maximal.
- Quand la pression approche la valeur de tarage, le piston de commande est progressivement purgé et le contre piston recentre l'anneau. Le débit de la pompe est alors réduit.

Il y a une recherche permanente d'équilibre entre la force communiquée par la pression sur le tiroir du régulateur de pression et la force du ressort tarable. C'est ce tiroir qui alimente ou purge le piston de commande

### Pompes à pistons à cylindrée variable et barillet inclinable

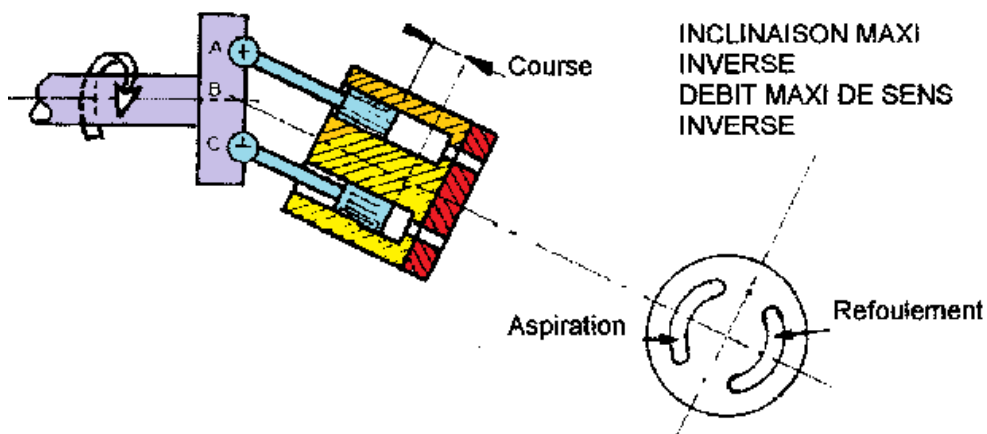
- La variation de la cylindrée de la pompe est obtenue par modification de l'inclinaison du barillet par rapport au plateau.
- Le barillet, mobile, est porté par un étrier dont l'axe de rotation se situe dans le plan du plateau porte pistons.
- Comme la distribution faite par la glace de distribution débouche à l'intérieur de l'étrier, celui-ci porte donc la conduite d'aspiration et la conduite de refoulement; ces conduites débouchent au travers des paliers qui portent l'étrier.
- Les fuites internes sont collectées à l'intérieur du carter, et évacuées par le drain qui doit toujours être placé à la partie haute de la pompe.



## - Commande électro-hydraulique

Elle permet d'asservir la production de la pompe à un signal de commande électrique. Dans ce cas, l'alimentation du vérin de commande est faite au travers d'une servo-valve.

Le circuit hydraulique de commande est indépendant et il est constitué d'une pompe auxiliaire alimentant la servo-valve et le vérin ( à travers un filtre  $10\ \mu$  ), avec une protection par un limiteur de pression.



Réglage du débit : Obtenu par la modification angulaire de l'étrier.

Ce réglage peut être fixe ( la pompe fournit un débit constant ) ou évolutif ( le débit évolue en fonction de la demande du circuit ).

## - Commande manuelle

Dans ce cas, on à un débit constant réglable.

Un système vis-écrou permet le déplacement angulaire de l'étrier.

## - Commande hydraulique par compensateur de pression

## Matériels courants : pompes

Elle permet d'ajuster le débit de la pompe à la demande du circuit.

Le compensateur est un distributeur piloté par la pression du réseau et dont le tiroir est rappelé par un ressort tarable( ce tarage définit la pression que l'on veut obtenir et maintenir).

Quand la pression du réseau est plus forte que le tarage, le tiroir est poussé et le ressort est comprimé. Par le tiroir, l'orifice pression et le vérin de commande de l'étrier sont mis en communication. L'étrier avance, ce qui a pour effet de réduire le débit et la pression.

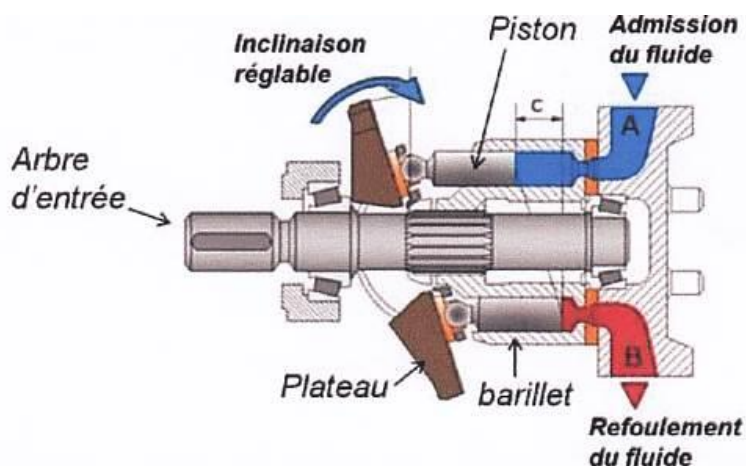
Quand la pression descend en dessous de la valeur de tarage, le ressort repousse le tiroir vers le fond et met le vérin de commande en communication avec le drain. Le vérin de rappel devient prépondérant et bascule l'étrier, augmentant l'inclinaison et donc le débit de la pompe.

### - Commande électro-hydraulique

Elle permet d'asservir la production de la pompe à un signal de commande électrique. Dans ce cas, l'alimentation du vérin de commande est faite au travers d'une servo-valve.

Le circuit hydraulique de commande est indépendant et il est constitué d'une pompe auxiliaire alimentant la servo-valve et le vérin ( à travers un filtre  $10\ \mu$  ), avec une protection par un limiteur de pression.

### Pompes à pistons à cylindrée variable et plateau inclinable



Ce sont des pompes à barillet tournant et à plateau inclinable. La variation de la cylindrée est obtenue en modifiant l'inclinaison du plateau. Le plateau repose sur un étrier dont l'axe de rotation est utilisé pour définir l'inclinaison du plateau.

#### Commande manuelle par levier

Cette commande est en prise directe sur l'axe de rotation de l'étrier ( réservée aux petites puissances ).

#### Commande par volant

Un système roue et vis sans fin commandé par un volant permet la rotation de l'axe de l'étrier. Une vis de blocage assure la stabilité..

#### Commande hydraulique par compensateur de pression

Système identique à celui décrit pour le compensateur de la pompe à barillet inclinable.

#### Commande par moteur électrique

Un moto-réducteur à forte démultiplication entraîne en rotation l'axe de l'étrier, dont le maintien en position est assuré par un frein fonctionnant à coupure de courant.

### Commande électro-hydraulique par servo-valve

L'inclinaison du plateau est commandée par un vérin alimenté au travers d'une servo-valve asservie à un signal électrique. Quand la pression descend en dessous de la valeur de tarage, le ressort repousse le tiroir vers le fond et met le vérin de commande en communication avec le drain. Le vérin de rappel devient prépondérant et bascule l'étrier, augmentant l'inclinaison et donc le débit de la pompe.

### Commande électro-hydraulique

Elle permet d'asservir la production de la pompe à un signal de commande électrique.

Dans ce cas, l'alimentation du vérin de commande est faite au travers d'une servo-valve.

Le circuit hydraulique de commande est indépendant et il est constitué d'une pompe auxiliaire alimentant la servo-valve et le vérin ( à travers un filtre  $10\ \mu$  ), avec une protection par un limiteur de pression.

### Les pompes à palettes à cylindrée variable

On les appelle aussi pompes auto-régulatrices ou pompes à annulation de débit.

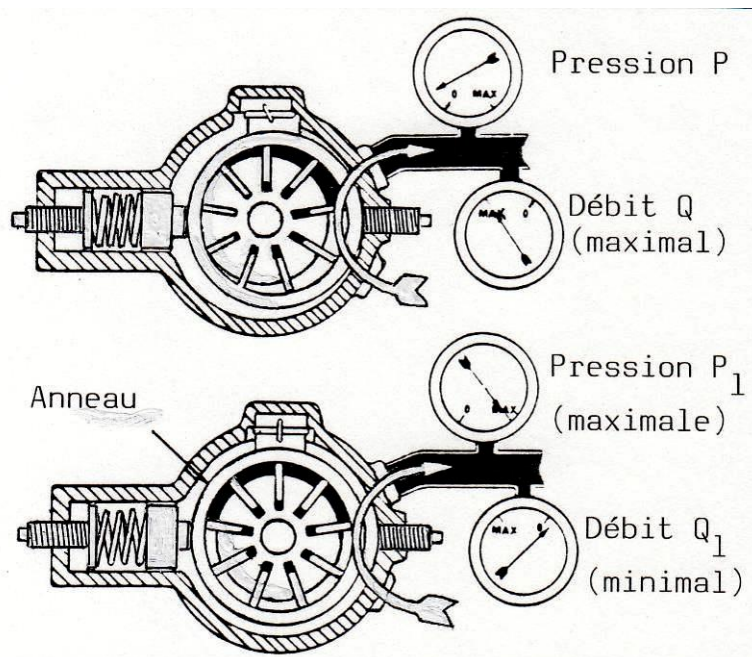
Le principe est simple : le rotor tourne dans un alésage excentré, et en modifiant l'excentricité de l'anneau on fait varier le débit de la pompe ( qui est nul si l'anneau et le rotor sont concentriques ).

Ces pompes ont une lumière d'aspiration et une lumière de refoulement.

L'anneau est donc rendu mobile et se déplace entre deux flasques portant ces lumières d'aspiration et de refoulement.

Au repos cet anneau est poussé par un ressort tarable grâce à une butée réglable par vis.

En marche, la pression de l'huile ( emprisonnée entre les palettes ) s'exerce sur l'anneau, ce qui produit une force tendant à comprimer le ressort. Le déplacement de l'anneau modifie l'excentration, donc le débit.



Il y a donc une recherche permanente d'équilibre entre la force du ressort ( réglable ) et la force communiquée par la pression sur l'anneau mobile.

Lorsque la valeur de réglage est atteinte, l'anneau devient concentrique au rotor et la pompe ne sert qu'à compenser les débits de fuite pour maintenir la pression.

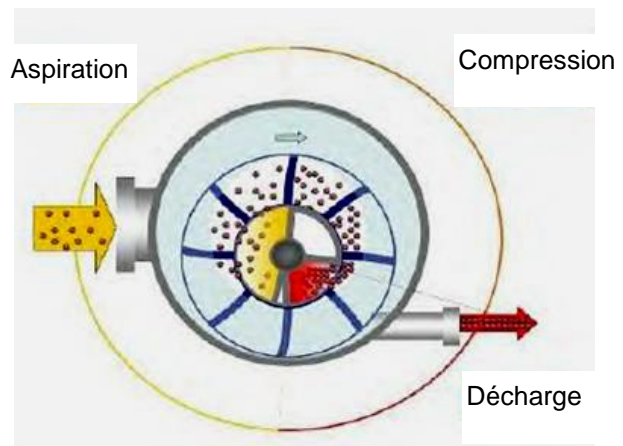
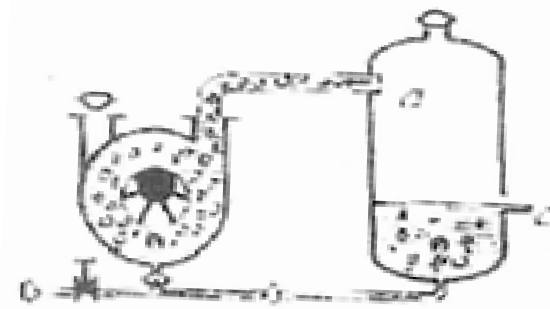


- Certaines de ces pompes peuvent travailler à deux étages de pression.
- A la force du ressort, vient s'ajouter la pression de refoulement qui est communiquée au travers d'une restriction et qui est limitée par un limiteur de pression.
- Au repos, une électrovanne normalement ouverte permet de décharger le côté ressort en retournant le débit pilote directement au réservoir. La pompe travaille ainsi en basse pression.
- Quand l'électrovanne est sous tension, la pression de refoulement ajoute son action à celle du ressort. La pompe travaille en haute pression.
- Les gammes de ressorts permettent d'atteindre des pressions de 20 à 140 bars.
- Caractéristiques :
  - Pression : 20 à 140 bars
  - Débit : 20 à 200 l/min
  - Vitesse : jusqu'à 1500 tr/min suivant les modèles
  - Rendement : 0,85 à 0,9

### Pompes à anneau liquide

La pompe à anneau liquide est conçue pour aspirer du gaz ou des vapeurs à des pressions inférieures à la pression atmosphérique. Elle est principalement utilisée pour la production de vide.

La pompe est essentiellement constituée par un corps cylindrique dans lequel tourne un arbre supportant une turbine à palettes. L'arbre excentré imprime au liquide un anneau concentrique au corps. Au cours de sa rotation, le volume compris entre deux palettes croît puis décroît ce qui provoque d'un côté une aspiration puis une compression reliées aux orifices correspondants.



### Maintenance

Les pompes centrifuges sont les plus nombreuses et ce sont elles qui posent le plus de problèmes de maintenance.

Plusieurs règles sont à respecter pour maîtriser les défaillances potentielles.

#### A l'installation

Ne jamais installer une pompe surcapacitive, pour éviter le risque de la cavitation.

#### Au démarrage

Vérifiez :

- que les fluides auxiliaires (notamment pour garnitures mécaniques) sont bien connectés, puis régler leur débit
- Ouvrez la vanne d'aspiration.
- Démarrez la pompe.
- Décollez progressivement la vanne de refoulement. Pendant cette manœuvre, surveillez en permanence la pression de refoulement, ainsi que l'intensité absorbée par le moteur. Si la pompe est bien amorcée, la pression de refoulement baisse légèrement et l'intensité augmente.
- Contrôlez l'absence de fuite.

***Procéder différemment c'est à coup sûr créer le risque d'une cavitation***

#### Produit polymérisant

Si le produit a tendance à polymériser, c .à.d. durcir à l'arrêt :

- arrêtez le moins possible la pompe ;
- tournez la pompe à la main après un arrêt prolongé pour décoller les bagues de la garniture mécanique.

#### Pompe de réserve

Pour éviter que les joints sèchent et deviennent défectueux, il est judicieux d'adopter la loi des 3 pour 1 :

- ✓ utilisation pendant 3 semaines de la pompe principale, puis pendant 1 semaine de la pompe de réserve ;
- ✓ ou utilisation pendant 3 mois de la pompe principale, puis pendant 1 mois de la pompe de réserve.

#### Réparations

Si l'on doit remplacer une garniture mécanique, il est judicieux d'examiner en même temps le jeu des bagues d'usure (bagues entre roue et corps de pompe) et de remplacer ces bagues en même temps pour éviter de devoir le faire plus tard (perte de rendement) en arrêtant à nouveau la pompe.

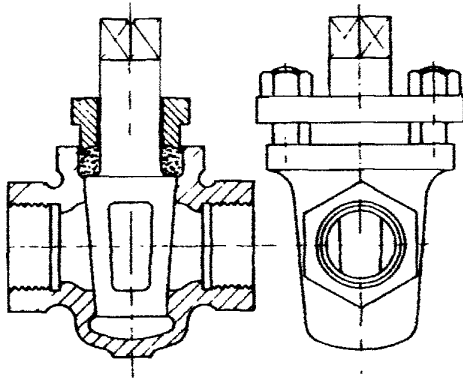
Garniture mécanique : voir les « règles de l'art » et nos remarques à ce sujet.

Garniture à tresse : voir la règle de l'art « Remplacement d'une garniture à tresse ». Il est judicieux d'informer l'exploitation qu'une étanchéité par tresses sur un système dynamique a pour but de contrôler les fuites, non de les empêcher. Il est nécessaire d'avoir une fuite de l'ordre de 15 à 20 gouttes/min pour lubrifier la garniture.

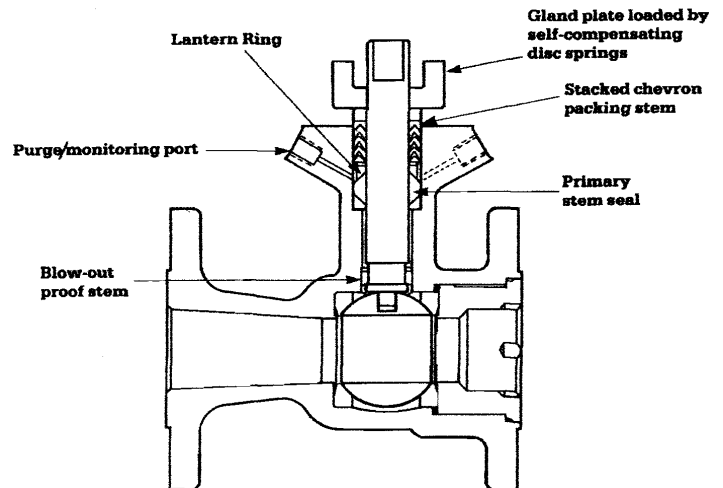
# Vannes

## Différents types

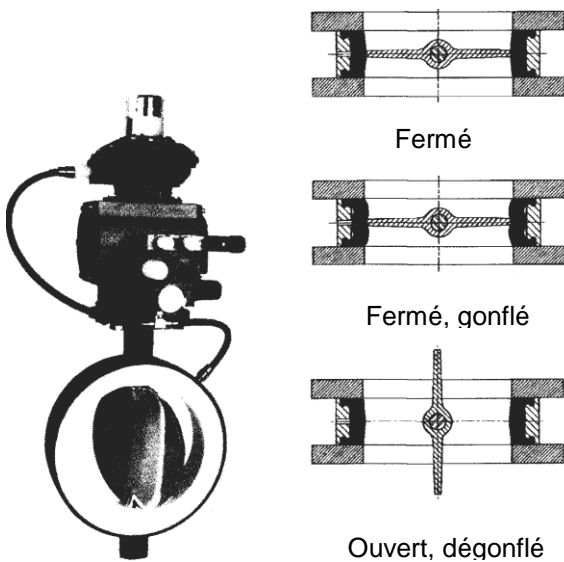
### Vannes à boisseau



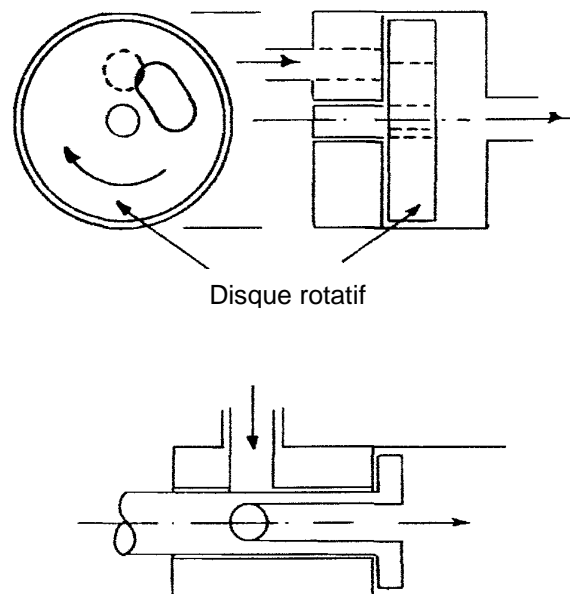
### Vannes à boisseau sphérique



### Vannes papillon

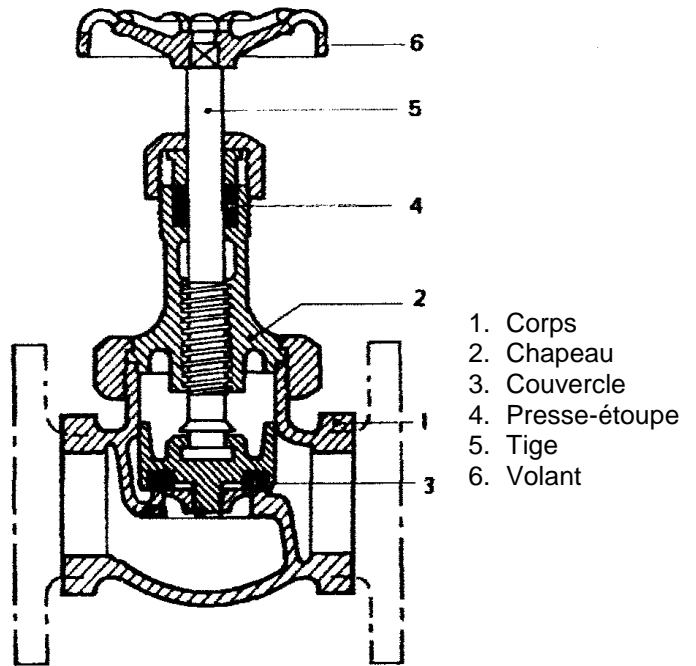
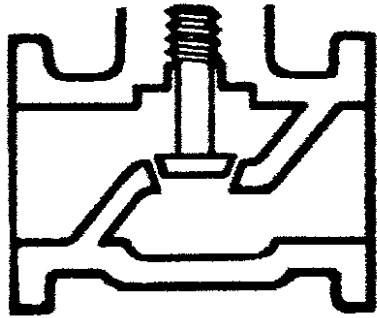


### Vannes à disque rotatif

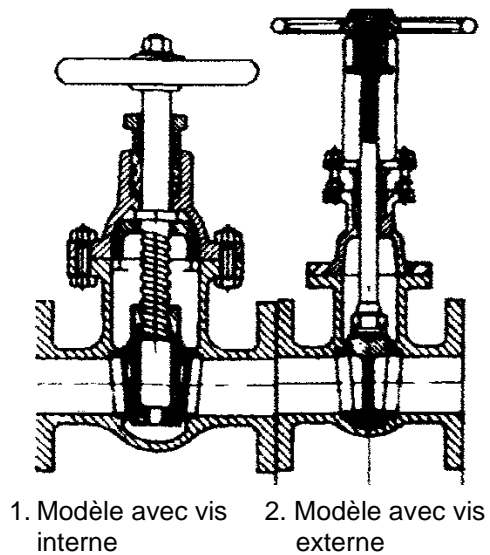




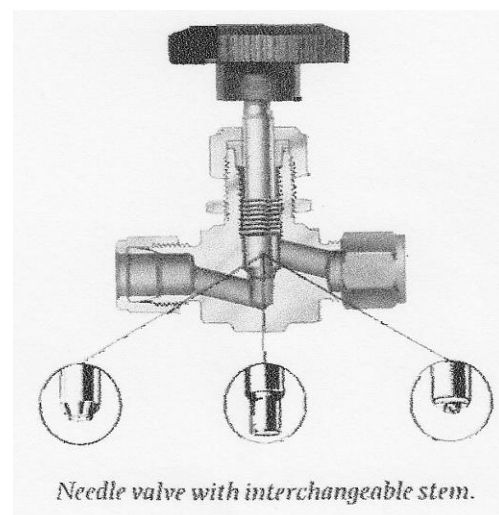
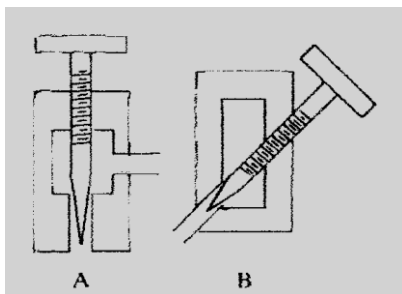
## Vannes de type « globe »



