

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mohamed Seddik Ben Yahia de Jijel

Département de Génie Mécanique

TP

DESSIN INDUSTRIEL

Cours 3^{em} Année Construction Mécanique
(5^{ème} Semestre)

2024-2025

ÉLÉMENTS STANDARD DE CONSTRUCTION

1- GÉNÉRALITÉ

1. Dessin Technique

Pour pouvoir réparer ou fabriquer un objet, il faut d'abord le comprendre. Quelles sont les pièces du mécanisme ? Comment sont-elles assemblées ? Où se situent-elles dans le mécanisme ? Autant de questions auxquelles il faut répondre pour comprendre un mécanisme. Un moyen simple d'y parvenir est le dessin technique, souvent appelé plan.

Le dessin technique est donc un moyen d'expression universel à tout technicien. Il suit des règles, des normes précises et rigoureuses dans un souci d'efficacité. Tout professionnel qui utilise ou agit sur des mécanismes (machines, engins, automobiles...) doit pouvoir décoder un dessin technique, sans quoi il serait vite perdu et inefficace. Savoir décoder et utiliser un dessin technique nécessite de la rigueur et de l'organisation.

Il existe plusieurs types de dessins techniques, tous complémentaires. Prenons l'exemple d'un batteur pour les œufs et étudions l'ensemble des dessins qu'il est possible d'établir (Fig. 1.1).



Fig. 1.1 batteur pour les œufs

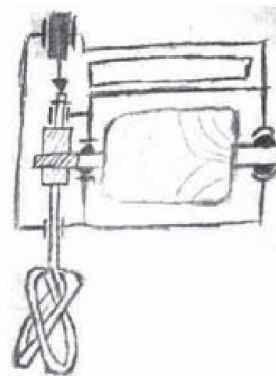


Fig. 1.2 Le croquis

1.1 Croquis

C'est un dessin (ou une esquisse) établi, en majeure partie à main levée sans respecter de règles précises (Fig. 1.2). Il permet de visualiser une idée, un avant-projet.

1.2 Dessin de définition

Ce dessin est le complémentaire du précédent (Fig. 1.3). Il représente une pièce extraite du dessin d'ensemble. Il doit définir la pièce intégralement de la manière la plus complète possible. Ce plan servira pour la fabrication de la pièce.