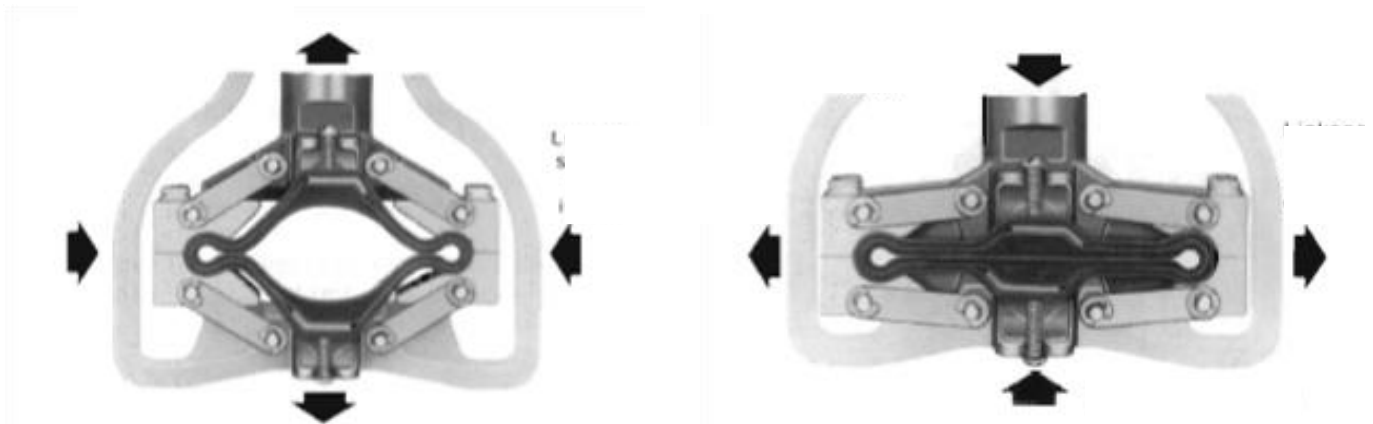
## Vannes guillotines



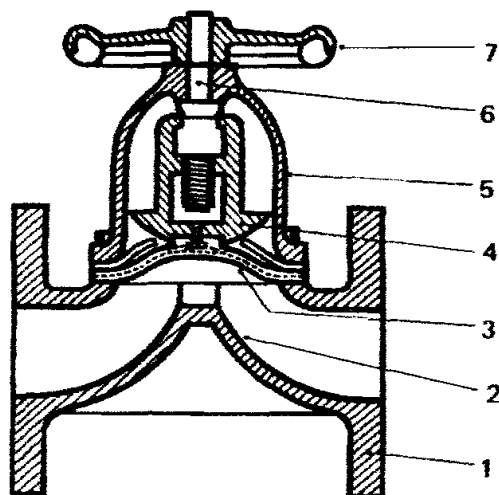
## Vannes à aiguille



## Vannes à pincement

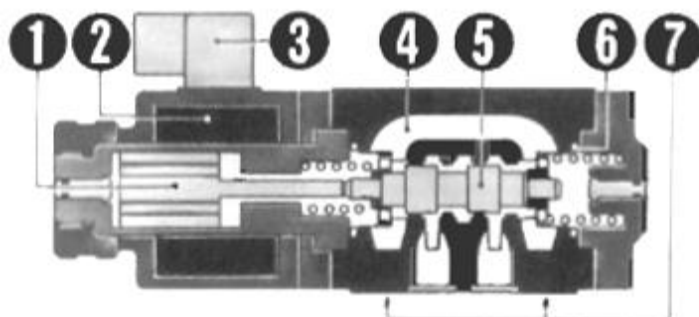


## Vannes à diaphragme



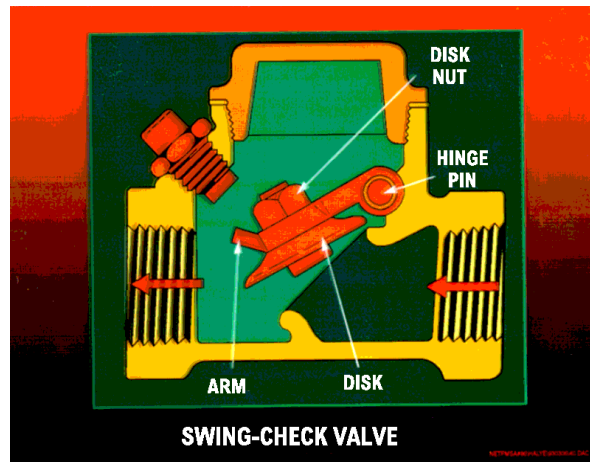
1. Corps
2. Séparation
3. Diaphragme
4. Entraînement du diaphragme
5. Couvercle
6. Broche
7. Volant

## Electrovannes

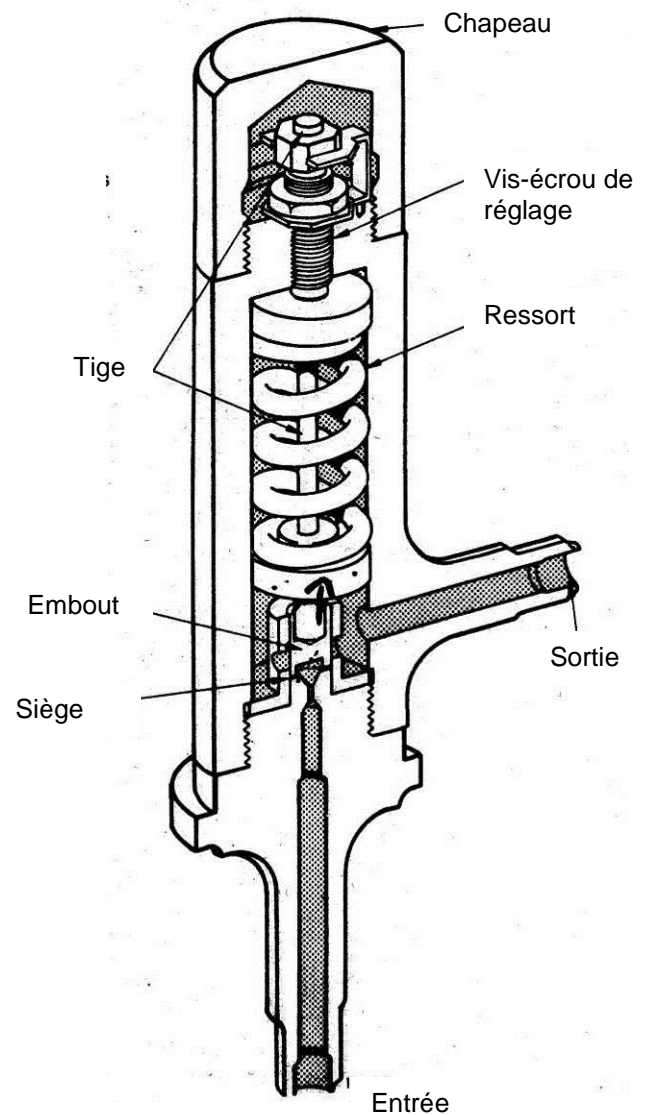


1. Solénoïde
2. Unités encastrées
3. Connexions
4. Corps de vanne
5. Tiroir
6. Joints toriques
7. Surface de montage

## Clapets anti-retour



## Vannes de sécurité



Voir aussi le catalogue SERSEG

### Commandes

Les différents types de commandes des vannes sont les suivants :

- ✓ Commande mécanique manuelle
- ✓ Commande mécanique par flotteur
- ✓ Commande mécanique à distance
- ✓ Commande mécanique asservie
- ✓ Commande par le fluide lui-même
- ✓ Commande pneumatique ou hydraulique par membrane...
- ✓ Commande pneumatique ou hydraulique par vérin
- ✓ Commande pneumatique ou hydraulique par moteur hydraulique
- ✓ Commande pneumatique ou hydraulique par moteur pneumatique
- ✓ Commande électrique par électro-magnétisme avec un enroulement
- ✓ Commande électrique par électro-magnétisme avec deux enroulements
- ✓ Commande électrique par moteur

Les vannes de régulation ont un relayage électronique qui reçoit des informations de l'automate programmable (par courant faible) et dirige le système de commande.

#### **Maintenance**

A l'heure actuelle peu de vannes « repassent ».

De ce fait, on fait très peu de contrôles, sauf à resserrer parfois le presse-étoupe de tige quand il y a fuite.

On peut aussi contrôler s'il y a une fuite interne avec un appareil US, mais ce type de contrôle devrait être réservé à des vannes critiques, d'autant plus qu'il nécessite des appareils de mesure assez sensibles.

Par contre, les vannes de régulation nécessitent des contrôles trimestriels du relayage par un instrumentiste.

# Hydraulique

## Avantages et inconvénients de l'énergie hydraulique

L'hydraulique est un moyen de transmission de l'énergie à distance par l'intermédiaire d'un liquide. Les liquides étant très peu compressibles, une très faible réduction de volume amène une rapide augmentation de pression qui se transmet en tous points du circuit.

### Avantages de l'hydraulique

#### **Forces et couples très élevés**

La pression des réseaux d'air comprimé est souvent comprise entre 6 et 10 bars. Pour des raisons de rentabilité la force des vérins pneumatiques ne dépasse généralement pas 2500 daN et leur course 2 m.

Par contre, en hydraulique la pression peut être bien plus élevée. Elle est seulement limitée par la résistance des composants et la rentabilité de l'ensemble.

#### **Grande souplesse d'exploitation**

Les appareils hydrauliques permettent d'obtenir une très large gamme :

- de vitesses de translation ou de rotation, et ce de façon continue si nécessaire en contrôlant le débit,
- de forces ou de couples en contrôlant la pression.

#### **Bonnes précision et régulation**

Le fluide hydraulique étant considéré comme incompressible, les appareils qu'il entraîne ont une bonne précision d'arrêt ou une bonne régulation de vitesse.

#### **Pouvoir lubrifiant**

Le fluide hydraulique a un bon pouvoir lubrifiant. Il en résulte une excellente lubrification des appareils, ce qui réduit leur usure et permet de très bons rendements ( jusqu'à 0,92 pour certaines pompes et 0,9 pour certains moteurs hydrauliques ) et assure un fonctionnement assez silencieux pour les puissances mises en oeuvre.

#### **Faible encombrement des appareils**

Le fait de travailler en haute pression permet de réduire l'encombrement des appareils. Par exemple dans un groupe moto-pompe, la pompe est toujours bien plus petite que le moteur électrique, alors que les deux appareils ont la même puissance.

### Inconvénients de l'hydraulique

#### **Présence d'air**

La présence d'air dans le fluide est à éviter absolument car :

- l'air se mélange au fluide hydraulique pour donner un fluide aéré, donc compressible, avec lequel on n'obtiendra que des vitesses instables et des forces élastiques;
- si l'on brasse air et huile on obtient très vite une émulsion. Pour atténuer cet effet, le pétrolier introduit dans l'huile des dopants qui réduisent son pouvoir émulsif.

#### **Fuites**

La technologie des appareils hydrauliques impose une fuite.

En effet, la plupart de ces appareils comportent des pièces mobiles : tiroirs, pistons , clapets, coulissant sans joint dans un alésage, l'étanchéité étant assurée par une qualité d'usinage

remarquable et des tolérances très serrées. Mais pour permettre le déplacement rapide des pièces mobiles un jeu mécanique est nécessaire, ce qui permet à l'huile de s'introduire et fuir. Cette fuite peut être interne et l'huile retourne généralement à la bêche. Mais dans certains cas, pour éviter un blocage de l'appareil, il faut l'évacuer par une conduite séparée : le drain.

### ***Pertes de charge ( pertes de pression )***

Le frottement de la veine fluide sur les parois des tuyauteries ou son passage dans des appareils, amène une perte de charge dont on doit tenir compte lors de la détermination des appareils et des conduites.

### ***Risques d ' incendie***

La plupart des circuits hydrauliques utilisent l'huile minérale qui est inflammable.

Une petite fuite en haute pression se traduit par une vaporisation de l'huile avec risque d'incendie ou d'explosion, s'il y a une flamme alentour ou des pièces en température.

Aussi lorsqu'il y a risque d'incendie ou d'explosion, on emploie des fluides hydrates ( mélanges eau glycol ) ou des fluides synthétiques.

## **Fluides hydrauliques**

Ils sont classés en deux grands groupes :

- les huiles minérales, elles-mêmes classées en quatre catégories;
- les huiles difficilement inflammables, qui comprennent :
  - les fluides aqueux, qui sont des mélanges à base d'eau, classés en trois catégories;
  - les fluides synthétiques qui ne comportent pas d ' eau.

### **Huiles minérales**

Fluides de la catégorie HH : huiles minérales non inhibées, pratiquement pures, possédant un pouvoir lubrifiant médiocre.

Fluides de la catégorie HL : huiles minérales possédant des propriétés anti-oxydantes et anti-corrosion particulières.

Fluides de la catégorie HM : fluides de la catégorie HL qui possèdent des propriétés anti-usure particulières.

Fluides de la catégorie HV : fluides de la catégorie HM qui possèdent des propriétés viscosité/température améliorées.

Les huiles minérales des catégories HM et HV sont les plus utilisées.

Chaque catégorie est divisée en sept classes correspondant chacune à une viscosité moyenne à 40°C ( alors que la viscosité est encore souvent exprimée à 50°C.

Les classes moyennes de viscosité à 40°C pour chaque catégorie sont :  
15 — 22 — 32 — 46 — 68 — 100 — 150.

### Huiles difficilement inflammables

Fluides de la catégorie A : ce sont des fluides aqueux.

Il s'agit d'une émulsion d'huile dans l'eau ( 10 ~ 20% d'huile ).

Le pouvoir lubrifiant est limité.

Il faut une eau non calcaire et sans bactéries.

La température normale d'utilisation est comprise entre + 5°C et + 50°C.

Fluides de la catégorie B : ce sont des fluides aqueux.

Il s'agit d'une émulsion d'eau dans l'huile où la proportion d'huile atteint 50 à 60% du volume total.

Le pouvoir lubrifiant reste médiocre mais l'indice de viscosité est généralement bon.

Fluides de la catégorie C : ce sont des fluides aqueux.

Il s'agit d'une solution de polyglycols dans l'eau. La quantité d'eau varie de 35 à 65%.

Ces fluides ont d'assez bonnes qualités lubrifiantes et un assez bon indice de viscosité.

Mais ils sont agressifs à l'égard de métaux non ferreux : cadmium, zinc, magnésium sont attaqués par ces fluides. Il en va de même pour certaines peintures, les vernis et le liège.

La température normale d'utilisation est comprise entre – 20°C et + 50°C ( à faire préciser par le fournisseur ).

Fluides de la catégorie D : ce sont des fluides non aqueux.

Ce sont des fluides synthétiques, à base d'esters phosphates ou d'hydrocarbures halogénés.

Ils peuvent être utilisés dans une large plage de température : - 20°C à +150°C

Ils ont une densité plus élevée que les autres fluides hydrauliques, comprise entre 1,1 et 1,4.

Cette densité a pour conséquence que les impuretés transportées par le fluide restent plus longtemps en suspension et se déposent plus lentement dans le bac. Il est bon d'envisager une filtration très soignée du fluide ; cela peut nécessiter une réserve de fluide légèrement plus importante pour permettre un meilleur dégazage et une décantation plus efficace de ce dernier.

Enfin :

- ✓ certains fluides synthétiques ne sont pas compatibles avec les élastomères, les peintures, le téflon, certains métaux non ferreux ;
- ✓ certains fluides synthétiques sont nocifs pour l'homme.

En conclusion, si l'utilisation de fluides difficilement inflammables permet d'améliorer très fortement la sécurité dans certaines installations, ces fluides doivent être choisis avec soin, avec le fournisseur.

N'oubliez pas qu'une huile équivalente n'est pas forcément une huile miscible.

Un homme qui mélange de la bière avec du vin dans le même verre ne se sentira pas bien

ensuite; il en va de même pour le matériel hydraulique.

## Circuits hydrauliques

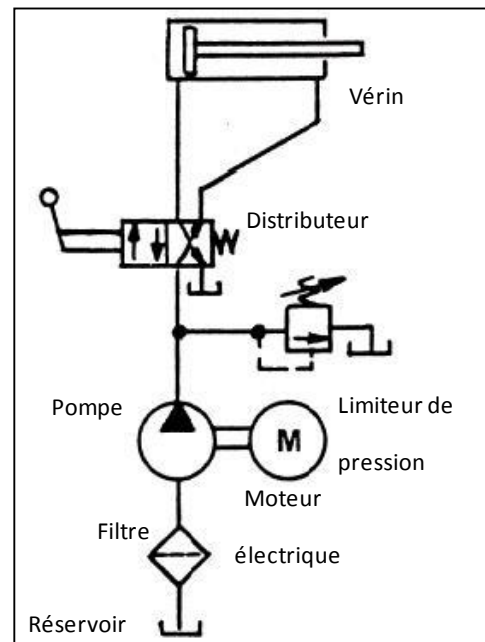
### Circuits ouverts

L'huile circule du réservoir vers la pompe qui la refoule vers l'organe moteur, vérin ou moteur hydraulique.

Puis elle retourne au réservoir.

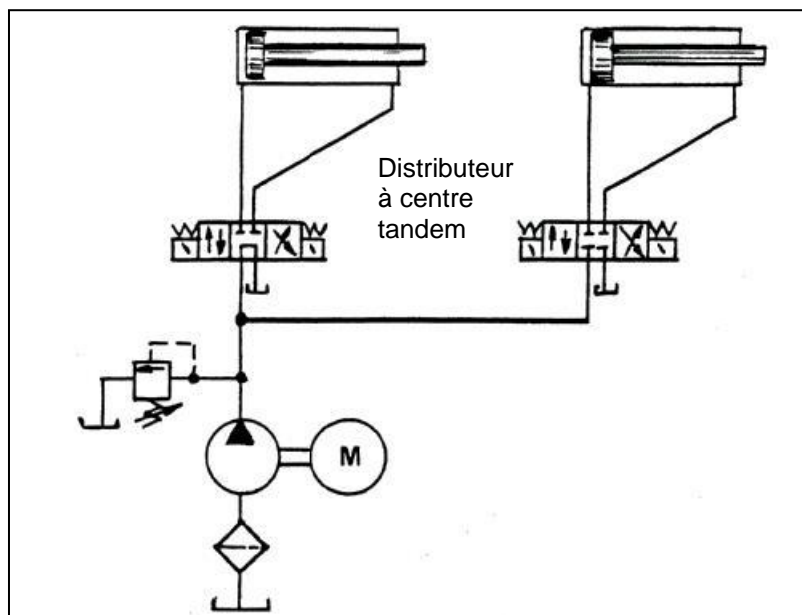
Les circuits ouverts peuvent être :

- à centre ouvert,
- à centre fermé.



### A centre ouvert

Le circuit est à pression variable



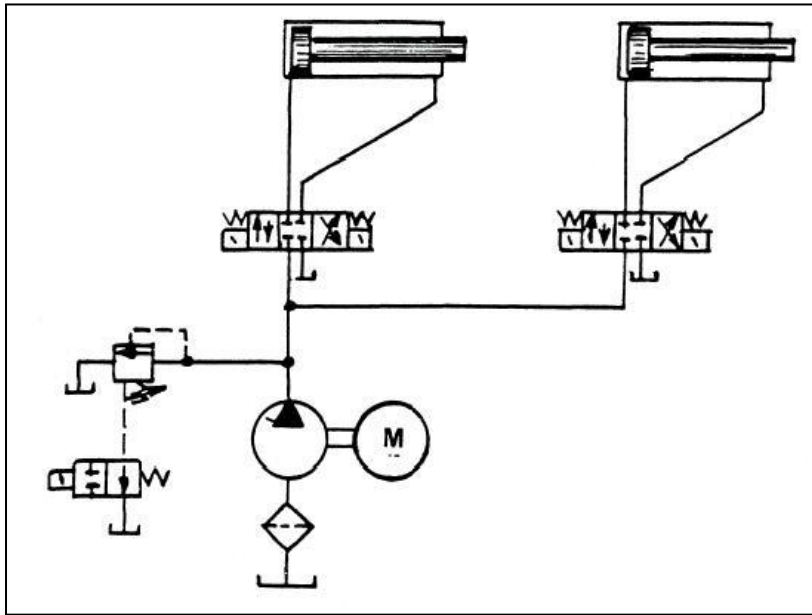
Le distributeur à centre ouvert doit laisser passer la totalité du débit. La pression dépend de la charge des appareils.

Le circuit hydraulique ouvert, à centre ouvert, est simple, peu coûteux et fonctionne de façon satisfaisante. Mais pour une régulation rapide ou un bon amortissement des à-coups il est préférable de prendre un centre fermé qui maintient la pression dans le circuit.

### A centre fermé

Le système est dit à pression constante, bien qu'en fonctionnement la pression dépende des appareils.





Grâce à une pompe à cylindrée variable, la pression est maintenue sensiblement constante au repos et durant les temps morts par une variation du débit.

Le débit de la pompe peut être constant ou variable. On essaie d'ajuster au mieux le débit de la pompe à la consommation. Plusieurs cas sont possibles :

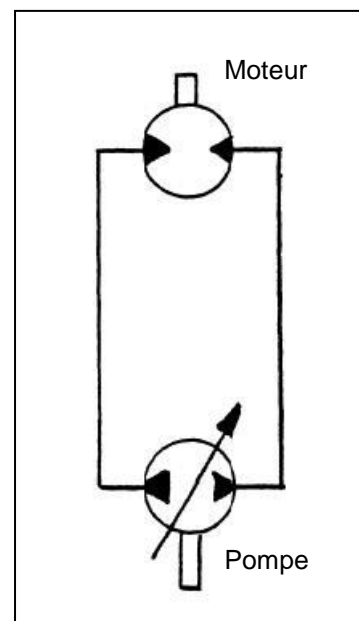
- Choisir une pompe à cylindrée constante et obtenir la variation de débit utile par un limiteur ou un régulateur de débit.  
Ceci n'est valable que si la plage de variation est faible ( plus ou moins 10% d'un débit moyen ) et si l'on ne tient pas compte des pertes de rendement qui en résultent.
- Choisir une pompe à cylindrée variable qui permet d'obtenir une grande variation de débit.  
Ce système est plus coûteux mais permet une bonne régulation sur une plus grande plage.
- Utiliser plusieurs pompes dont les débits s'ajoutent lorsque la plage de variation est très grande.

## Circuits fermés

L'huile circule en circuit fermé de la pompe vers le moteur et du moteur vers la pompe.

Ce principe de montage permet :

- une variation continue des vitesses dans les deux sens de la marche sans laminage du fluide lorsque la pompe est à cylindrée variable et le moteur à cylindrée constante ;
- un contrôle des couples et des forces même en valeur négative ;
- le réglage des accélérations et des décélérations ;
- la diminution du risque de cavitation ;
- la réduction du volume d'huile en circulation.



Cependant, on doit tenir compte du fait que :

- tous les appareils hydrauliques fuient et l'on doit compenser les fuites.
- une huile qui tourne en circuit fermé finit par s'échauffer en dépassant les limites permises.

Pour remédier à cela, le circuit est complété par un circuit de gavage, avec une pompe de gavage dont les fonctions sont :

- de remplir le circuit;
- de compenser toutes les fuites;

d'assurer le renouvellement de l'huile en réinjectant en permanence dans le circuit environ 10% du débit principal sous une pression de 10 à 15 bars. L'huile excédentaire est évacuée sur le réservoir par un montage comprenant en série : un distributeur à double pilotage et un limiteur de pression. En outre, deux soupapes de sûreté permettent de soulager la branche en surcharge

### Réservoirs

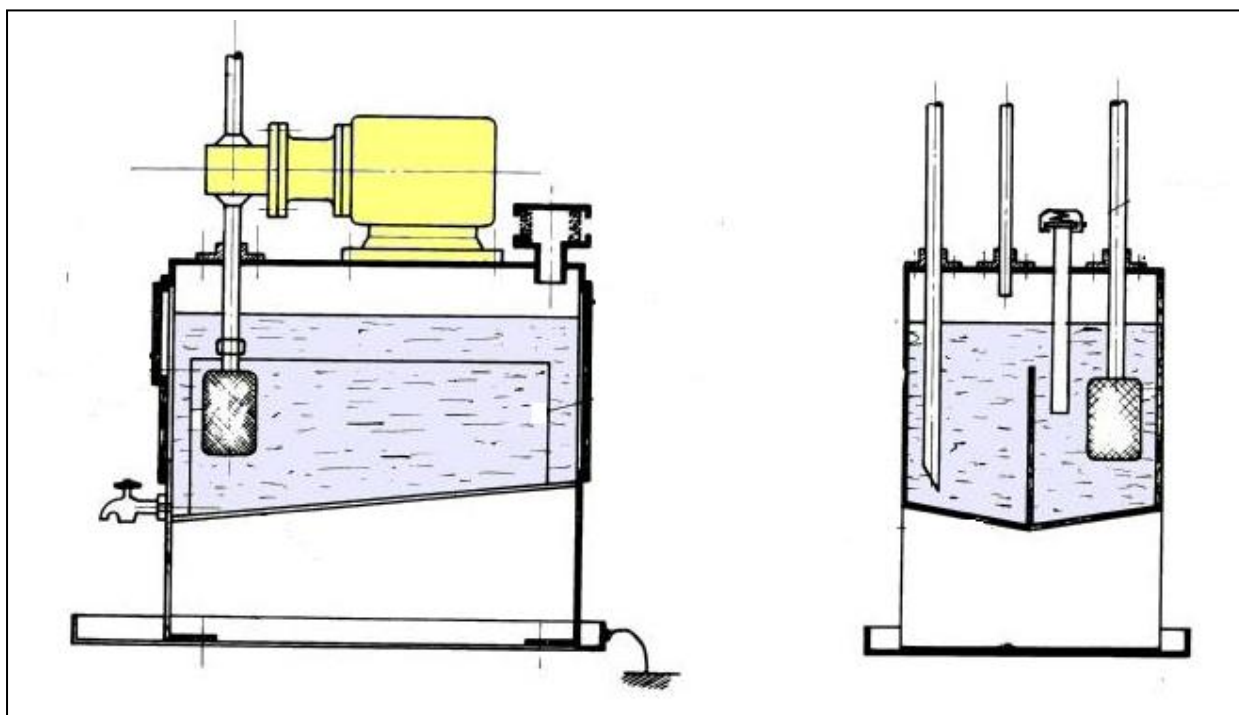
Contrairement à ce que l'on croit souvent le réservoir n'est pas un simple récipient d'huile. Il doit remplir également des fonctions vitales pour le circuit.

Le réservoir de fluide est appelé bache.

La bache constitue la réserve d'huile du circuit pour absorber et compenser les variations de volume consécutives au fonctionnement.

De plus, les nécessités de filtrer, décanter, désémulsionner et refroidir le liquide font que le réservoir doit satisfaire à des caractéristiques bien définies.

La bache peut être au-dessous ou au-dessus de la pompe.



On doit éviter de dépasser 60°, l'huile s'oxydant et vieillissant ensuite très vite.

Les petites installations ne nécessitent pas de refroidisseur.

Mais celui-ci est nécessaire dès que :

- . la puissance est un peu élevée,
- . le système comporte des servo-valves.

Les refroidisseurs peuvent être à eau ou à air.

### Réchauffage de l'huile

Si l'huile est trop froide on ne doit pas démarrer l'installation avant d'avoir porté cette huile à 10—15°C

Le réchauffage se fait par des éléments chauffants placés près du fond, loin de l'aspiration.

On compte en général 250 W par dm<sup>2</sup> de surface chauffante.

La régulation se fait par thermostat immergé dans le bac, assez près des cannes chauffantes dans la partie haute du liquide ( entre 1/2 et 2/3 de la hauteur d'huile ).

### Filtres et crépines

#### Nécessité de filtre

Dans 80 % des cas, les pannes qui surviennent dans les circuits hydrauliques proviennent d'un mauvais état du liquide hydraulique.

Les impuretés dans l'huile provoquent :

- une usure excessive ;
- une augmentation des pertes de charges ;
- un encrassement des appareils de régulation et de distribution.

Les impuretés peuvent être :

- Abrasives : sable, limaille, copeaux ou grains de soudure, rouille, etc.

Elles augmentent l'usure interne et les pannes.

- .Non abrasives : ce sont souvent des dépôts de vernis et gommes provenant de joints ou de l'oxydation de l'huile.

Ces impuretés finissent par coller ou gommer les clapets et les tiroirs, par obturer les orifices de pilotage, amenant ainsi des pannes fugitives difficiles à déceler.

On admet couramment une filtration à :

- 25 - 30 microns pour une installation courante;
- 5 – 10 microns pour un circuit avec servo-valves.

Les **crépines** éliminent les particules de grosses dimensions ( plus de cent microns ).

Les **filtres** éliminent les particules très fines.

#### Placement des filtres et crépines

##### Sur l'aspiration

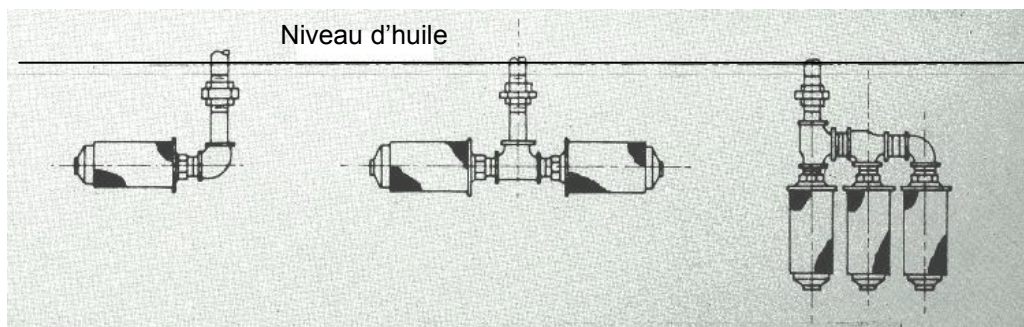
##### *En filtre immergé : la crépine*

Cette épuration est limitée aux grosses particules susceptibles de détériorer la pompe au premier passage.

La crépine est généralement constituée par un tamis métallique fin permettant une filtration de 100 à 150 microns. Son débit correspond à 2 ou 3 fois le débit de la pompe.

Sa perte de charge est d'environ 30 mbars.

La crépine ne constitue pas une protection suffisante. Elle doit être complétée par d'autres filtres plus efficaces placés sur le circuit.



### **En filtre non immergé à l'extérieur du réservoir, situé juste avant la pompe**

On emploie généralement un filtre à indicateur de colmatage avec by-pass taré à 0,10—0,15 bar.

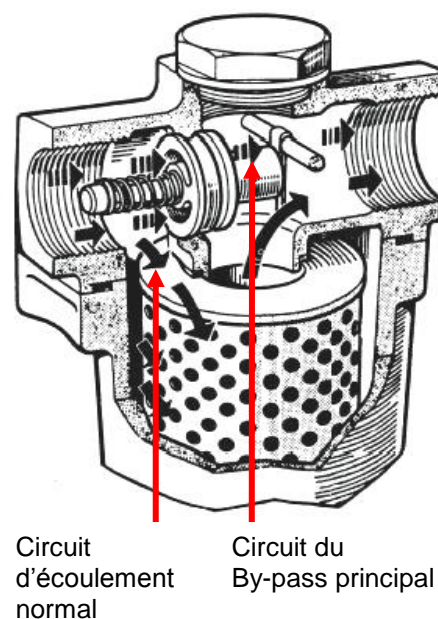
L'indicateur de colmatage permet de suivre l'encrassement du filtre; il peut commander une alarme lumineuse ou sonore.

La filtration est plus fine que celle donnée par la crépine : 80 à 100 microns. Il est nécessaire de largement dimensionner le filtre pour avoir une perte de charge aussi faible que possible. Cependant, la partie haute pression du circuit n'est pas protégée contre les particules métalliques provenant de l'usure de la pompe.

### **Sur la haute pression**

Le filtre est placé après le refoulement de la pompe.

Il est possible d'avoir une filtration très fine : 10 microns, et même 3—5 microns pour les circuits à servo-valves ( dans ce cas le filtre peut être monté sur la branche qui alimente celles-ci ). Cette protection impose des appareils très solides.



### **Filtres à débit total**

Ils épurent la totalité du débit.

Ces filtres sont équipés d'un clapet anti-retour monté en parallèle et taré à 1 ou 1,5 bar.

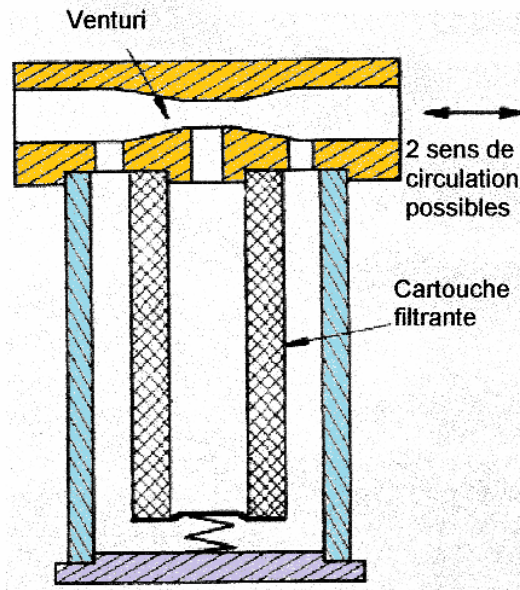
On utilise souvent ces filtres avec indicateur de colmatage

### **Filtres à débit proportionnel**

Le débit filtré est environ 10% du débit total.

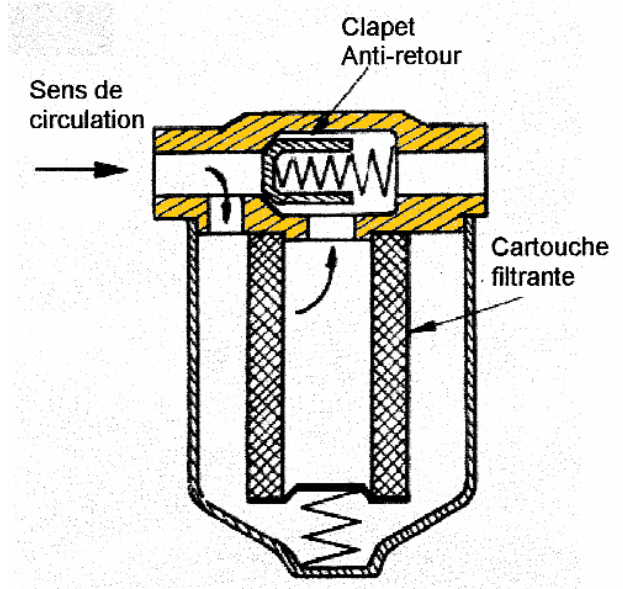
Ce filtre comporte un venturi, placé sur le circuit, qui provoque une pression différentielle entre deux points et établit un débit au travers du filtre.

Ces filtres peuvent être traversés dans les deux sens, et ils peuvent travailler en circuit fermé.



## Sur le retour

La totalité des retours est filtrée, ce qui permet le nettoyage de l'huile.  
La filtration est souvent de 25-30 microns, mais peut descendre à 10 microns.  
Le débit du filtre correspond ~ deux ou trois fois le débit de la pompe.  
La perte de charge normale est de 0,25-0,5 bar.



Le filtre doit être équipé d'un clapet anti-retour et d'un indicateur de colmatage.

Ce filtre peut être monté sur la tuyauterie de retour à la partie supérieure du réservoir, la cartouche étant alors immergée.

C'est le système d'épuration le plus courant, le plus efficace et le moins cher.

Cependant la protection des appareils contre les impuretés contenues dans le bac ou produites par la pompe n'est pas assurée.

C'est pourquoi il faut au minimum un filtre sur l'aspiration et un autre sur le retour.

## Compléments

### Épuration magnétique

On complète parfois l'action des filtres par une épuration magnétique :

- aimants montés sur un bouchon ou en bout d'une tige;
- anneaux placés autour de la crépine ou à l'intérieur de celle-ci.

### Filtre sur le reniflard

Il s'agit d'un filtre papier de 30 à 40 microns.

Si l'ambiance est très polluée : utiliser un filtre à bain d'huile ou en papier plissé.



## Filtre sur le remplissage

L'huile fournie par les pétroliers n'a pas toujours le degré de pureté nécessaire à une utilisation hydraulique.

Avant remplissage, il faudrait la filtrer à 25-30 microns, pour les utilisations sans servo-valve, mais l'écoulement libre au travers d'un filtre aussi fin est assez long.

Aussi, il est préférable de procéder suivant le mode suivant.

On forcera l'huile à circuler au travers d'un filtre de 25-30 microns

- soit avec une pompe à main,
- soit au moyen d'un groupe moto-pompe mobile qui puise l'huile dans le bidon et la transvase dans le réservoir.

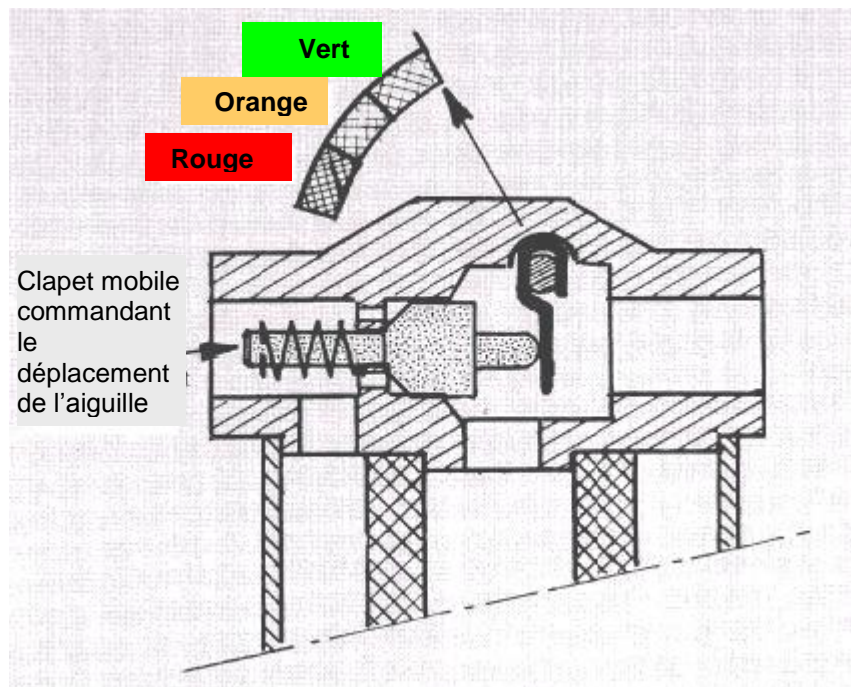
Il s'agit d'une pompe à engrenages ou à palettes.

Le groupe moto-pompe et le réservoir peuvent être équipés de prises rapides.

Bien entendu, pour les systèmes avec servo-valves il faut acheter une huile correctement filtrée par le pétrolier.

## Détection de l'encrassement

### Par indicateur de colmatage

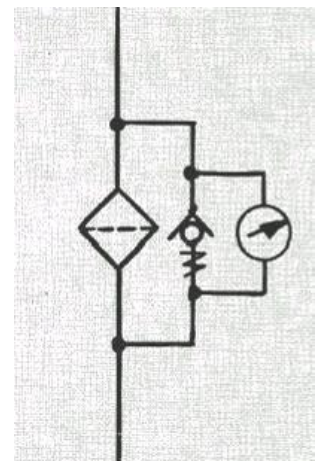


La pression nécessaire pour traverser le filtre augmente au fur et à mesure de l'encrassement de celui-ci. On mesure cette augmentation de pression en contrôlant le déplacement d'un clapet, et en le matérialisant par un index à l'extérieur du filtre. Lorsque la chute de pression est importante, le filtre est court-circuité et le plein débit passe au travers du clapet anti-retour. L'indicateur de colmatage peut alors commander une alarme.

### Par manomètre différentiel

Il donne la valeur de la différence de pression en direct.

Il peut être équipé de 3 zones, vert, orange et rouge, pour simplifier la lecture.



## Pompes hydrauliques

Les différents types de pompes que l'on rencontre en hydraulique sont les suivants :

- Pompes centrifuges
  - ✓ Pompes centrifuges radiales
  - ✓ Pompes centrifuges axiales
- Pompes volumétriques
  - ✓ Pompes à engrenages
  - ✓ Pompes à vis
  - ✓ Pompes à palettes
  - ✓ Pompes à pistons
    - pompes à pistons en ligne
    - pompes à pistons radiaux
      - et bloc cylindre fixe
      - et bloc cylindre tournant
      - à cylindrée variable
    - pompes à pistons axiaux :
      - et barillet incliné
      - à plateau incliné et barillet fixe
      - à plateau incliné et barillet tournant
      - à cylindrée variable et barillet inclinable
      - à cylindrée variable et plateau inclinable

Les plus courantes

Voir la présentation des Pompes dans les pages précédentes

## Accumulateurs

### Fonction

C'est une capacité qui maintient en réserve un certain volume d'huile à une pression donnée. L'accumulateur restitue l'huile qu'il contient pour maintenir la pression du circuit, dès que celle-ci tombe en dessous de la pression de l'accumulateur.

Il existe toute une gamme d'appareils de 0,2 litre à 200 litres.

La plupart sont des accumulateurs au gaz, en raison de la très grande compressibilité de ceux-ci.

C'est une application de la loi de Mariotte :  $PV = \text{Constante}$  (à température constante).

Leur utilisation :

- ✓ la restitution énergie ( très souvent ) ;
- ✓ la compensation des fuites ;
- ✓ la compensation des variations de volume dues a une variation de température ;
- ✓ l'amortissement des pulsations d'une pompe;
- ✓ l'amortissement des coups de bélier, et us sont montés en ligne dans la zone où ils prennent naissance ;
- ✓ la transmission de pression entre deux fluides différents (accumulateur utilisé en transfert ).

### Différents types

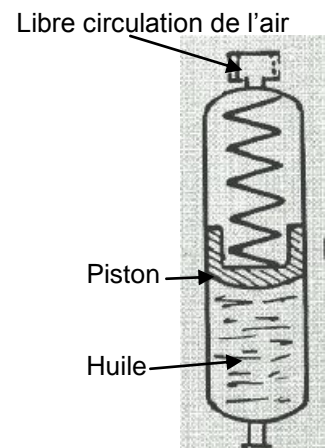
#### Accumulateur à contrepoids

Il peut être comparé à un vérin qui soulèverait un très gros poids.

Il est peu utilisé sauf dans quelques cas particuliers.

#### Accumulateur à ressort

Il peut être comparé à un vérin sans tige dont le piston serait constamment repoussé par un ressort.



L'énergie est restituée par la détente du ressort.

Ces accumulateurs ne sont valables que si la pression et le volume sont peu importants.

Un inconvénient : en phase de restitution, la pression évolue continuellement selon le remplissage et la compression du ressort.

### **Accumulateurs à gaz**

Ce sont les plus courants : un gaz comprimé communique sa pression à l'huile.

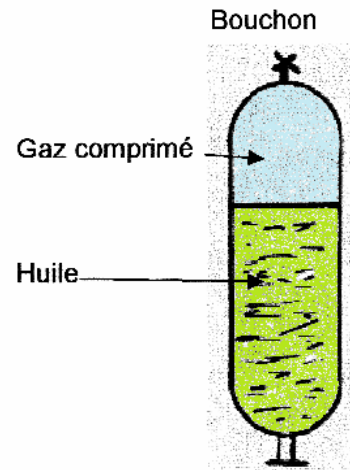
Les accumulateurs à fluides communicants

Ces accumulateurs sont très simples.

Mais ils ne peuvent être utilisés qu'en position verticale, gaz en haut.

Le volume utilisé doit être limité aux 2/3 du volume total car le gaz finit par se dissoudre dans le liquide ce qui modifie le tarage.

Ces accumulateurs ne sont utilisés que s'il y a de brusques variations de pression.

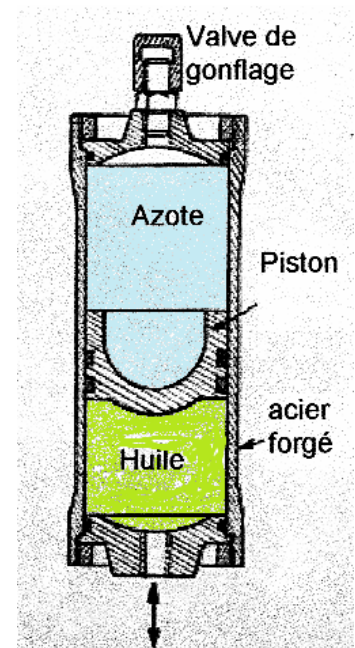


### **Accumulateurs à fluides séparés**

#### Accumulateurs à piston

Le piston permet la séparation des fluides, le gaz comprimé assurant la restitution de l'énergie.

Ces accumulateurs ont une meilleure stabilité que les accumulateurs à fluides communicants ; cependant leur réserve d'énergie est limitée.



#### Accumulateurs à vessie

Une vessie très légèrement conique est logée dans une bouteille en acier. De ce fait, l'huile enveloppe presque complètement la vessie. Un clapet mobile, solidaire de la bouteille, protège la vessie.

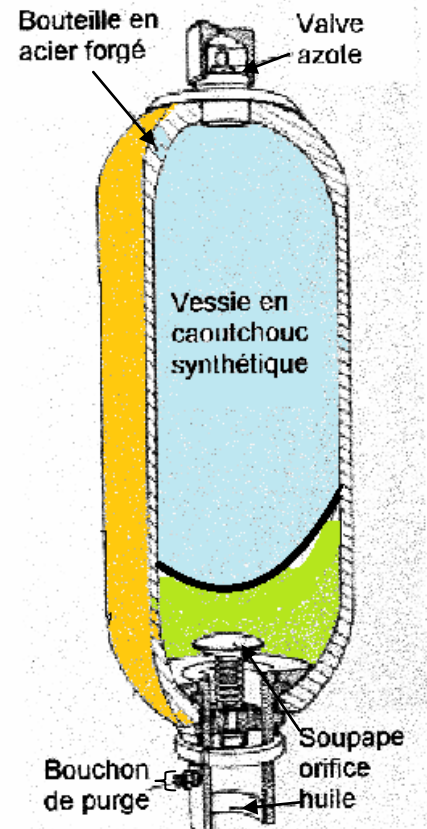
Ces accumulateurs présentent de nombreux avantages

- ✓ les deux fluides sont bien séparés ;



- ✓ le rendement volumétrique est maximal ;
- ✓ la surface d'échange est maximale pour un volume donné, ce qui confère une réponse très rapide; le rapport poids/volume est très bon.

A la limite, on peut les incliner jusqu'à l'horizontale mais pas en dessous.

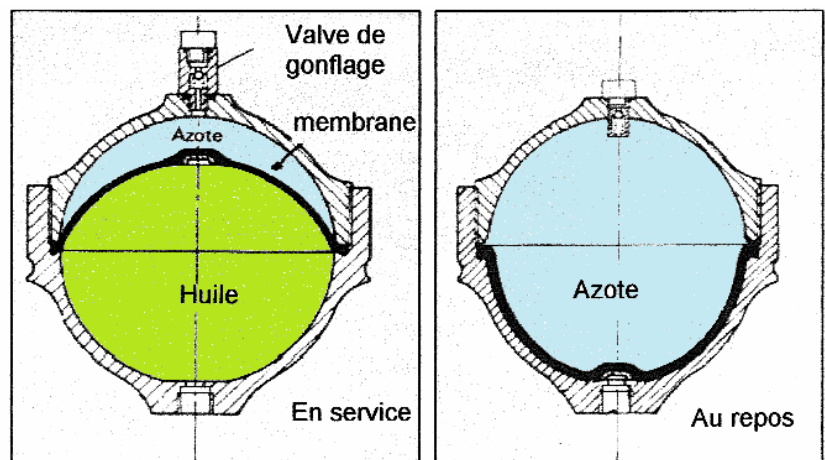


### Accumulateurs à membrane

Ces accumulateurs sont généralement sphériques, une membrane assurant la séparation des fluides. Un bouton solidaire de la membrane protège celle-ci contre toute destruction par extrusion au travers de l'orifice de vidange. Celle-ci peut être très rapide et totale.