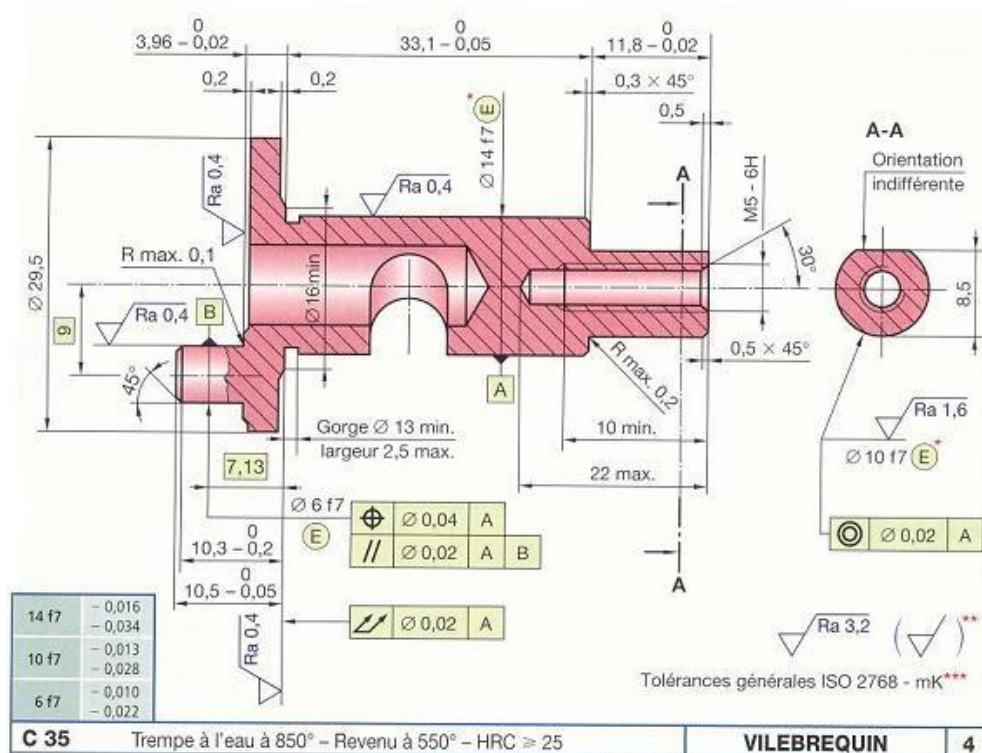


Fig. 1.3 Dessin de définition

1.3 Dessin d'ensemble

C'est le « plan » du mécanisme, plus ou moins détaillé, à une certaine échelle. Le mécanisme est représenté assemblé, montrant tous groupes et parties d'un produit complètement assemblé (Fig. 1.4).

1.3.1 Cartouche

Le cartouche est un cadre regroupant de nombreuses informations relatives au dessin : c'est la fiche d'identité du dessin (Fig. 1.4). Il contient les renseignements suivants : le titre de l'objet représenté, l'échelle, le format, le nom de l'entreprise, le nom du dessinateur, la date et le symbole ISO de disposition des vues. La forme du cartouche varie d'une entreprise à l'autre. La position du cartouche sur le dessin est souvent en bas et à droite.

1.3.2 Nomenclature

La nomenclature est une liste qui regroupe tous les éléments (pièces) du mécanisme dessiné. Cette liste est généralement sous forme de tableau composé de cinq colonnes (Fig. 1.4) :

- Dans la colonne Repère (Rep.), on trouve un chiffre différent attribué à chaque pièce différente. Cela permet d'identifier rapidement un élément sur le dessin ;

ÉLÉMENTS STANDARD DE CONSTRUCTION

- Dans la colonne Nombre (Nbre), un chiffre correspondant au nombre de pièces du même repère est noté ; cela permet de connaître le nombre total de chaque pièce identique ;
- Dans la colonne Désignation, chaque pièce est nommée, souvent en relation avec sa fonction;
- Dans la colonne Matière, la désignation normalisée de la matière de la pièce est renseignée ;
- Dans la colonne Observations, se trouve toute information complémentaire jugée utile pour le lecteur.