Avantages de ces accumulateurs :

- très bon rapport poids/volume ;
- légèreté ;
- ils fonctionnent dans toutes les positions;
- prix compétitif.



## Organes de liaisons

### **Tuyauteries rigides**

Selon la gamme de pression, on rencontre :

- en moyenne et en haute pression  
des tuyauteries en tube acier étiré à froid pour les huiles minérales, ou en acier inoxydable pour les fluides synthétiques.
- en basse pression  
des tuyauteries en cuivre, aluminium et ses alliages, et parfois en rilsan pour la très basse pression ; le matériau doit être compatible avec le fluide utilisé.

Le plus utilisé est le tube hydraulique en acier étiré à froid, sans soudure, blanc d'étirage. Il possède un excellent état de surface.

## Flexibles

Un flexible est constitué :

- d'un fourreau intérieur en caoutchouc synthétique résistant aux hydrocarbures et assurant l'étanchéité ;
- d'une ou plusieurs tresses textiles ( basse pression ) ou tresses de fils d'acier ( moyenne et haute pression ) qui lui donnent sa résistance à la pression ;
- d'un enrobage en caoutchouc synthétique qui le protège des agents extérieurs. Parfois une tresse coton imprégnée de caoutchouc protège le tout.

Il est déterminé par :

Le débit, donc son diamètre intérieur

Le diamètre intérieur est parfois remplacé par le module.

Le module correspond au diamètre intérieur exprimé en 1/16 de pouce.

Par exemple le module 8 ( soit 8/16 de pouce ) correspond à un diamètre de 12,7 mm ( soit 1/2 pouce, ou 8/16 ).

Sa gamme de pression

- Basse pression : une ou plusieurs tresses textiles
- Moyenne pression : une tresse métallique et une ou plusieurs tresses textiles
- Haute pression : deux tresses métalliques et une ou plusieurs tresses textiles
- Très haute pression : quatre tresses métalliques plusieurs tresses textiles

Les flexibles sont choisis avec un coefficient de sécurité de 4 à 6, la pression d'éclatement considérée étant celle du flexible équipé de ses embouts.

La nature du fluide et la température

C'est ce qui permet de déterminer la nature du fourreau intérieur.

Le type d'exploitation

Pour déterminer la nature de l'enrobage.

Les embouts qui y seront montés

Et qui dépendent des orifices de raccordement existants sur les appareils à relier.

## Embouts

Les embouts sont à visser ou à sertir sur le flexible.

Ils doivent porter une ou deux parties tournantes afin de permettre le démontage.

On utilise parfois des coupleurs rapides, lorsque les démontages sont fréquents. Ces coupleurs sont en deux parties : une partie mâle et une partie femelle qui porte un verrouillage à billes, libéré par une douille coulissante extérieure ( pour accoupler ou désaccoupler les deux pièces ).

Les coupleurs rapides supportent 250 bars, et certains jusqu'à 350 bars

## Raccords

Ils assurent une liaison démontable entre la tuyauterie et l'appareil. L'étanchéité est réalisée en deux points :

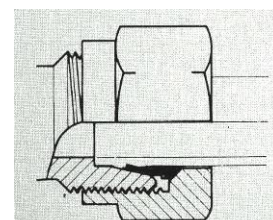
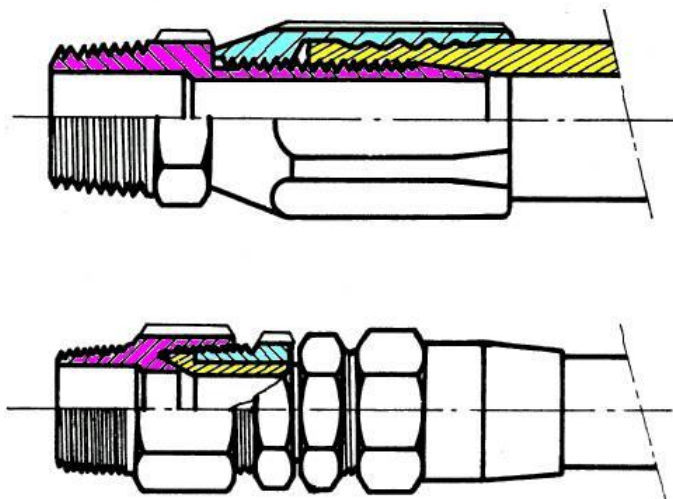
- entre la tuyauterie et le raccord au moyen d'une bague sertie ou d'un cône préformé sur le tube ;
- entre le filetage du raccord et l'appareil sur lequel il est monté par un joint, ou simplement par la forme du filet.

Cette étanchéité reste bonne jusqu'à 300 - 400 bars.

### **Raccords à bague sertie**

Ce type de raccord se compose de trois pièces :

- le corps qui est fixé sur l'appareil ;



- une bague à sertir, bi-conique, portant une lèvre dure et coupante ;
- un écrou de blocage qui se visse sur le corps.

Lors du serrage, la bague prise entre les deux cônes se déforme et s'incruste dans le tube, assurant ainsi l'étanchéité.

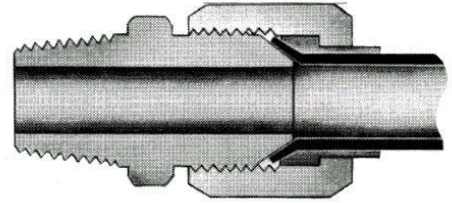
Elle n'est donc pas démontable après sertissage.

### **Raccords à évasement**

L'extrémité du tube est évasée et serrée entre deux cônes mâle et femelle, portés généralement par le corps du raccord et l'écrou.

Le tube est souvent guidé par l'écrou ou une manchette, ce qui assure une bonne tenue du cône.

Ce montage est étanche à la pression d'éclatement du tube.



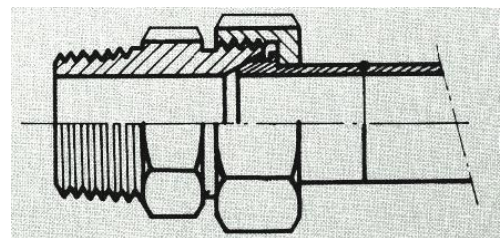
### **Raccords avec embout à souder**

Il s'agit de raccords trois pièces possédant un embout à souder sur le tube.

L'étanchéité est assurée par les portées coniques de l'embout et du tube.

Elle est généralement excellente, la soudure permettant de plus une étanchéité totale.

On peut tenir des pressions de 500, voire 600 bars.



### **Filetages**

Les extrémités des raccords sont terminées par un filetage que l'on visse dans l'appareil.

On rencontre deux types de filetages :

- les filetages cylindriques : ISO, Whitworth cylindrique ( gaz cylindrique )
- les filetages coniques : Whitworth conique ( gaz conique ) et Briggs.

Pour le Gaz conique et le Briggs, l'étanchéité n'est pas toujours totale .

On peut l'améliorer :

- en enroulant un ruban téflon sur les filets de la pièce male en prenant soin de laisser entièrement libres les premiers millimètres du filetage ( pour éviter de cisailer le ruban lors du montage et d'envoyer des morceaux dans la tuyauterie )
- en plaçant, entre les pièces à étancher, une résine de type Loctite que l'on laissera sécher avant de monter en pression.

### **Raccordements par brides**

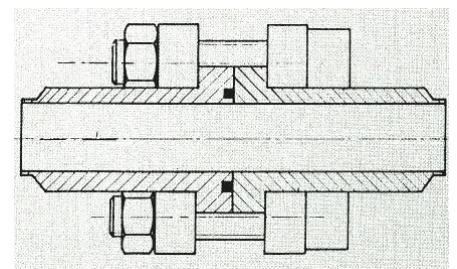
On utilise des raccordements par brides lorsque la pression devient élevée ou le débit important.

Un embout portant une bride mobile est soudé sur le tube.

Cet embout peut être serré contre un autre embout ou sur une embase.

L'étanchéité est assurée par un joint torique, ou un quadring, logé dans l'un des embouts ou dans la plaque de base.

Ces montages à brides existent pour des raccordements en ligne, en té, en équerre, etc.



## Clapets anti-retour

### Rôle

Assurer le passage du liquide dans un sens et l'interdire dans l'autre.

A noter que le sens de l'écoulement est généralement indiqué par une flèche gravée dans le corps de l'appareil.

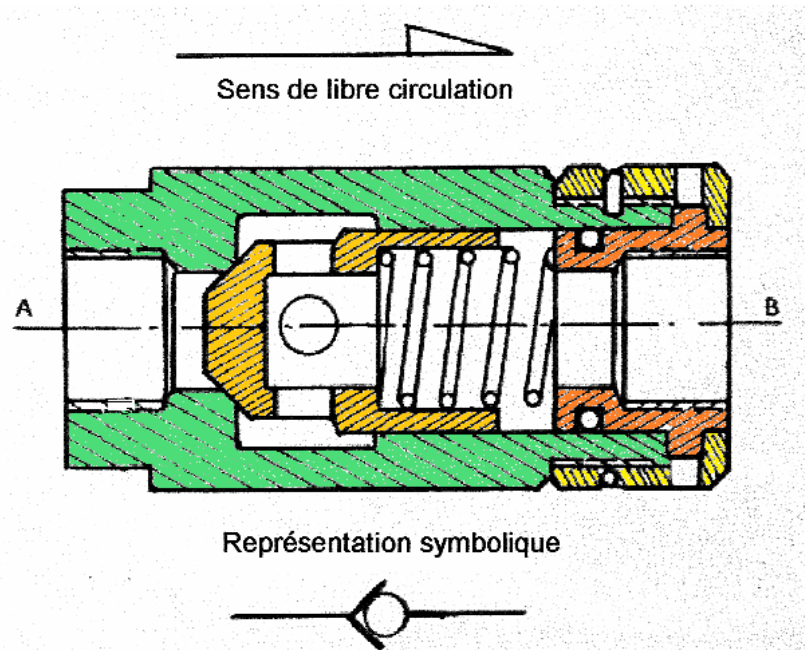
### Constitution

Une bille ou un clapet est poussé par un ressort sur un siège.

Dans le sens A vers B la pression pousse le clapet ou la bille et le fluide peut circuler.

Dans l'autre sens la pression pousse sur le clapet avec la pression et assure l'étanchéité.

Le tarage du ressort est généralement faible ; il est parfois réglable.



### Différents types

#### *Clapet anti-retour simple*

##### Passage du liquide

La pression agissant sur le clapet provoque le recul de celui-ci permettant le passage du fluide. Le ressort de rappel se comprime.

##### Interdiction de passage du liquide

Lorsque la pression en amont chute, Le clapet se ferme sous l'action du ressort de rappel et de la pression aval interdisant toute circulation du liquide.

#### *Clapet anti-retour à ralentisseur*

De conception ou réalisation identique au clapet anti-retour simple, ce type de clapet a la particularité d'être équipé d'une chambre de freinage.

Sous la poussée du fluide, il y a ouverture du clapet. Le clapet permet alors l'écoulement du fluide vers l'utilisation. Dès que la circulation cesse, le clapet se ferme sous l'effet de son ressort de rappel et le liquide prisonnier dans la chambre s'évacue lentement par l'orifice calibré, évitant ainsi une fermeture brutale du clapet et sa détérioration.

La chambre de freinage joue le rôle d'amortisseur ou ralentisseur à la fermeture du clapet.

Ce système permet d'éviter les détériorations du clapet ( usure, déformations des portées ) ainsi que les vibrations dues à sa fermeture brutale.

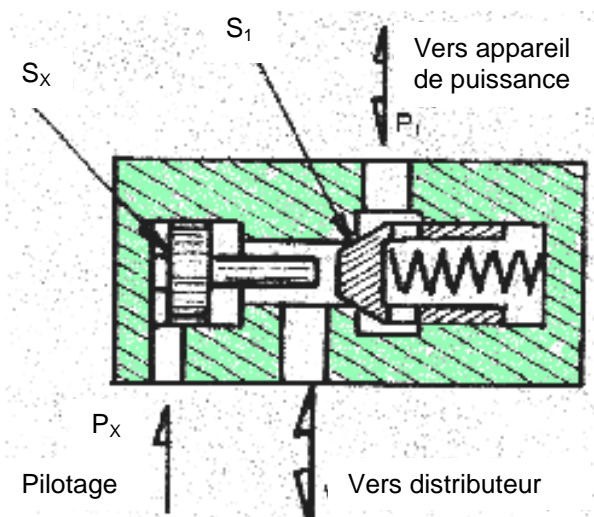


## Clapet anti-retour piloté

Pour obtenir l'ouverture du clapet, on alimente, par une pression pilote, un piston pilote qui soulève le clapet principal.

La pression de pilotage est prélevée généralement sur l'autre branche du vérin mais elle peut aussi provenir d'un circuit extérieur.

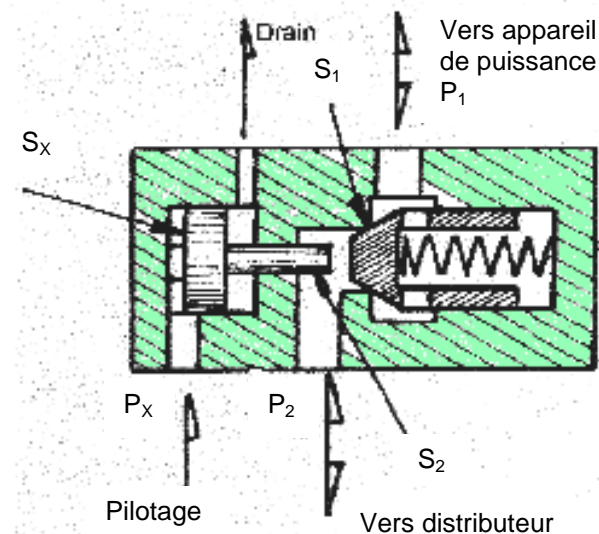
Pour que la fermeture du clapet principal soit totale et sûre il ne faut aucune contre-pression aval. Le distributeur doit alors être à centre ouvert ou partiellement ouvert (A, B et R en communication)



## Clapet anti-retour piloté avec drain externe

Le pilotage du clapet est isolé du circuit de puissance. Seule la tige du piston pilote est dans le fluide de retour.

Le clapet anti-retour peut donc être monté directement sur le vérin et le limiteur de débit placé en aval.



## Clapet anti-retour piloté avec clapet de décompression

Pour éviter de casser brutalement la pression et provoquer une onde de choc dangereuse, l'ouverture se fait en deux temps :

- léger débit de décompression ;
- puis, lorsque la pression pilote est suffisante, on ouvre en totalité le clapet.

Il y a donc deux valeurs de pression pilote.

## Bloc de clapets anti-retour doubles

Pour bloquer un vérin double effet en position, il faut deux clapets anti-retour qui s'auto pilotent. Les constructeurs fournissent des blocs de clapets anti-retour doubles qui peuvent se monter en sortie de distributeur.

En fonctionnement, le piston central reçoit la pression régnant dans l'une des branches et se déplace alors, provoquant l'ouverture du clapet de décompression puis celle du clapet principal.

Dès que le distributeur revient en position centrale ( centre ouvert ou partiellement ouvert ) les deux clapets poussés par la pression et les ressorts reviennent sur leurs sièges respectifs. Le piston pilote qui commande l'ouverture assure également la séparation des circuits.

### Distributeurs

Les distributeurs sont des appareils qui permettent de diriger le liquide hydraulique sous pression vers les récepteurs et d'assurer le retour vers un réservoir. Ceci en fonction d'un ordre "pilote" ou d'un système automatique.

#### Différentes constructions

##### A tiroir

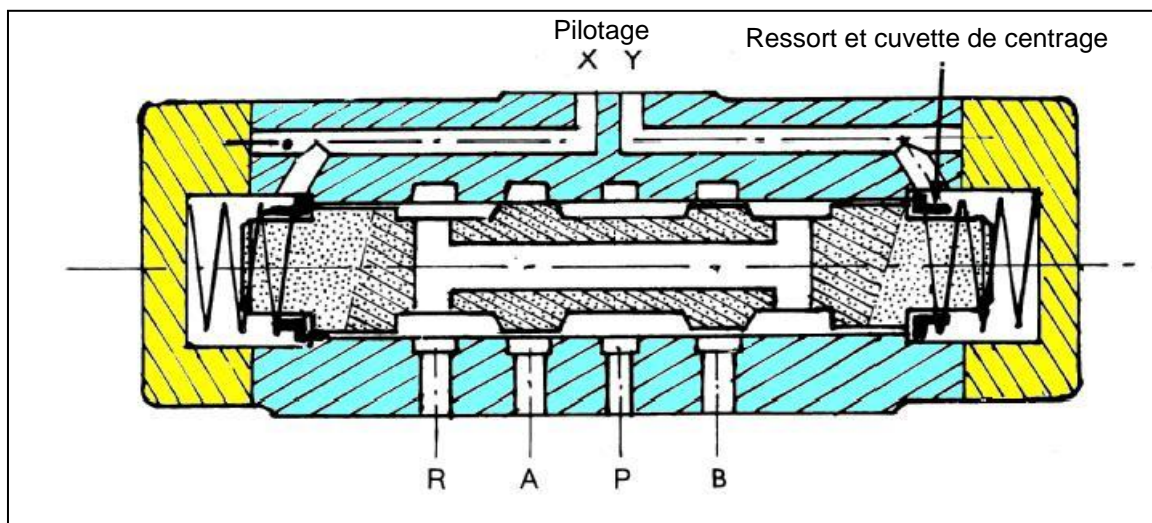
Les distributeurs à tiroir sont les plus simples et les plus employés. Ils ont l'inconvénient de ne pas être étanches. Par contre, l'effort de manœuvre est assez faible, surtout s'il existe un dispositif d'équilibrage ou de mise à l'air libre.

Ces types de distributeurs peuvent être à voies multiples.

Composés d'une tige munie de plusieurs pistons qui se meuvent dans une chambre annulaire, ces pistons permettent la communication avec l'utilisation et le retour du fluide à la bâche.

Les orifices ont reçu une désignation :

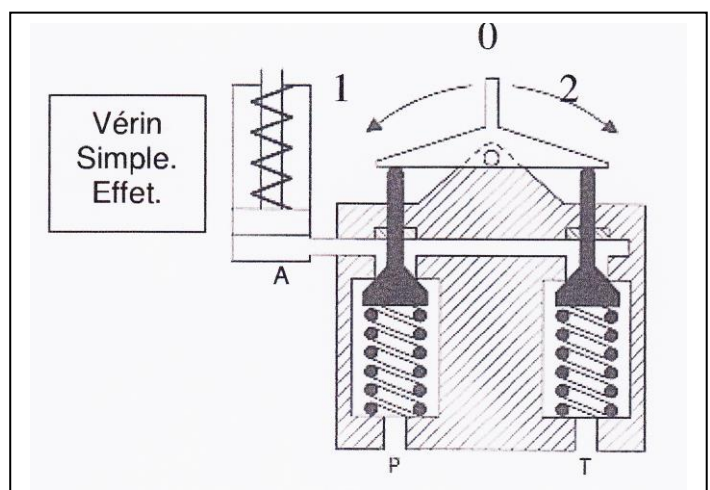
- P pour l'orifice pression
- A et B pour les orifices utilisation
- R ou T pour le retour au réservoir
- X ou Y pour les orifices de pilotage



##### A clapets

Les distributeurs à clapets sont de conception facile et ont la particularité d'être des distributeurs relativement étanches.

Par contre, ils demandent un effort de manœuvre plus important



## A boisseau ou à glace

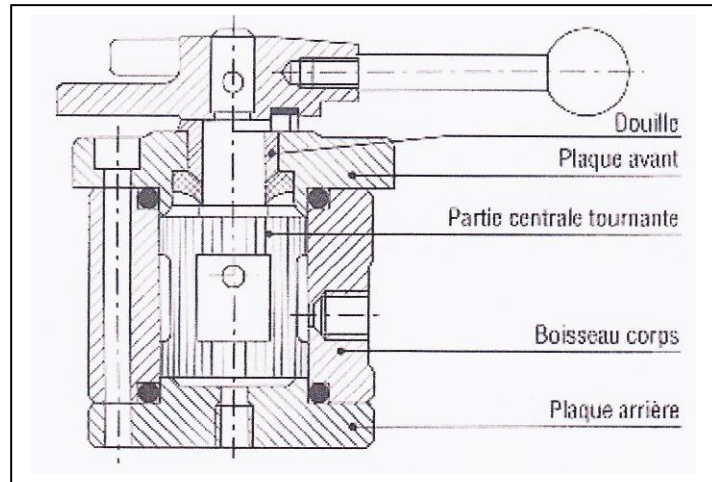
Ce sont généralement des distributeurs à commande manuelle conçus pour des débits faibles ou moyens ( 70 l /mn ).

Susceptibles de supporter de très fortes pressions, ils ont l'avantage de permettre une commande progressive et sont rotatifs.

### Distributeurs à boisseau

Un boisseau muni de passages assure la mise en communication des différents orifices P, A, B et R.

Ces distributeurs peuvent prendre deux ou trois positions. L'arrêt en position est obtenu par un verrou à bille.



### Distributeurs à glace

Une glace munie de lumières tourne sur une plaque et assure la mise en communication des différents orifices P, A, B et R.

La poussée hydraulique qui s'exerce sur la glace est quelquefois reprise par une butée à billes ce qui permet une manœuvre manuelle plus aisée.

Ces distributeurs peuvent prendre deux ou trois positions maintenues par un verrou à bille.

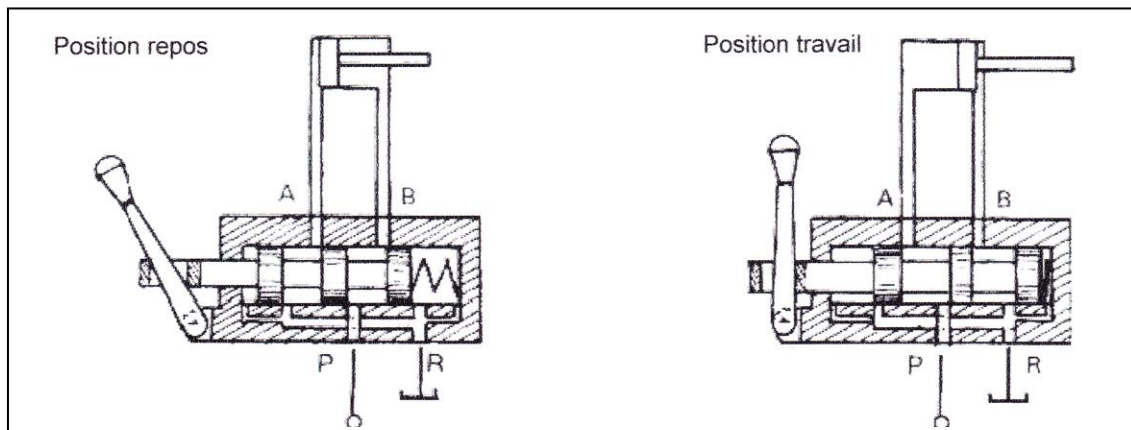
## Caractéristiques

### **Nombre de voies**

Le nombre de voies caractérise le nombre de chemins de circulation du fluide.

Sur le schéma ci-après, le fluide sous pression va de P en A, et de la chambre en cours de purge à l'avant du vérin, le fluide va de B en R, ce qui signifie que ce distributeur a 2 voies en position de travail. Lorsqu'un opérateur agit sur la commande manuelle, il déplace le tiroir, ce qui inverse la distribution. Alors le fluide au repos sous pression circule de P en B et, dans la chambre en cours de purge, il circule de A en R. Il y a donc 2 chemins de circulation en position de Repos, soit en tout 4 voies. Il s'agit donc d'un distributeur à 4 voies.

Les distributeurs hydrauliques sont généralement prévus d'origine à 4 voies. La modification en distributeur à 2 voies s'effectue en obstruant l'un des orifices A ou B selon la fonction recherchée



### **Nombre de positions**

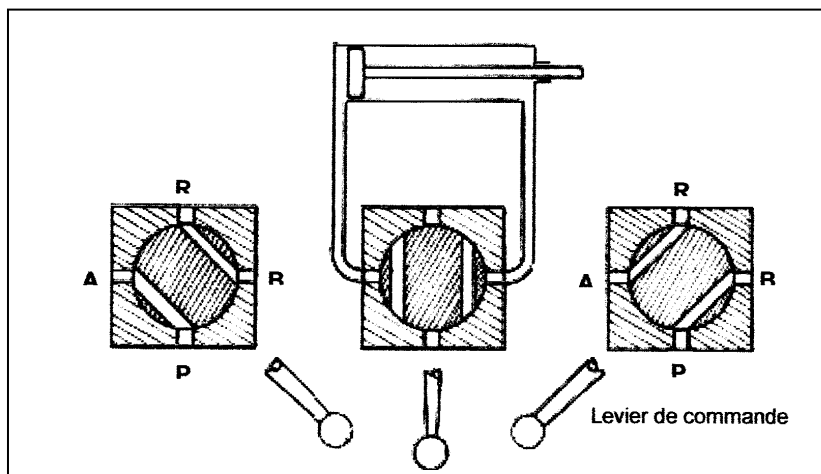
Dans la représentation symbolique, chaque position est matérialisée par une case.

Le schéma ci-dessus représente un distributeur à deux positions : une position de travail obtenue dans ce cas à partir d'une commande manuelle, et une position repos assurée par un ressort de rappel.

Mais les distributeurs hydrauliques sont souvent à trois positions : deux positions travail et une position repos, comme le montre le schéma ci-après.

- ✓ Première position : travail, sortie de tige de vérin.
- ✓ Deuxième position : en position centrale tous les orifices sont obstrués.
- ✓ Troisième position : travail, rentrée de tige de vérin.

Donc trois positions matérialisées par trois cases dans lesquelles les flèches indiquent à chaque fois le sens de circulation du fluide.



### Mode de commande

#### Commande Directe

##### ▪ Commande Manuelle

De conception généralement simple, ces distributeurs sont très fiables. N'étant pas tributaires d'une énergie extérieure, ils sont particulièrement utilisés dans les circuits de secours.

La commande est à proximité du distributeur afin de limiter la tringlerie.

Le levier de commande peut être :

- .- monostable avec une position stable : un ressort assure le retour au repos dès que cesse la commande,
- .- bistable, à deux positions stables : pas de ressort mais un crantage avec bille maintient le tiroir en position.

##### ▪ Commande Mécanique par Galet : elle est généralement monostable.

##### ▪ Commande par Fluide hydraulique ou pneumatique

##### ▪ Commande Electrique

La fiabilité des systèmes hydrauliques autorise une certaine automaticité.

Un ou deux solénoïdes provoquent mécaniquement le déplacement du tiroir.

Ces appareils ne vont généralement pas au-delà de 3/8 ".

Le risque de pannes est plus important.

### Commande par Distributeur Pilote

Au-delà de 40 l /mn, on utilise la pression de l'huile pour provoquer le déplacement du tiroir de puissance.

Un distributeur pilote commande le distributeur de puissance, ce qui fait qu'il n'y a plus de limite pour le dimensionnement.

Le distributeur pilote possède autant de positions que le distributeur de puissance qu'il commande.

Le fluide de pilotage est souvent prélevé sur le réseau. Toutefois, quand la pression de travail est supérieure à 150 - 175 bars on préfère utiliser un circuit de pilotage à basse pression : 10 à 30 bars.



## Différents types de centres

### Généralités

C'est seulement le tiroir qui différencie chacun des types de centres en fonction des communications qu'il autorise.

Le corps porte généralement cinq gorges :

- ✓ une gorge pression  $P_1$
- ✓ deux gorges utilisation A et B,
- ✓ deux gorges retour au réservoir.

Les deux gorges correspondant au retour au réservoir sont reliées entre elles, soit :

- par un canal existant dans la fonderie du corps ( tiroirs à 2 ou 3 parties ) ;
- par un canal percé au travers du tiroir ( tiroirs à 4 portées ).

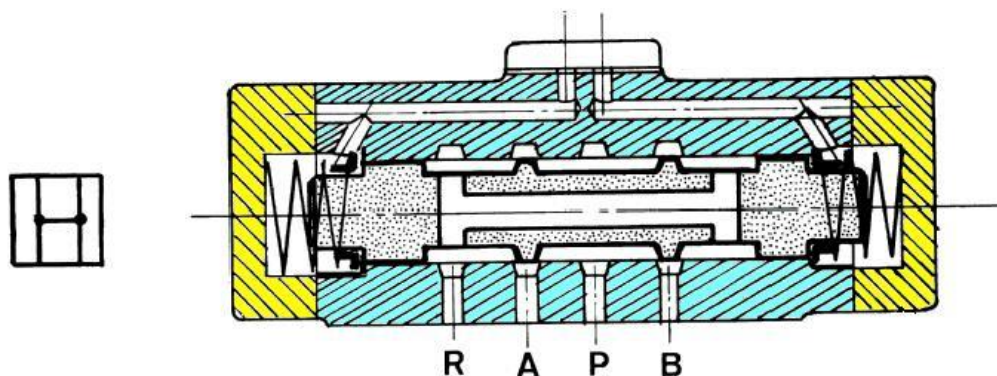
Les différents types de centres sont obtenus en modifiant la largeur et la position des portées sur le tiroir.

### Centre ouvert

Avec le réservoir tous les orifices sont en communication, et les épaulements du tiroir ne recouvrent pas les gorges du corps.

Ce type de centre :

- ✓ est utilisé lorsque les organes moteurs, tels que vérins ou moteurs hydrauliques, doivent être libres au repos;
- ✓ permet la décharge de la pompe au repos.

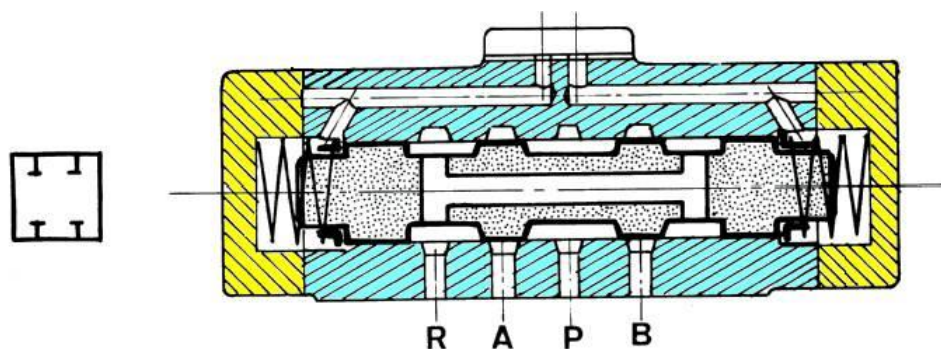


Par exemple, un électro-distributeur qui en position neutre et en l'absence d'ordre électrique interdit le verrouillage hydraulique et de plus met les chambres du récepteur en communication avec le retour est dit « électro-distributeur à centre ouvert ».

### Centre fermé

Les orifices sont fermés, les épaulements du tiroir recouvrant les gorges du corps, et la pompe débite alors sur une autre partie du circuit.

Les appareils moteurs peuvent être freinés et stoppés en cours de course ou de rotation.



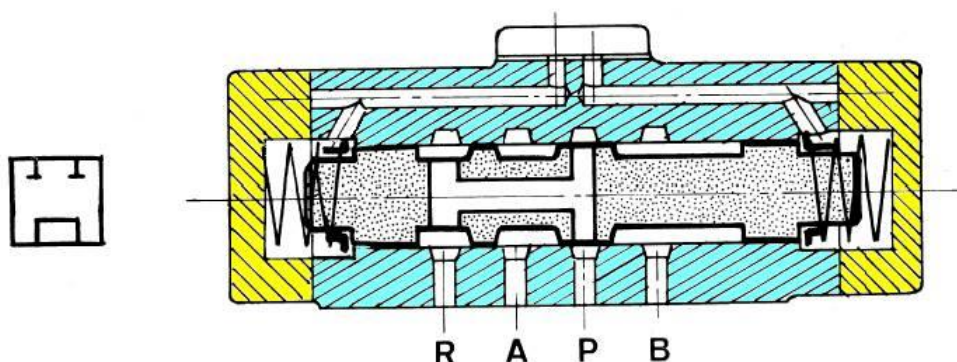
Par exemple un électro-distributeur qui en position neutre et en l'absence d'ordre électrique permet le verrouillage hydraulique est dit « électro-distributeur à centre fermé ».

Notons toutefois que l'on ne doit pas compter sur le seul distributeur pour immobiliser longtemps une charge.

### Centre tandem

Dans ce cas, l'orifice pression P est relié au réservoir et les deux orifices utilisation A et B sont bloqués.

Le débit de la pompe retourne directement au réservoir alors que les appareils moteurs sont stoppés.



### Centre partiellement ouvert sur le réservoir

Les orifices A et B sont reliés au réservoir.

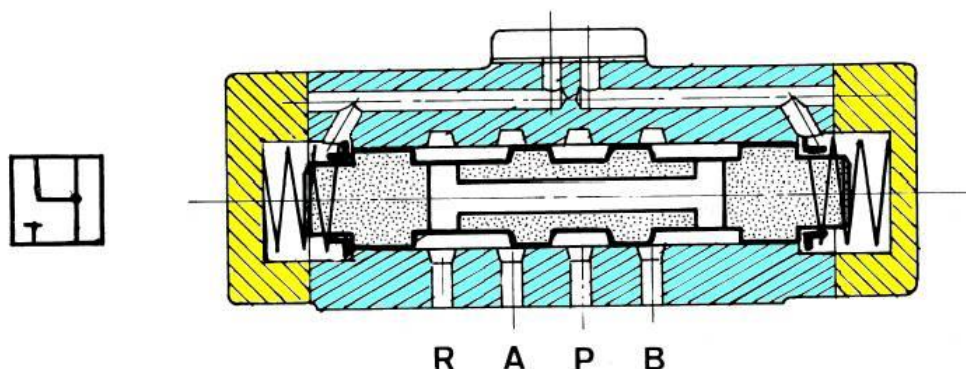
L'orifice pression P est bloqué.

Le débit de la pompe peut être utilisé sur une autre partie du circuit.

De ce fait, ce centre permet de décharger les deux branches utilisation.

On l'utilise dans les cas suivants :

- ✓ pour la commande de clapets anti-retour pilotés ;
- ✓ lorsque l'on veut décharger des appareils moteurs en conservant le débit de la pompe ;
- ✓ pour le pilotage de distributeurs de puissance à centrage par ressorts.



### Centre partiellement ouvert en pression

Le réservoir est isolé, et P, A, B sont en communication.

Ce centre est utilisé lorsque l'on veut garder A et B en pression, par exemple pour le pilotage des distributeurs de puissance à centrage hydraulique.

### Commande électrique

#### Electro-aimants

La commande à distance d'un distributeur demande parfois un système de liaison compliqué, alors qu'il est possible de l'actionner par un moyen électromagnétique.

Ainsi la commande se réduit à une simple liaison électrique. L'effort de commande devient inexistant, et l'automatisme de certains fonctionnements est totale.

L'électroaimant est constitué d'un solénoïde et d'un noyau de fer doux. Il est alimenté par une tension de commande qui crée une force électromagnétique commandant l'ouverture ou la fermeture d'un orifice d'alimentation.

#### ***Bobines alimentées en courant continu***

- Temps de réponse assez longs = 30 à 60 ms.
- Fonctionnement assez doux du fait de la croissance progressive de la force d'attraction.  
De ce fait, l'inversion de la distribution hydraulique se fait sans heurts et sans pointe de pression élevée.
- L'absence de pointe de courant, sa croissance progressive, apporte un atout supplémentaire sur le plan de la sécurité (freinage du tiroir dû à un grippage, ou blocage accidentel en cours de course : sans conséquence sur le plan électrique).
- Cadence d'inversion élevée : jusqu'à 12000 à 15000 inversions / heure, ou 4 par seconde.
- Mais le courant continu n'est pas distribué par le secteur.

#### ***Bobines alimentées en courant alternatif***

- Temps de réponse courts : 10 à 30 ms.
  - Une pointe de courant élevée à l'appel, avec risque grave que celle-ci se maintienne partiellement, si l'on n'a pas un déplacement rapide et total du noyau : dans ce cas, il y a échauffement de la bobine qui peut aller jusqu'à sa destruction.
  - Le déplacement très rapide du tiroir de distribution est générateur de coups de bélier.
  - Cadence d'inversion plus faible qu'en courant continu 7200 / heure ou 2 à la seconde.
  - Sous réserve de dimensionner correctement les câbles (2,5 ou 4 mm<sup>2</sup> selon la puissance à l'appel) les bobines admettent des écarts de tension de plus ou moins 5 à 10 % de la tension nominale.
- 
- Si l'on doit intervenir sur un appareil sous tension, la commande manuelle n'est possible que si la bobine est alimentée en courant continu. Avec l'alimentation en courant alternatif, on retrouve le même problème qu'à la mise sous tension : si la commande manuelle est maintenue il y a risque de destruction de la bobine par échauffement, à court terme.

#### ***Bobines équipées de diodes***

Certains constructeurs équipent leurs distributeurs de bobines à courant continu en courant alternatif au travers d'un redresseur constitué par un pont de diodes.

L'ensemble est invisible extérieurement, ce qui fait que si aucune indication n'est portée sur la plaque signalétique ce n'est pas décelable de l'extérieur.

Aussi, dans le cas où il y a doute, on est amené à faire deux mesures pour se prononcer.

Le contrôleur universel délivre (sur les ohms) un courant continu et celui-ci a bien sûr un sens de

circulation. Si la bobine porte des diodes et que celles-ci, de par leur montage, s'opposent à la circulation du courant, l'aiguille du contrôleur universel ne se déplacera pas, comme si la bobine était coupée.

Une deuxième mesure consiste à croiser les fiches pour inverser le sens de circulation du courant. Les diodes sont alors traversées dans le bon sens, et si la bobine est bonne on observe un déplacement de l'aiguille du contrôleur universel.

Si l'enroulement est coupé, aucun courant ne passe.

### **Bobines à bain d'huile**

En principe, les électro-aimants fonctionnent à sec.

L'étanchéité par joints toriques est assurée entre les parties hydraulique et électrique. La pression dans les retours est alors limitée à 5 bars.

Mais les électro-aimants peuvent aussi fonctionner dans l'huile.

L'huile, prélevée sur le circuit de retour, vient lubrifier et refroidir l'électro-aimant.

La pression admissible dans des carters est limitée De 10 à 30 bars, selon les constructeurs.

Cette lubrification apporte les avantages suivants :

- Bon refroidissement des bobines.
- Lubrification des pièces mobiles, ce qui accroît leur longévité.
- Rôle d'amortisseur, atténuant la brutalité des chocs entre le noyau et l'armature

### **Electrovalve**

C'est un distributeur simple effet qui permet la mise en pression d'un organe ou sa mise en retour. Elle peut être à « centre ouvert » ou à « centre fermé ».

L'électrovalve est constituée d'un corps et d'un tiroir sur lequel agit un poussoir de commande actionné par un solénoïde. Son retour au neutre est assuré par deux ressorts.

Trois orifices permettent :

- l'alimentation de l'organe,
- la distribution,
- le retour au réservoir.

### **Electro-distributeur ( ou distributeur piloté )**

Quand le débit est important le déplacement du tiroir ne peut plus être obtenu par une commande directe.

On utilise alors un distributeur pilote en 1/4" ou 3/8" pour commander le déplacement du tiroir de puissance.

### **Servo-valve**

La servo-valve est un distributeur électro-hydraulique qui délivre une pression en fonction d'un courant de commande de faible intensité. Elle permet d'obtenir des fonctionnements d'une grande précision, d'où une utilisation de plus en plus fréquente dans les circuits hydrauliques actuels.

L'ensemble comprend :

- Un étage électromagnétique qui reçoit les informations d'un boîtier électronique ou calculateur.
- Un étage hydraulique de distribution comprenant une palette qui règle la section de passage du fluide à la sortie d'un gicleur. Le raccordement au circuit est assuré par trois orifices :
  - l'alimentation de la servo-valve : P

- le retour bâche : R
- la distribution vers l'utilisation : A

En fonction de l'utilisation, les servo-valve sont à simple ou double effet.

### Vérins hydrauliques

#### Schéma de principe d'un vérin

Un vérin est composé :

- d'un corps muni d'une chape de fixation ;
- d'un piston et ses garnitures d'étanchéité ;
- d'une tige fixée au piston et munie à son extrémité d'une chape généralement réglable.

Dans la majorité des cas, le piston est solidaire de la tige d'un seul côté.

Il en résulte que la surface active côté tige ( s ) est plus petite que celle côté opposé ( S ).

Cette notion de surface active est très importante pour le calcul de la force développée par le vérin.

Surface active S = section totale du piston.

Surface active s = S – section de la tige ( st ).

#### Force développée par le vérin

Si la surface active du piston est S et la pression du liquide p, la force F développée sera donnée par la formule suivante :

$$F = p.S$$

Si la surface active du piston est s , la force développée sera donnée par la formule :

$F = p.s$ , soit  $F = p ( S - s_t )$  avec  $s_t$  = section tige.

#### Vitesse de défilement du vérin

Le débit d'alimentation du vérin est égal au quotient du volume par le temps

$$Q = \frac{V}{t}$$

Le volume est le produit de la surface par une longueur :  $V = S . L$ . Donc  $Q = \frac{S . L}{t}$

Nous remarquons que le rapport  $\frac{L}{t}$  est une vitesse v, d'où  $Q = S . v$

La vitesse de défilement du vérin est donc :

$$v = \frac{Q}{S}$$

## Puissance du vérin

La puissance est égale au quotient du travail  $W$  sur le temps  $t$  :

(1)

$$P = \frac{W}{t}$$

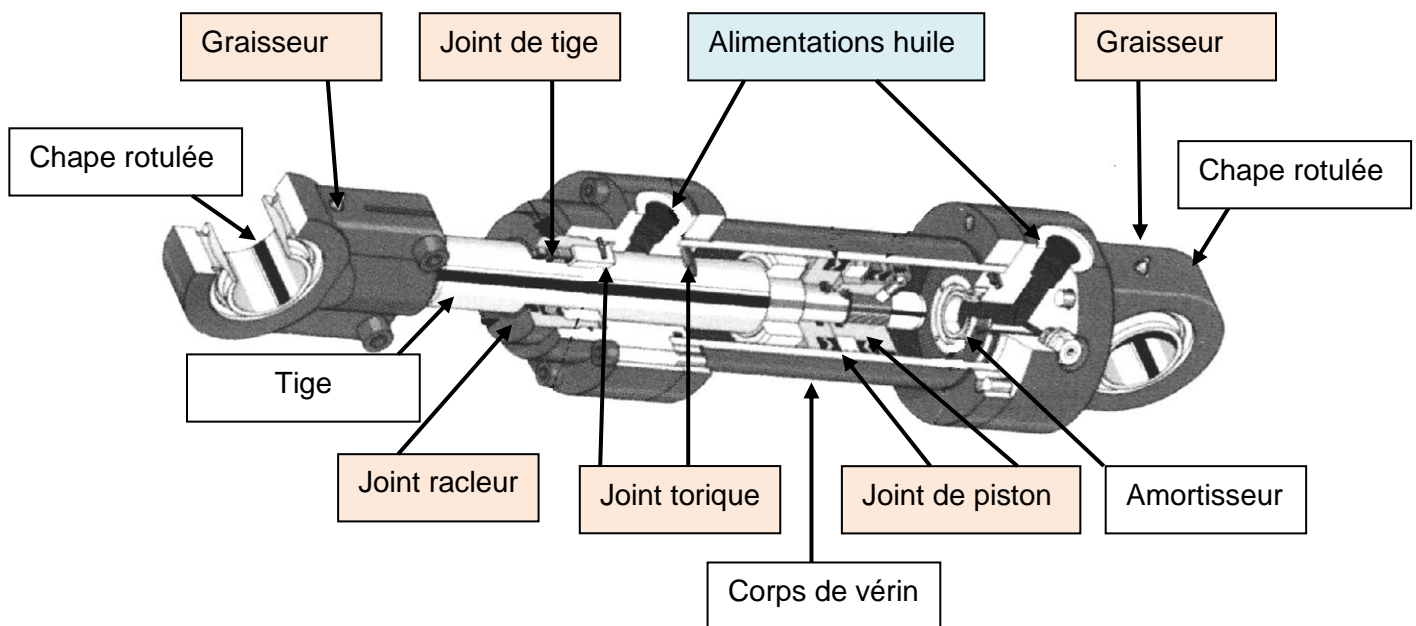
Le travail est le produit de la force  $F$  par la longueur du déplacement de la tige du vérin  $W = F \cdot L$

D'après la formule  $F = p \cdot s$  et l'égalité (1) on peut déduire :  $P = \frac{W}{t} = \frac{F \cdot L}{t} = \frac{p \cdot s \cdot L}{t}$

et comme  $\frac{s \cdot L}{t}$  correspond au débit nous obtenons :

$$P = p \cdot Q$$

## Constitution du vérin hydraulique



### Note :

- Veiller à avoir un très bon guidage de la partie entraînée, ou rechercher une liberté de débattement limitant ou supprimant toute contrainte radiale (chape, rotule...)
- Surveiller périodiquement le bon état de la tige et du racleur.

## Différents types

### Vérin simple effet

Le vérin simple effet n'est moteur que dans un seul sens, soit en tirant, soit en poussant. Le retour au repos se fait sous l'action de la charge ou par un ressort.

#### Vérin simple effet à piston et tige

Un piston, portant des joints, coulisse dans un cylindre.

Selon que le vérin travaille en tirant ou en poussant, l'arrivée de l'huile se fait sur l'une des culasses avant ou arrière.

L'autre chambre du vérin est en communication avec l'atmosphère au travers d'un filtre feutre ou d'une cartouche en bronze fritté.

Puisqu'il y a auto-nettoyage par l'air, les vérins simple effet à piston et tige ne demandent généralement que peu d'entretien.



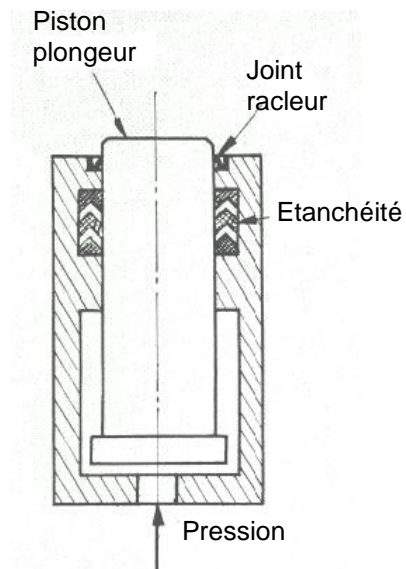
### Vérin simple effet à piston plongeur

Piston et tige sont généralement du même diamètre et ne forment qu'une seule pièce.