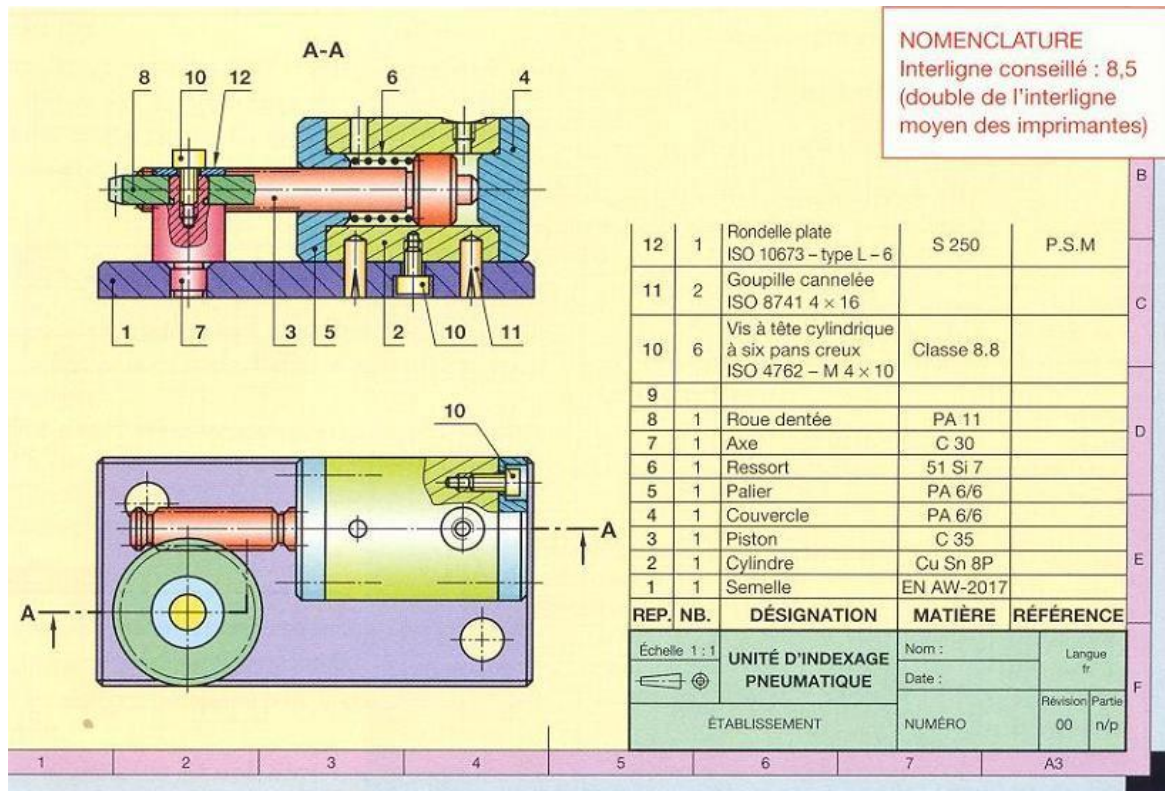


Fig. 1.4 Dessin d'ensemble, Cartouche, Nomenclature.

1.4 Schéma

C'est un dessin tracé à partir d'une famille de symboles (Fig. 1.5). Il permet de représenter de manière simple un mécanisme, une installation (électrique, hydraulique, mécanique ou pneumatique). Le schéma permet surtout de décrire facilement le fonctionnement plus ou moins complexe d'un système.

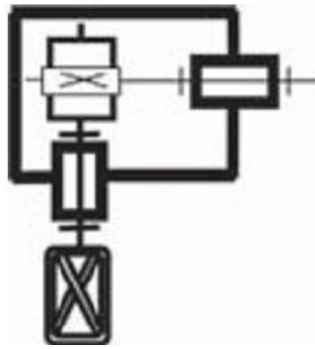


Fig. 1.5 Schéma

2. Schéma Cinématique

Les mécanismes réels sont souvent complexes (Fig. 1.6). De nombreuses pièces participent à la réalisation technologique de ces mécanismes, ce qui peut rendre difficile la compréhension du fonctionnement du mécanisme.

Le schéma cinématique est une représentation simplifiée et codée du mécanisme (Fig. 1.7), qui ne tient compte ni des formes, ni des dimensions du mécanisme, et qui obéit à une norme. Il traduit de façon simple le fonctionnement cinématique du mécanisme et est utilisé en:

- Analyse pour appréhender rapidement le fonctionnement.
- Conception pour exprimer rapidement la solution technique liée à une fonction de service.

Pour établir un schéma cinématique, on considère :

- Que les surfaces en contact sont géométriquement exactes et indéformables ;
- Que les mouvements autorisés sont théoriquement sans jeu.

Les schémas cinématiques montrent les possibilités de mouvement relatifs entre des solides cinématiquement liés. Ces schémas sont réalisés à l'aide de symboles graphiques qui modélisent les liaisons cinématiques entre les solides.

2.1 Liaison Cinématique

C'est un modèle cinématique du mécanisme (c'est à dire une interprétation en termes de mouvements relatifs possibles entre pièces). On dira que deux ensembles sont en liaison s'ils restent en contact par l'intermédiaire de surfaces au cours de l'utilisation du mécanisme. Nous verrons cependant que la connaissance des surfaces de contact n'est pas toujours suffisante pour connaître les possibilités de mouvement, et donc pour définir la liaison mise en jeu.