Le rappel en position de repos est assuré par le poids de l'ensemble ou par l'action de ressorts extérieurs.

La course est souvent courte, du fait que la tige est uniquement guidée par les portées et le presse-étoupe.

C'est le vérin le moins coûteux.



### Vérin télescopique

Dans un encombrement réduit, ce vérin permet d'obtenir une course importante.

Les vérins simple effet sont les plus courants, mais il existe cependant des vérins double effet.

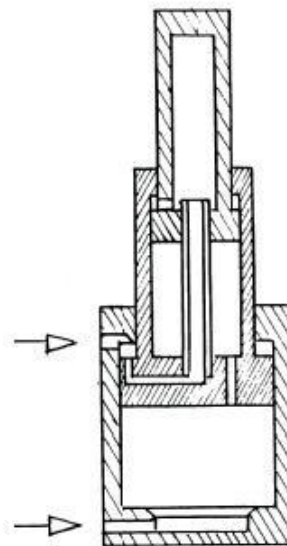
Plusieurs pistons s'emboîtent les uns dans les autres : 3, 4 ou 5.

Lorsqu'on commande la sortie de tige :

le plus gros diamètre sort le premier ;

quand il est arrivé en fin de course, c'est celui qui vient immédiatement en dessous ;

et ainsi de suite, jusqu'à la plus petite section.



On comprend donc que la vitesse de déplacement et la pression varient par paliers.

En rentrée de tige : c'est d'abord la plus petite section qui rentre la première et ainsi de suite.

### ***Vérin double effet***

Le liquide peut dans ce cas être admis dans l'une ou l'autre des chambres du vérin et ceci alternativement.

Quand l'une des chambres est mise en pression, l'autre est mise automatiquement au retour.

### Vérin double effet à piston et tige normale

Un piston, muni d'étanchéités, se déplace dans un cylindre.

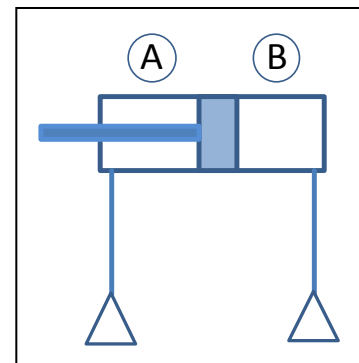
L'étanchéité de la tige de piston est assurée par des joints placés généralement dans une cartouche facilement démontable.

Avec le montage figuré ci-contre, compte-tenu de la différence entre les surfaces actives pour une même pression la force de rétraction sera moindre que la force d'extension. Il en est de même pour la vitesse de défilement de la tige.

Dans le cas où une même force et une vitesse sont exigées dans les deux sens de translation, on utilisera des vérins double effet à contre tige.

Dans ces cas les deux surfaces actives sont égales, le fonctionnement est plus régulier et la contre tige permet un meilleur guidage du piston.

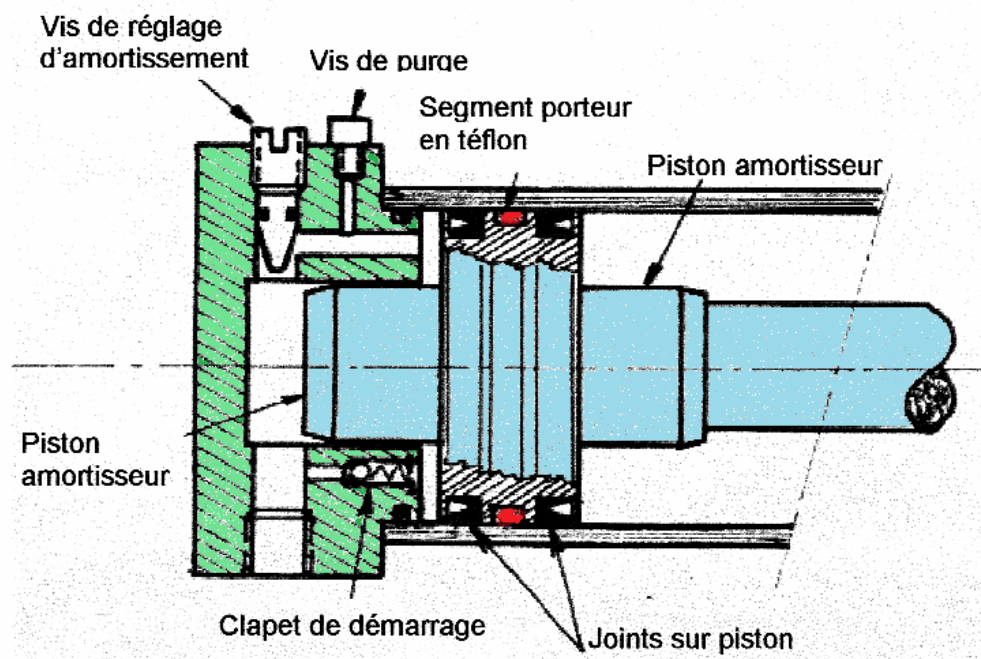
Néanmoins, ce type de vérin présente l'inconvénient d'un plus grand encombrement et d'une augmentation de poids.



## Amortissements hydrauliques en fin de course

Pour éviter des chocs destructeurs, il est prudent de prévoir un amortissement en fin de course quand les masses déplacées sont importantes ou quand la vitesse est supérieure à 0,2 m/s.

L'amortissement peut être interne ou externe au vérin.



Dans le cas de l'amortissement interne, la tige de piston est munie de 2 pistons plus petits que le piston principal et situés de part et d'autre de celui-ci.

Durant le déplacement, l'huile chassée par le piston s'échappe par l'orifice central qui sert de logement au piston amortisseur.

Avant la fin de course, le piston amortisseur obstrue l'orifice principal d'échappement en venant dans son alésage.

Le piston recomprime alors l'huile dans l'espace annulaire restant et l'oblige à s'échapper au travers d'un second orifice calibré. On fait varier la section de cet orifice à l'aide d'une vis pointeau. Lors du démarrage en sens inverse, une bille ou un clapet se soulève permettant ainsi de communiquer la pression à toute la section du piston principal.

L'amortissement externe est généralement obtenu par une soupape de décélération.



## Moteurs hydrauliques

### Principe

Le moteur hydraulique transforme une énergie hydraulique en énergie mécanique utilisable sous la forme d'un mouvement rotatif continu.

Il est entraîné par le débit. La charge provoque la montée en pression jusqu'à concurrence du tarage du limiteur de pression. **Si le couple résistant amène une pression supérieure au tarage du limiteur de pression, le moteur cale** et le débit retourne au bac par le limiteur de pression.

#### Réglage :

- Le couple dépend de la différence de pression existant entre l'amont et l'aval du moteur. Le réglage du couple se fait par le réglage du  $\Delta p$  du moteur.
- La vitesse du débit utilisé par le moteur. Le réglage de la vitesse est obtenu par le réglage du débit (limiteur ou régulateur de débit) et les basses vitesses peuvent être obtenues sans réducteur.

### Principaux types

On distingue deux familles :

- Les moteurs rapides qui sont les plus courants et qui comprennent :
  - les moteurs à engrenages,
  - les moteurs à palettes,
  - les moteurs à pistons radiaux,
  - les moteurs à pistons axiaux.
- Les moteurs lents.

### Moteurs rapides

#### ***Moteurs à engrenages***

Comme pour les pompes à engrenages, ils sont équilibrés hydrauliquement. Ils portent des rondelles déformables sous les paliers, ce qui permet d'assurer l'étanchéité latérale au démarrage. Deux engrenages en prise tournent dans un même boîtier ; l'un des deux porte un arbre sur lequel sera pris le mouvement de rotation. Le fluide sous pression est envoyé par l'orifice d'entrée et pousse les dents des pignons, la circulation du fluide se faisant par l'extérieur de la denture.

Les moteurs hydrauliques tournent dans les deux sens ; un sélecteur de circuit alimente sous pression le flasque mobile pour chaque sens de rotation.

Ces moteurs sont souvent à drain interne, mais certains sont à drain externe. Avec le drain interne, il ne faut aucune contre-pression de sortie, celle-ci se répercutant sur le circuit de drainage et risquant alors d'entraîner des pannes.

Le réglage de vitesse se fait sur l'entrée ou par soustraction de débit.

#### *Caractéristiques*

- Vitesse de rotation : de 500 à 3000 tr/mn. Des petits moteurs vont jusqu'à 5000 tr/mn
- Pression maximale : jusqu'à 175 bars
- Rendement global : de 0,65 à 0,80
- Couple de démarrage : de 65% à 80% du couple théorique

#### ***Moteurs à palettes***

Ils sont identiques aux pompes à palettes et sont généralement équilibrés hydrauliquement.

Cependant les palettes sont appliquées contre l'anneau par des ressorts, pour assurer l'étanchéité ; ces ressorts peuvent se loger dans l'épaisseur de la palette (comme pour certaines pompes à palettes) ou être placés sur le côté de la palette.

Ces moteurs ont assez souvent un drain placé généralement entre le roulement et le joint d'arbre. Il doit toujours être au-dessus au-dessus du moteur de manière à maintenir pleine d'huile la chambre correspondante. La contre-pression admissible ne doit pas dépasser 1 à 3 bars.

Des 3 orifices du moteur, celui du drain est le plus petit.

Avec les moteurs à drain interne, il ne faut aucune contre-pression.

Si le moteur est à deux sens de rotation, la distribution est obligatoirement symétrique et les orifices alimentation et retour sont de même diamètre.

### Caractéristiques

- Vitesse de rotation : de 100 à 3500 tr/mn.
- Pression maximale : jusqu'à 175 bars
- Rendement global : de 0,75 à 0,85
- Couple de démarrage : de 65% à 80% du couple maximal

Il existe des moteurs à palettes à 4 chambres, capables de développer des couples élevés et ayant une gamme de vitesses de rotation très basses comprises entre 5 et 150 tr/mn.

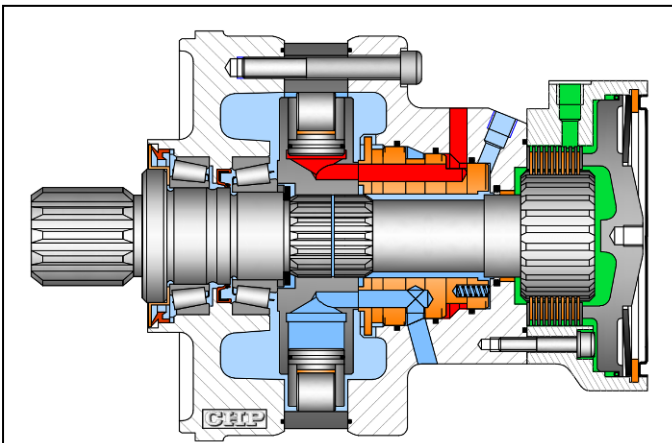
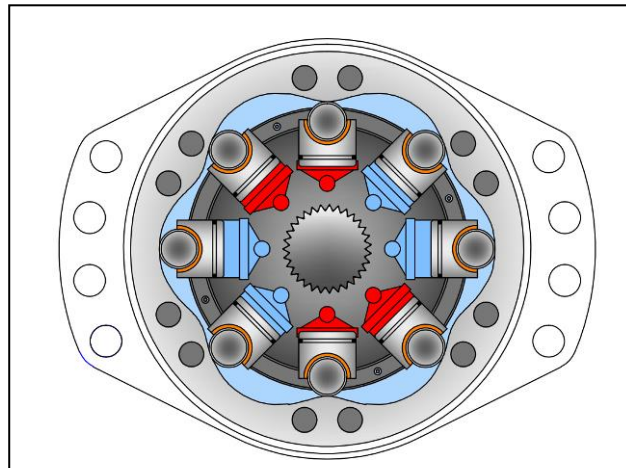
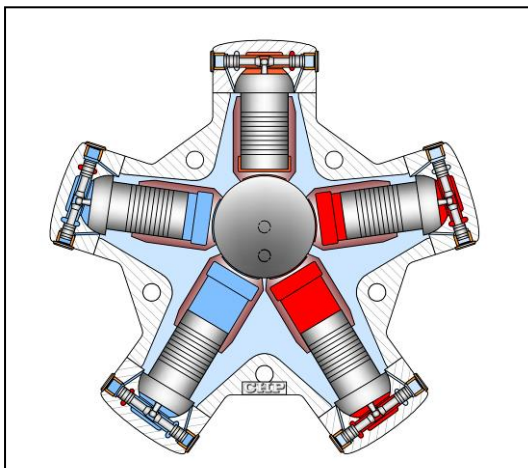
### Moteurs à pistons radiaux

On distingue 2 grandes familles qui pourraient être classées dans les moteurs lents.

#### Moteurs à une course par tour

Ce sont des moteurs en étoile. Le corps fixe porte les alésages, au minimum 5. Tous les pistons sont, par l'intermédiaire de bielles, solidaires d'un excentrique qu'ils entraînent en rotation et qui fournit ainsi le couple moteur.

La distribution se fait par boisseau cylindrique, équilibré hydrauliquement, calé sur l'arbre moteur et entraîné par celui-ci à l'aide d'un joint Oldham. Le boisseau porte les lumières par lesquelles arrive le fluide sous pression et repart le fluide utilisé. Chaque cylindre est alors en communication avec l'un ou l'autre des orifices.



### *Caractéristiques*

- Vitesse de rotation : de 5 à 500 tr/mn. Certains petits moteurs vont jusqu'à 1000 tr/mn
- Pression maximale : jusqu'à 250 bars
- Rendement global : de 0,85 à 0,95
- Couple de démarrage : de 85% à 95% du couple maximal

Il existe aussi des moteurs en double étoile. Les 2 étoiles sont décalées et agissent chacune sur excentrique.

### Moteurs à plusieurs courses par tour

Ce sont des moteurs à barillet. Un barillet solidaire de l'arbre porte les alésages, au nombre de 5 à 6, dans lesquels se déplacent les pistons. Ces pistons s'appuient, à l'extrémité qui sort du barillet, sur un patin ou sur un galet qui se déplace sur une came fixe solidaire du corps. Chaque came possède un profil ondulé avec 4 ou 5 creux et bosses qui définissent la course des pistons.

Lorsqu'un piston pousse sur son galet, il provoque le déplacement de celui-ci vers le creux de la came entraînant en rotation le barillet de l'arbre. Lorsque le galet arrive au creux de la came, la lumière de distribution de pression disparaît et une autre se présente permettant la vidange du cylindre.

Le nombre de pistons, plus élevé que le nombre de creux, et la disposition de la distribution se conjuguent pour assurer une rotation et un couple continu sans point mort.

La distribution se fait par glace ou par boisseau.

Le nombre de courses motrices par tour est égal au nombre de pistons multiplié par le nombre de creux de la came.

### *Caractéristiques*

- Vitesse de rotation : quelques tr/mn jusqu'à 800 tr/mn
- Pression maximale : jusqu'à 200 bars
- Rendement global : de 0,75 à 0,85
- Couple de démarrage : de 85% à 90% du couple maximal

### ***Moteurs à pistons axiaux***

C'est l'inverse d'une pompe à pistons axiaux, et de même on retrouve deux groupes principaux :

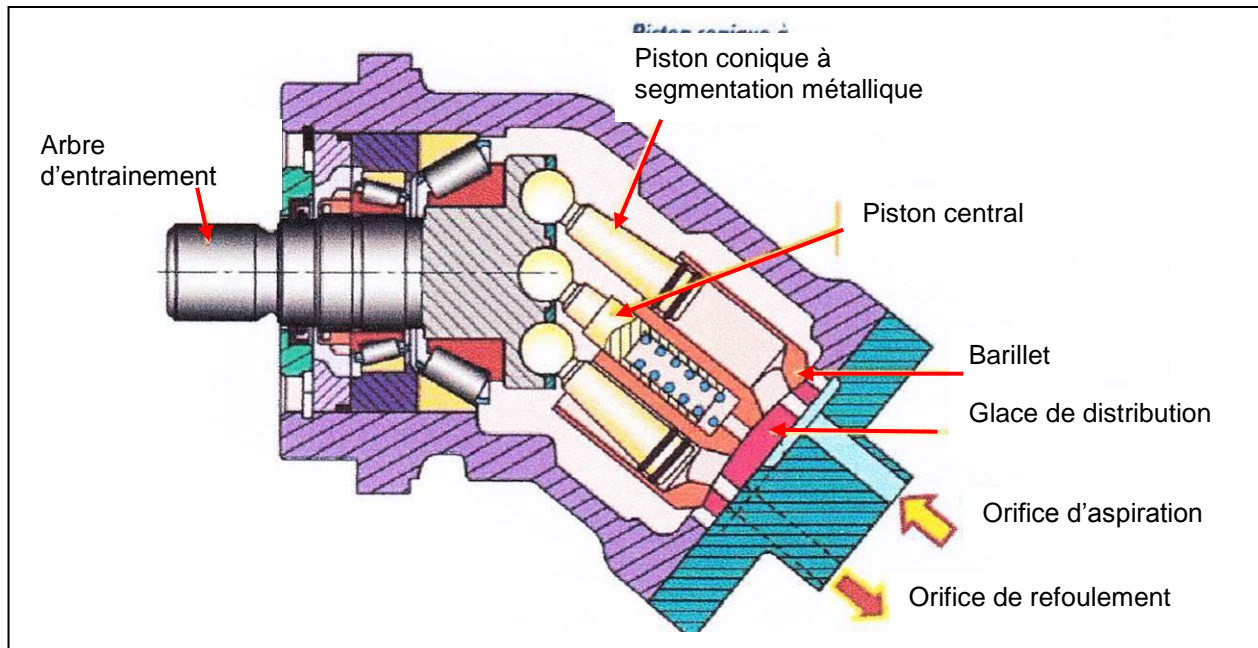
- les moteurs à plateau incliné ;
- les moteurs à barillet incliné (voir figure).

La force produite par chaque piston se répartit en une force perpendiculaire au plan du plateau et une force radiale qui provoque la rotation du barillet et donne le couple moteur.

Tous les couples élémentaires des pistons donnent au total le couple du moteur.

L'orifice du drain doit toujours être placé à la partie supérieure.

Les deux orifices d'alimentation et de retour ont le même diamètre.

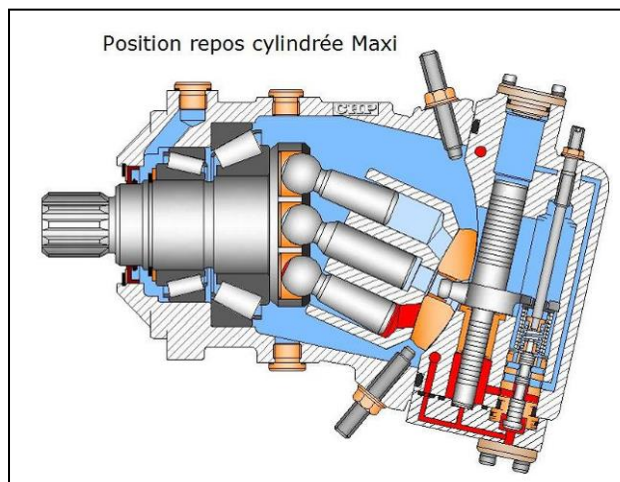


### Caractéristiques

- Vitesse de rotation : 50 tr/mn jusqu'à 3500 tr/mn
- Pression maximale : jusqu'à 400 bars
- Rendement global : de 0,90 à 0,95
- Couple de démarrage : de 90% à 95% du couple maximal

Ces moteurs sont construits dans toutes les gammes de puissance, même jusqu'à 1000 ch. Ils sont très compacts.

### Moteurs à cylindrée variable



C'est un cas particulier des moteurs à pistons axiaux.

L'inclinaison du plateau ou du barillet qui fait varier la cylindrée peut être obtenue :

- par système vis écrou ;
- par un compensateur de pression identique au compensateur des pompes mais qui agit en sens inverse.

## Moteurs lents

Ils sont d'une construction spéciales et ont généralement une cylindrée par tour peu élevée. On les rencontre dans les travaux publics, la marine, certains convoyeurs, etc.

Les 3 groupes de moteurs lents sont :

- ✓ les moteurs à pistons radiaux ;
- ✓ les moteurs à palettes à plusieurs chambres ;
- ✓ des moteurs dérivés du moteur à engrenages.

## Précautions pour l'exploitation et la maintenance

### *Gavage des moteurs hydrauliques*

Si l'on coupe brutalement l'alimentation d'un moteur, celui-ci, entraîné par les masses en mouvement, va continuer de tourner jusqu'à ce que les frottements (et éventuellement le couple de freinage) aient pu absorber la totalité de l'énergie cinétique.

Pendant un temps, la liaison fluide n'est plus assurée entre les éléments mobiles et le corps du moteur. Le moteur devient comme fou : il émet un bruit caractéristique de castagnettes.

On a le même phénomène si la charge supportée par le moteur devient motrice.

Bien sûr cela peut avoir des conséquences graves pour le moteur et pour les organes entraînés par celui-ci.

Pour éviter cela, on assure une alimentation ininterrompue en huile en gavant le moteur.

Le circuit de gavage peut être alimenté de trois manières :

- par un clapet anti-retour faiblement taré placé sur la ligne des retours ; c'est le montage le plus courant et le plus simple ;
- par une soupape de réduction de pression montée en parallèle avec le circuit de pression ;
- par une pompe de gavage alimentant un circuit de gavage à basse pression.

Note : pour certains moteurs (et d'autres non) une contre-pression est nécessaire et peut demander de quelques bars à une quinzaine de bars. D'où **[l'intérêt de lire attentivement les notices](#)**

### *Limitation du couple moteur*

Dans le cas d'un montage simple, la limitation du couple moteur est obtenue par réglage du limiteur de pression, sur la branche même d'alimentation du moteur si le réglage doit être indépendant des autres appareils du circuit.

Si le moteur doit tourner dans les deux sens : il faut deux limiteurs de pression.

### *Protection contre un blocage hydraulique*

Si l'on bloque hydrauliquement un moteur en rotation, l'inertie des pièces va s'opposer à cet arrêt et entraîner le moteur qui se comporte alors comme une pompe. Si le débit refoulé ne trouve aucune issue, cela peut conduire à la rupture d'un organe. Pour remédier à cela, il faut monter un limiteur de pression en dérivation sur le circuit de retour, ce qui permet de limiter la contre-pression à la sortie du moteur.

### *Débrayage d'un moteur hydraulique*

On peut avoir besoin de libérer l'arbre moteur pour positionner une pièce. Pour ce faire, on établit une liaison directe entre les deux branches d'alimentation et de retour du moteur. Le débrayage peut être obtenu :

- une électrovanne sur la liaison directe des deux branches ;
- la décharge du limiteur de pression lorsque les couples moteur et de freinage sont limités à la même valeur.

### *Précautions à prendre*

- L'erreur d'alignement entre l'arbre du moteur et l'organe entraîné ne doit pas dépasser :

- 1° pour le faux alignement ;
- 0,2 mm pour les faux parallélisme.
- La fixation du moteur doit être particulièrement solide surtout dans le cas de vitesses élevées et d'inversions de sens de rotation fréquentes : utiliser des boulons à haute résistance.
- L'orifice du drain doit toujours être placé à la partie supérieure. pour assurer la lubrification des paliers et des roulements.
- Remplir par le drain avant la mise en route, puis remplir les cylindres lentement en faisant tourner le moteur à la main quand c'est possible.
- La filtration peut être de 25 à 30  $\mu$  pour une utilisation courante, mais de 10  $\mu$  pour les moteurs à pistons.
- Il faut toujours veiller à purger les points les plus hauts du circuit.



### Maintenance

- ➔ La technique de l'hydraulique est assez complexe. Elle nécessite qu'en maintenance il y ait du personnel formé :
  - à la connaissance des organes ;
  - à la connaissance des circuits et des fonctionnements, pour partie.

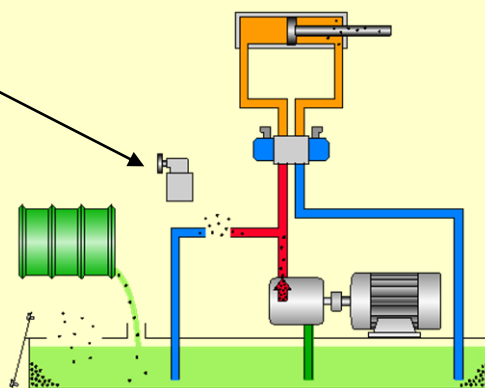
- ➔ Dans 80 % des cas, les pannes qui surviennent dans les circuits hydrauliques proviennent d'un mauvais état du liquide hydraulique.

Les impuretés dans l'huile provoquent :

- une usure excessive ;
- une augmentation des pertes de charges
- un encrassement des appareils de régulation et de distribution

Différentes règles contraignantes doivent être respectées :

- Toujours **remplacer les pièces avec des gants propres** et appropriés pour ce genre d'intervention. Garder les filtres dans leur emballage plastique jusqu'au remplacement.
- **Remplacer systématiquement tous les filtres** dont les filtres d'air aux reniflards des réservoirs.
- Bien sûr toujours remplir avec de l'huile filtrée à 10  $\mu$ .
- Stocker les pièces neuves ou réparées dans des endroits propres.



- ➔ Certains modes opératoires doivent être respectés ; c'est pourquoi nous avons figuré 9 règles de l'art :

- Raccordements
- Remplissage des réservoirs hydrauliques
- Filtration hydraulique
- Précautions avec les pompes hydrauliques
- Particularités des distributeurs hydrauliques
- Précautions avec les tuyauteries hydrauliques
- Précautions avec les vérins hydrauliques.....
- Accumulateurs : contrôle de la pression sur l'azote.....
- Accumulateurs : contrôle de la pression sur l'huile

- ➔ En maintenance préventive les contrôles et suivis concernent l'huile hydraulique et les organes. Voir « Standards de maintenance préventive.

➔

- ➔ Les pompes peuvent avoir des pannes qui leur sont types : voir le § « Défaillances de pompes hydrauliques » du chapitre « Aides aux diagnostics de défaillances »

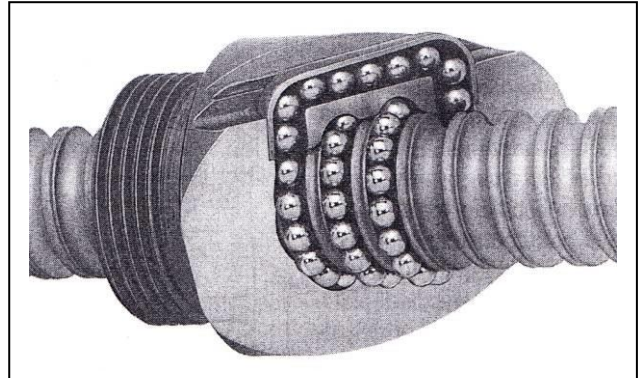
- ➔ Les moteurs hydrauliques sont généralement très fiables, à condition de respecter certains réglages (lire le § précédent à ce sujet.

## Organes divers

### Vis à billes ou rouleaux satellites

La liaison glissière hélicoïdale peut servir d'organe de transformation de mouvement et de transmission de puissance. C'est le cas des vis à billes.

On l'utilise plutôt en mécanisme de commande qu'en mécanisme de transformation de puissance : déplacement sur machines-outils, robots, petits déplacements divers, petits appareillage de levage, vérin, presse. L'intérêt des vis à billes réside dans la stabilité, la précision, la rigidité.

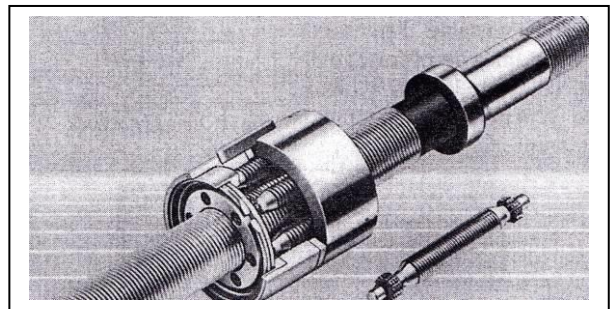


Dans les vis à billes, les éléments roulants sont recyclés du fait de leur déplacement axial. Le jeu axial, la précharge et la précision ne varient pratiquement pas durant la durée de vie.

Dans les vis à rouleaux satellites les capacités sont augmentées par la multiplication des contacts.

Ici les rouleaux ne se déplacent pas axialement par rapport à l'écrou, ce qui permet d'avoir des vitesses bien plus élevées.

Il y a une variante avec les rouleaux qui se déplacent axialement mais sont recyclés par un système de came. Cela permet d'avoir des pas faibles et une grande capacité de charge.



### Paliers lisses

#### Paliers lisses ordinaires

Un palier lisse est le mariage d'un arbre tournant et d'un coussinet.

L'arbre est généralement en acier.

Dans le cas de basses températures on choisit un acier à grains fins ou un cuproaluminium.

Aux hautes températures on peut avoir des risques de fluage et de corrosion sèche ; dans ce cas on peut prévoir un carbure de tungstène ou un acier inoxydable martensitique avec chromage.

Pour les milieux corrosifs, les aciers au NiMo doivent être chromés sur les portées pour éviter le grippage.

Pour le coussinet le choix d'un matériau dépend essentiellement de celui retenu pour l'arbre et de la nature du lubrifiant.

Il existe de multiples possibilités :

- Les alliages à bas coefficient de frottement contenant étain, plomb, cuivre, antimoine, etc ; : ce sont les alliages antifrictions ;
- Les matières plastiques : polyamides, nylon, PTFE ;
- Les bagues roulées obtenues par déformation à la presse d'un matériau en bande



monométallique ou composite, déposé sur un support qui est généralement en acier.

- Les matériaux frittés obtenus par compression à froid de poudres de bronze, ou de fer, ou d'alliages d'aluminium.

### Valeur du jeu

Un jeu de fonctionnement trop faible entraîne des contacts métalliques fréquents ce qui provoque :

- . un échauffement, une dilatation et un grippage en final ;
- . des ruptures du film de graissage et donc des à-coups dans le fonctionnement.

Un jeu de fonctionnement trop grand détermine :

- . un guidage peu précis ;
- . une mauvaise formation du film d'huile.

Certains types de coussinets sont prélubrifiés ou ne nécessitent pas de lubrification.

### **Coussinets frittés**

Ce sont des coussinets en bronze fritté à structure poreuse. Ils sont imprégnés d'huile jusqu'à saturation. Le coefficient de frottement est bon : 0,04 à 0,20.

### **Coussinets autolubrifiants composites**

Ils sont constitués d'un support en tôle d'acier roulée et revêtue de cuivre sur laquelle est frittée une couche poreuse de bronze. Dans celle-ci s'incruste une couche frottante en PTFE. Ils sont aussi fabriqués en acier inoxydable.

Le coefficient de frottement est de 0,03 à 0,25.

### **Coussinets en polyamide PTFE**

Ces coussinets ne nécessitent aucune lubrification. Ils sont relativement économiques.

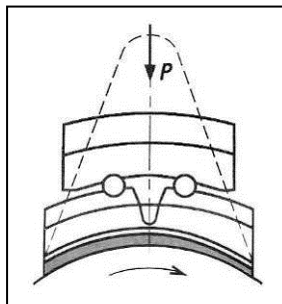
## **Palier lisse hydrodynamique**

Pour ce type de palier, il faut prévoir une arrivée d'huile suffisante, bien placée, à la pression ambiante.

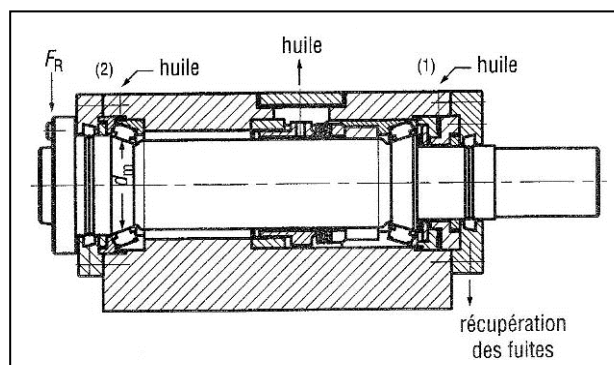
Nous prenons pour exemple une broche de machine-outil de fabrication FAG HDKO.

Cette broche est constituée de 2 patins : (1) qui peut se déplacer axialement et (2) qui est fixe.

La précharge hydraulique est rétablie à environ 1 sec du démarrage. Le facteur de frottement est inférieur à 0,002.



Patin

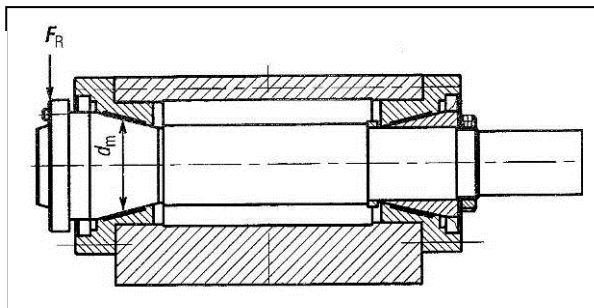


Broche de machine-outil

## Palier lisse hydrostatique

Dans ce cas il faut une arrivée d'huile sous pression

Le même fabricant FAG HSKO réalise des unités de broche hydrostatique.  
 Dans ce cas un circuit hydraulique permet d'assurer la permanence d'un film d'huile à l'arrêt et à toutes les vitesses.  
 Ici les deux paliers hydrostatiques sont à surfaces de travail coniques.



Nous avons pris l'exemple de broches de machines-outils, mais dans l'industrie on trouve de nombreuses applications avec des paliers hydrodynamiques et hydrostatiques.  
 Par exemple, dans la sidérurgie dans les cages de laminoirs les très gros paliers des cylindres d'appuis sont hydrostatiques (les débits et pressions d'huile sont très importants). Ces paliers sont en métal blanc.

Il y a trois précautions à prendre :

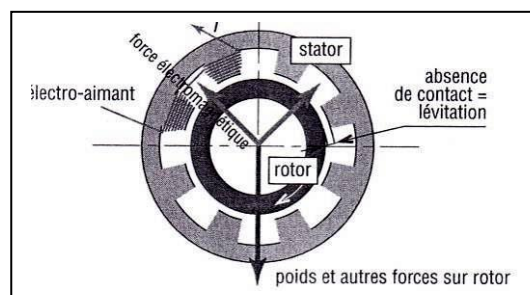
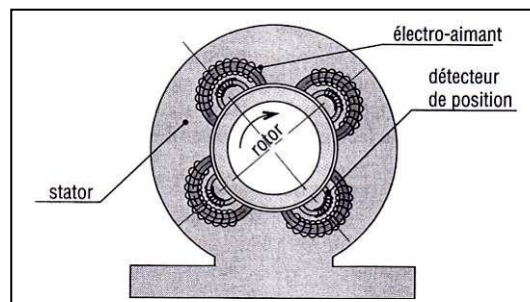
- ✓ toujours assurer le débit d'huile (attention aux colmatages de filtres) ;
- ✓ toujours maintenir la même forme du palier, notamment pour la formation du coin d'huile, lors des remplacements ;
- ✓ ne jamais changer les types et dimensions des buses d'injection et de sortie d'huile, sans l'accord du constructeur.

## Paliers magnétiques

### Palier radial

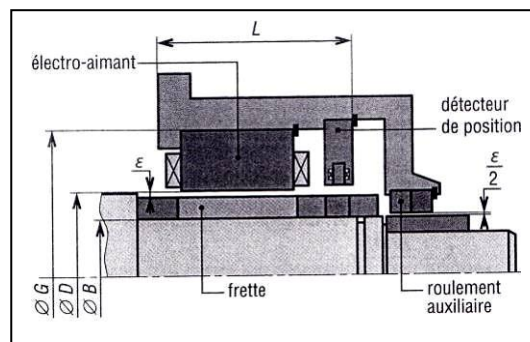
Un rotor ferromagnétique tourne dans un champ magnétique créé par des électro-aimants. Un asservissement électronique est informé par des détecteurs de position et commande le courant nécessaire à la sustentation du rotor.

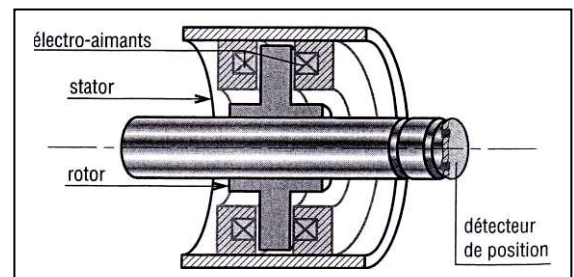
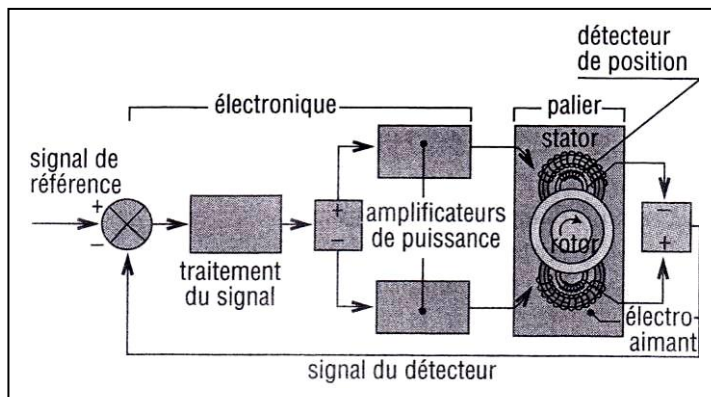
A l'arrêt, il n'y a pas de champ magnétique est le rotor est supporté par 2 roulements qui ont un jeu radial égal à la moitié de l'entrefer.



### Palier axial

Le rotor est un disque qui tourne dans le champ magnétique créé par 2 électro-aimants. Le détecteur de position est en bout d'arbre.





## Avantages des paliers magnétiques

Aujourd'hui c'est toujours une application spécifique et coûteuse, mais les avantages sont importants.

- ✓ Pas d'usure mécanique, et donc pas d'entretien et très grande durée de vie.
- ✓ Pas de lubrification.
- ✓ Grandes vitesses de rotations.
- ✓ Charge élevée par palier : jusqu'à  $10^5 \text{ N}$ .
- ✓ Fonctionnement dans des conditions sévères et des températures extrêmes :  $-250$  à  $450^\circ\text{C}$ .
- ✓ Equilibrage automatique supprimant les risques de vibrations.
- ✓ Grande précision de position du rotor.

## Applications

Actuellement les applications connues sont les suivantes.

- ✓ Compresseurs de gaz.
- ✓ Turbocompresseurs cryogéniques.
- ✓ Turbines à vapeur.
- ✓ Turbo alternateurs
- ✓ Moteurs électriques de grandes vitesses.
- ✓ Broches de machines-outils.
- ✓ Porte-meules de grand diamètre.
- ✓ Pompes à vides (30000 Rpm)
- ✓ Centrifugeuses
- ✓ Applications dans l'industrie spatiale.

## Guidages linéaires

### Roulements et rails de guidage à course limitée

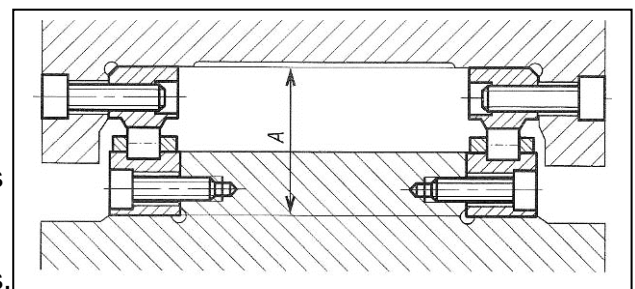
Le facteur de frottement est très faible, inférieur à 0,005, et les vitesses peuvent être de 50m/min. Il y a deux types de guidage.

#### Guidage dit ouvert

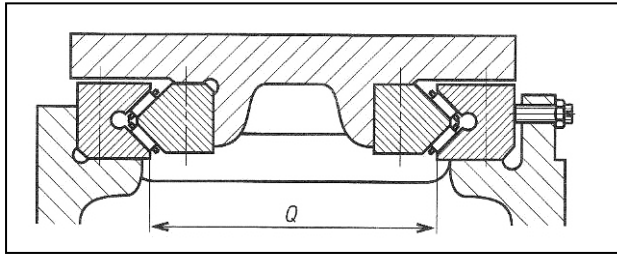
Dans ce cas les charges appliquées doivent maintenir les contacts entre les rails. Ils sont les plus simples mais ne supportent pas de précharges.

#### Guidage dit fermé

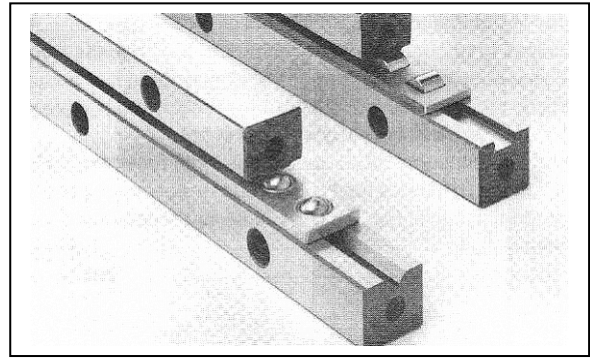
Ici les moments appliqués peuvent être quelconques. On applique souvent une précontrainte (20%) à la précision recherchée



Guidage ouvert



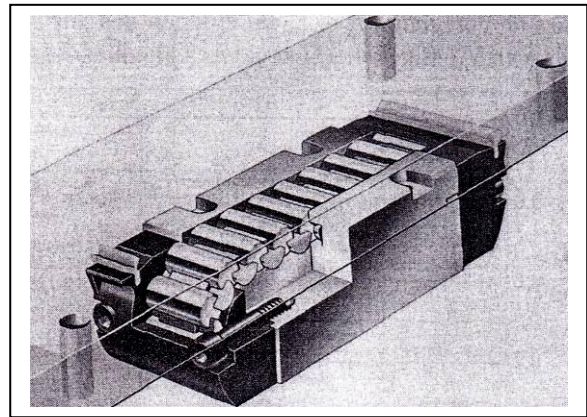
Guidage fermé



Rails à billes et à rouleaux

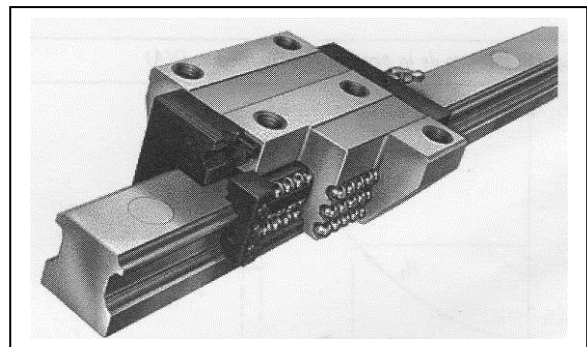
### Patins de guidage à course illimitée

On utilise des patins à recyclage d'éléments roulants pour des courses importantes. Pour améliorer la précision du guidage on fait appel à la précharge. Pour celle-ci, les systèmes sont différents suivant les constructeurs. -



### Guidages sur profilés

Plusieurs constructeurs proposent des systèmes de guidage sur monorails avec chariots à billes ou à rouleaux.



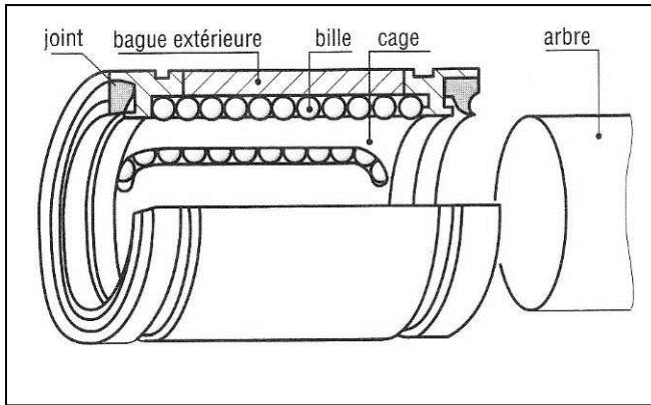
### Douilles à billes

Les douilles à billes ont des capacités de charges plus faibles que celles des patins. Mais elles sont généralement plus économiques car elles peuvent supporter des charges dans pratiquement toutes les directions perpendiculaires au mouvement.

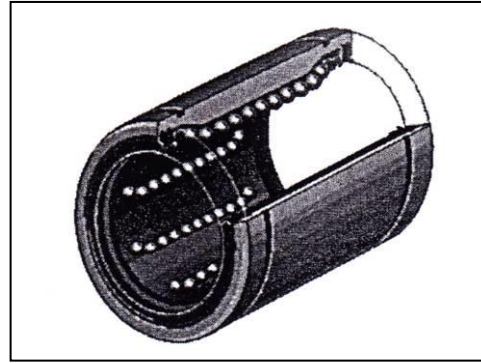
Il existe trois versions de douille à billes :

- Douille à bague fermée ; le jeu de fonctionnement ne dépend que de l'ajustement de l'arbre.
- Douille à bague fendue ; le jeu est réglé par serrage.
- Douille à bague ouverte : le passage au-dessus des supports de l'arbre est possible d'une part, et le réglage est facilité d'autre part.

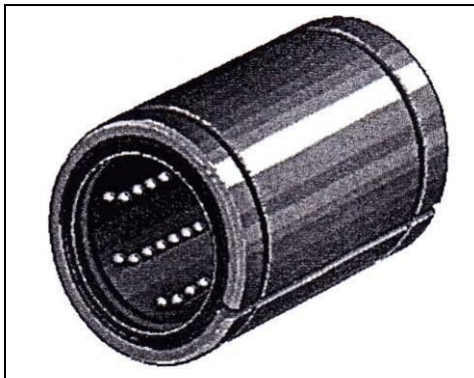




Douille à billes



Douille à billes massive



Douille à billes fendue



Douille à billes ouverte

## Rotules

Les rotules sont des articulations sphériques qui s'utilisent lorsque la transmission engendre des mouvements de déversement donnant lieu à de faibles vitesses de glissement.

### Rotules lisses acier/acier

Ces rotules supportent des charges élevées, alternées et des chocs.

Elles sont tournées, trempées, rectifiées.

Les surfaces de glissement ont subi un traitement de phosphatation au manganèse et un traitement au bisulfure de molybdène (lubrifiant solide).

### Rotules acier/bronze

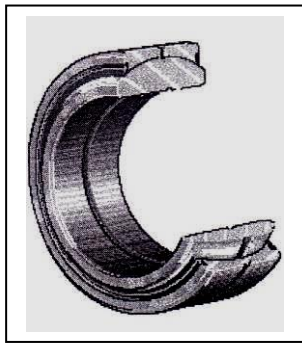
Elles sont constituées d'une bague intérieure en acier et d'une bague extérieure en bronze ou en laiton, formée sur la bague intérieure.

### Rotules lisses autolubrifiantes

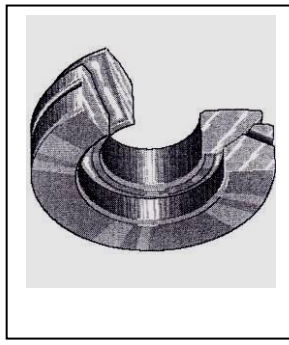
La bague intérieure est en acier, la surface sphérique étant trempée, chromée et dure.

La bague extérieure est en acier ou en bronze avec le revêtement d'un film ou composite PTFE.

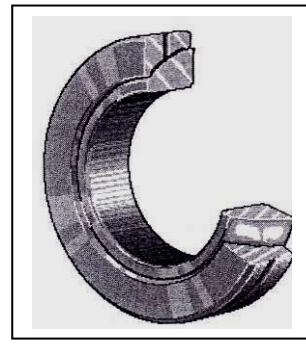
Tout graissage n'est pas recommandé car il empêcherait le PTFE de se répartir sur la surface de la bague intérieure en remplissant les creux de la rugosité.



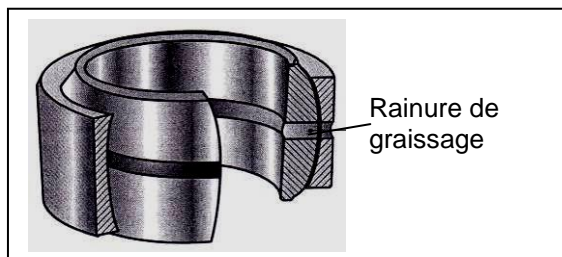
Rotule radiale



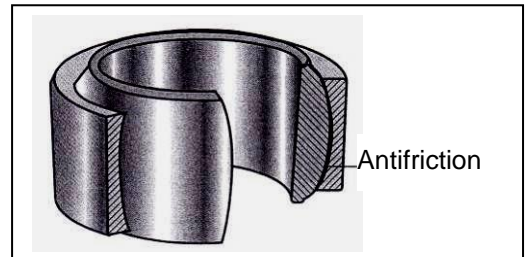
Rotule axiale



Rotule à contact oblique



Rotule à graisser



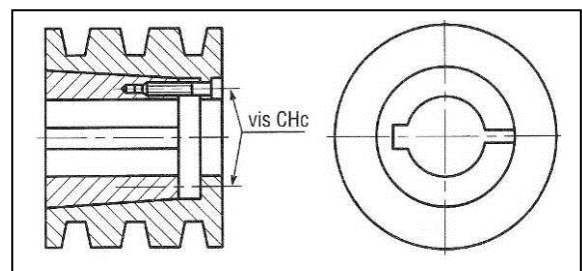
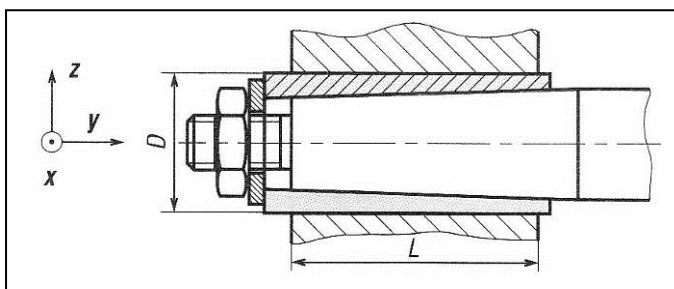
Rotule autolubrifiante

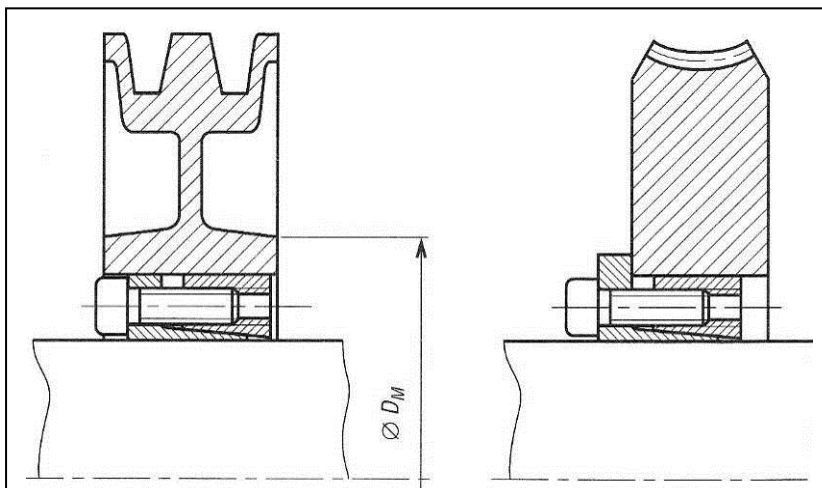
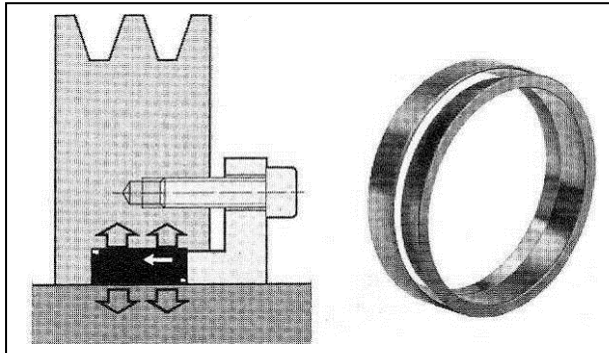
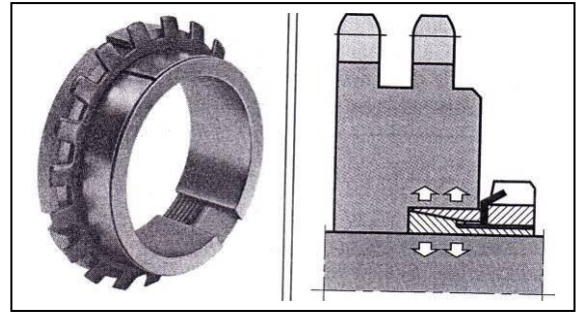
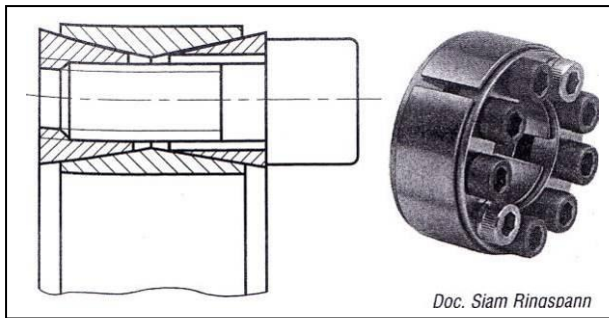
- ✓ Il est conseillé de prévoir une lubrification pour les rotules acier/acier. Pour les rotules autolubrifiantes, une lubrification périodique est souvent nécessaire.
- ✓ Pour permettre le montage de la bague intérieure, la bague extérieure comporte deux encoches axiales.

## Assembleurs expansibles

La déformation d'une bague conique (fendue ou non) permet de créer l'effort presseur entre le diamètre de l'arbre et l'alésage du moyeu. Ce système évite l'alésage conique du moyeu et permet un réglage continu de la position relative arbre-moyeu longitudinalement et angulairement.

Il existe de nombreux systèmes suivant les constructeurs comme le montrent les exemples ci-après.



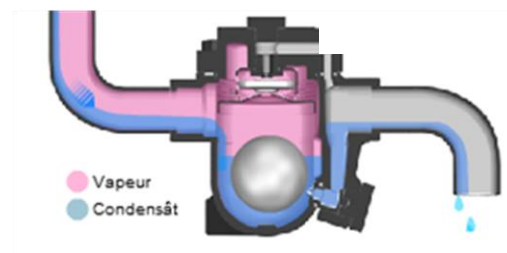


## Purgeurs de vapeur



### Principe

Un purgeur de vapeur est une sorte de vanne autonome qui évacue le condensat (c.-à-d. la vapeur d'eau condensée) sans laisser échapper de vapeur. Dans le secteur industriel, la vapeur d'eau est souvent utilisée pour chauffer ou comme force motrice. Le purgeur de vapeur est un appareil utilisé pour minimiser les pertes inutiles de vapeur dans ces procédés qui transmettent la chaleur latente au produit. Une fois le travail accompli, (c.-à-d. lorsque la chaleur latente a été transmise), la vapeur d'eau se transforme en condensat. Puisque le condensat ne peut plus transmettre de chaleur latente, il doit être expulsé le plus rapidement possible pour maximiser l'efficacité thermique, que ce soit hors des conduites de transport de la vapeur ou d'un échangeur de chaleur.



### Purgeur à flotteur fermé libre

Avant que la vapeur ne soit fournie, le purgeur est froid et l'élément X est contracté. Ceci maintient la soupape de l'évent d'air ouverte. Lors de la mise en route, l'air est évacué par cette soupape et le condensat froid est évacué par l'orifice.

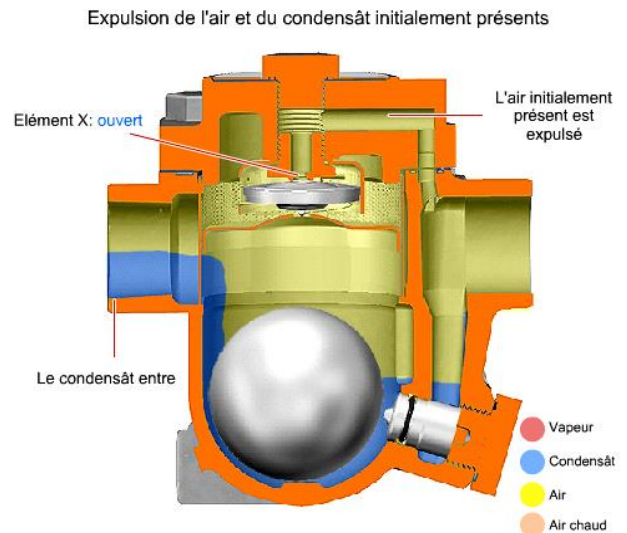
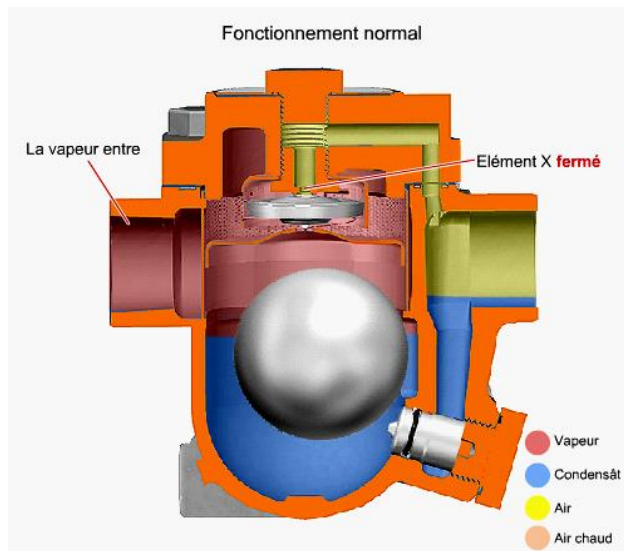
Lorsque de grandes quantités de condensat entrent dans le purgeur, le flotteur est complètement soulevé et la soupape est pleinement ouverte. Comme l'élément X est également contracté, le condensat est évacué rapidement et simultanément de la soupape de l'évent d'air et de l'orifice. L'ouverture de la soupape, qui dépend du débit de condensat, évacue le condensat de façon continue.

Lorsque la vapeur et le condensat entrent dans le purgeur après l'évacuation de l'air et du condensat froid initialement présents, l'élément X se dilate pour fermer le siège de soupape, empêchant la perte de vapeur. Le flotteur est soulevé et du condensat chaud est évacué par l'orifice.

Lorsque de l'air chaud entre dans le purgeur avec la vapeur en cours de fonctionnement normal, la température de l'élément X baisse momentanément. Ceci entraîne la contraction de l'élément X et l'ouverture de l'évent d'air, et permet à l'air d'être évacué.

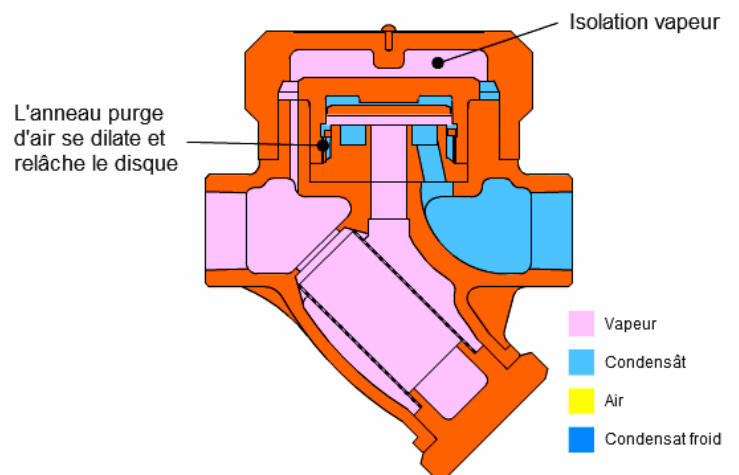
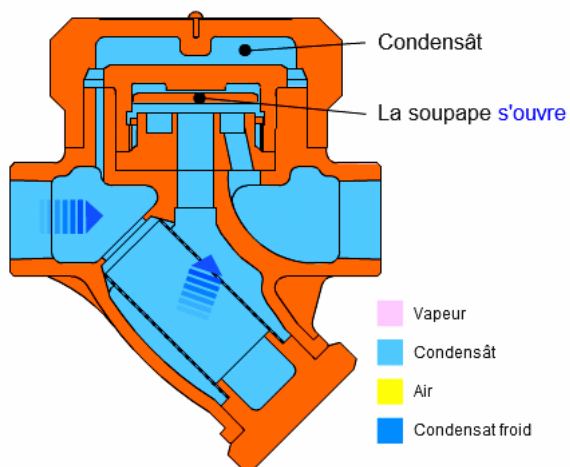
Lorsque le flux de condensat diminue, l'élément X se dilate à cause de la chaleur de la vapeur, fermant la soupape de l'évent d'air. Le flotteur redescend également et ferme l'orifice. Un joint d'eau est maintenu en permanence pour éviter toute perte de vapeur par l'orifice.





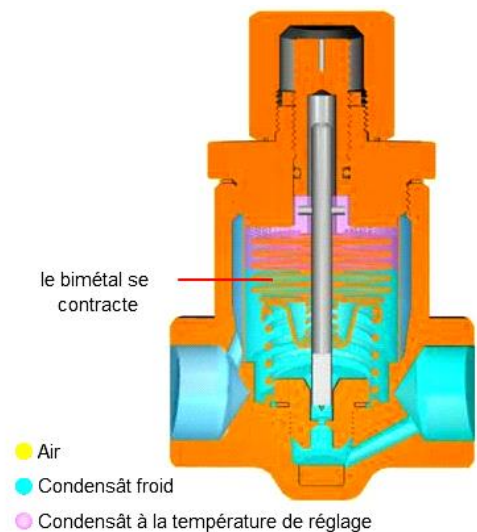
### Purgeurs thermodynamiques à disques

Lorsque le condensat entre dans le purgeur, la température dans la chambre à pression baisse. La vapeur se condense et la pression chute. Si la pression devient inférieure à la pression amont, la soupape du disque s'ouvre pour expulser du condensat. Peu après l'expulsion du condensat, la soupape se ferme suivant le même principe. De cette façon, la soupape s'ouvre et se ferme automatiquement par intermittence pour expulser du condensat qui entre dans le purgeur.



## Purgeur thermostatique à bimétal

Lors de la mise en route, le purgeur est froid et l'anneau bimétallique est contracté, ce qui maintient la soupape du disque en position élevée. Pendant ce temps, de grandes quantités d'air et de condensat froid initialement présents dans le purgeur peuvent être expulsés. L'anneau bimétallique maintient la soupape du disque ouverte, ce qui empêche les obstacles au flux d'air (blocage d'air). Lorsque de la vapeur entre dans le purgeur, l'anneau bimétallique est chauffé et se dilate, glissant rapidement vers le bas jusqu'à la collerette du siège de soupape, et libérant le disque. La vapeur s'écoule rapidement sous le disque relâché et le jet crée une zone de basse pression (principe de Bernoulli). Le jet de vapeur entre dans la chambre à pression, créant une zone de haute pression alors que la vapeur perd de sa vitesse et est comprimée. Cette pression pousse la soupape du disque vers le bas et ferme le siège de soupape.



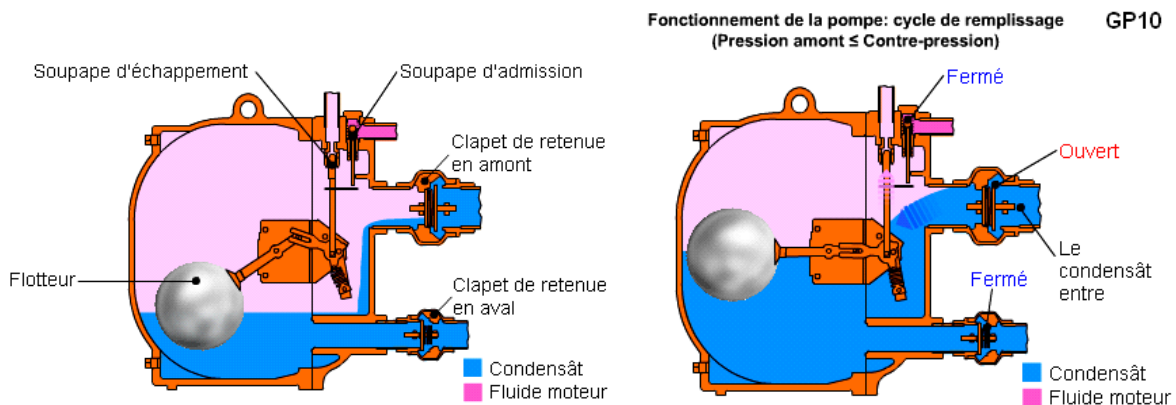
## Purgeurs thermostatiques à flotteurs

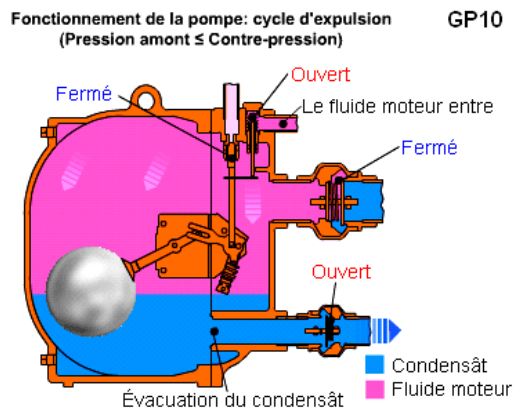
Lorsque du condensât s'écoule de la conduite d'entrée dans le corps en passant par le clapet de retenue en amont, le flotteur monte et l'air à l'intérieur du corps est évacué par la soupape d'échappement.

Dans les cas où  $P_1 < P_b$  (la contre-pression est supérieure à la pression amont), le condensat ne peut être expulsé et s'accumule dans le corps.

Lorsque l'accumulation de condensat dans le corps pousse le flotteur vers sa position la plus élevée, la tige de culbuteur du mécanisme à action instantanée se lève rapidement, fermant la soupape d'échappement et ouvrant la soupape d'entrée du fluide moteur. La pression à l'intérieur du corps devient supérieure à la contre-pression à cause de la pression supplémentaire fournie par le fluide moteur. Ceci ferme le clapet de retenue en amont et ouvre le clapet de retenue en aval. Le condensat est expulsé vers la conduite de sortie.

Suite à l'expulsion du condensat accumulé, le flotteur descend avec le niveau d'eau à l'intérieur du corps. Lorsque le flotteur atteint sa position la plus basse, la tige de culbuteur du mécanisme à action instantanée retombe rapidement, ouvrant la soupape d'échappement et fermant la soupape d'entrée.





Le flotteur bouge de bas en haut continuellement

### Purgeurs à orifices fixes

Un purgeur à orifices fixes est continuellement ouvert pour drainer le condensat.

Mais :

- risque de mauvais fonctionnement,
- risque d'évacuation de la vapeur en même temps que le condensat à cause de l'usure.

#### Maintenance

Or les purgeurs à orifices fixes (non recommandés) il y a deux types de défaillances :

- blocage en ouverture ;
- blocage en fermeture.

Ouvertures et fermetures génèrent un bruit. On peut donc vérifier le bon fonctionnement des purgeurs en écoutant ce bruit.

En maintenance préventive, il est donc judicieux de faire des contrôles périodiques (3 mois par exemple) en utilisant un appareil de mesure Ultrasons.

## Sociétés

Sociétés dont la documentation nous a permis de compléter nos informations techniques.

- ➔ **Alstom Power** 2 quai Michelet – 92300 Levallois Perret  
**Equipements de transformation et transport d'énergie**
- ➔ **C.C.T.A. sas** - 3 rue de l'Adour 31500 TOULOUSE Tél: +33 (0)5 61 343 888 –  
**Protection cathodique**
- ➔ **Cetim**, 52 avenue Félix Louat – BP 80067 – 60300 Senlis Tél. 03 44 67 30 00  
**Centre technique des industries mécaniques**
- ➔ **Masser Eutectic Castollin**, 11 rue des Ateliers – 7850 Enghien – Belgique  
Tél. + 32(0)2 888 2451  
**Produits de soudage**
- ➔ **Cooper roller bearings**, Wisbech Road – King's Lynn – Norfolk PE30 5jX – Angleterre  
Tél + 44 (0)1 553 763 447  
**Roulements en 2 parties**
- ➔ **FAG** 44-48 rue Louveau BP91 – 92322 Chatillon Cedex – Tél. 01 40 92 16 16  
**Roulements**
- ➔ **INA**, 93 route de Binche, BP 186 – 67506 Haguenau cedex – Tél 03 88 63 40 40  
**Rotules et systèmes de guidages linéaires**
- ➔ **Olympus Matériel d'endoscopie**
- ➔ **SNRI (Serseg )** Chemin du Treuil – 16700 Ruffec – Tél. 05 45 29 60 00  
**Robinetterie industrielle**
- ➔ **Stam Ringspann**, 52 rue Joannes Carret, BP 211 – 69336 Lyon cedex 09 –  
Tel 04 78 83 59 01  
**Assembleurs expansibles**
- ➔ **SKF**, 8 avenue Réaumur, BP 206 – 92142 Clamart Cedex – Tél 01 45 37 73 00  
**Roulements et coussinets**
- ➔ **Texrope** BP 37 Zone Industrielle 95380 Louvres – Tél. 01 34 47 41 31  
**Courroies et poulies**
- ➔ **Timken**, Avenue de l'Amazonie, BP 107, ZI de Courtaboeuf – 91940 Les Ullis –  
Tél 01 69 29 21 17  
**Roulements**
- ➔ **TSUBAKI** Aventurijn 1200 – 3316 LB Dordrecht – Pays Bas – Tél +31 (0) 79 620 4000  
**Chaînes**
- ➔ **Vickers (BAE Systems)** Barrow-in-Furness  
**Matériel hydraulique**
- ➔ **TLV EURO Engineering** Parc d'Arianne 2, Bât C, 290 rue Ferdinand Perrier – 69800  
Saint Priest – Tél. 04 72 48 22 22  
**Purgeurs**

Aux termes de l'article 40 de la loi du 11 mars 1957 « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droits ou ayants cause est illicite ». L'article 41 de la même loi n'autorise que « les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et « les analyses et courtes citations, sous réserve que soient indiqués clairement le nom de l'auteur et la source ». Toute représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, ne respectant pas la législation en vigueur constituerait une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 à 429 du Code pénal.