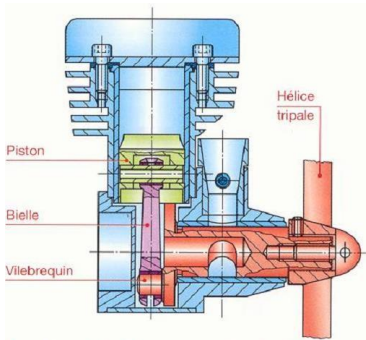


Fig. 1.6 Micromoteur 2 temps

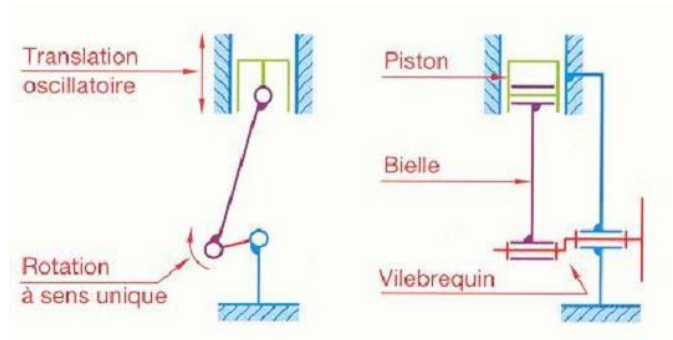


Fig. 1.7 Schémas cinématique

2.2 Degrés de Liberté

Une liaison cinématique entre deux solides est caractérisée par les degrés de liberté (DDL) qu'elle autorise. Le nombre de degrés de liberté entre deux solides est égale au nombre de mouvements relatifs indépendants existant entre ces deux solides. A un degré de liberté correspond la possibilité d'un mouvement de rotation ou de translation entre deux solides. Un solide qui n'a aucune liaison possède six degrés de liberté (Fig. 1.8) :

- Trois degrés de liberté en translation, T_x , T_y et T_z ;
- Trois degrés de liberté en rotation, R_x , R_y et R_z .

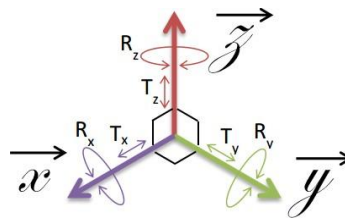


Fig. 1.8 Six degrés de liberté

2.3 Notion de solide

Dans les corps solides, on fera la différence entre un solide réel et un solide parfait:

2.3.1 Solide réel

Le solide réel est un solide avec toutes ces caractéristiques réelles (géométriques, physiques, mécaniques, ...).

2.3.2 Solide parfait

Le solide parfait est un modèle théorique du solide réel. Ce modèle théorique est indéformable quels que soient les efforts qui lui sont appliqués et il a une géométrie parfaite. C'est le solide théorique que l'on considère dans la plupart des études mécaniques. En pratique, on considérera : soit des solides parfaits, soit des solides déformables suivant une loi connue (Ressort,...).

2.4 Étude des Liaisons

En construction mécanique pour étudier les mouvements d'un mécanisme, on construit des modèles qui mettent en évidence les relations cinématiques entre ses constituants. C'est pourquoi il est intéressant de modéliser les liaisons mécaniques, c'est-à-dire les possibilités de mouvements compatibles avec les surfaces de contact. La modélisation est faite sous les hypothèses suivantes :

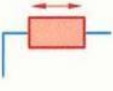
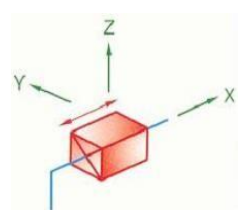
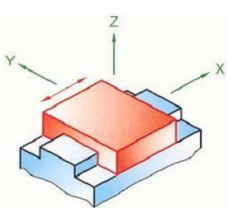




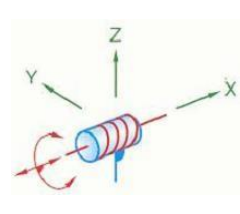
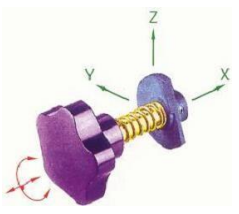
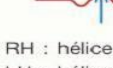


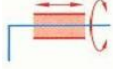
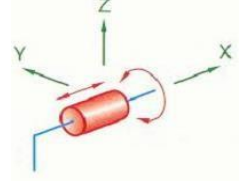
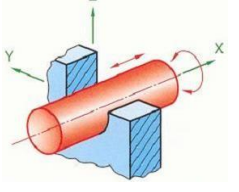


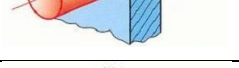

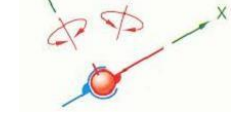

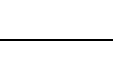



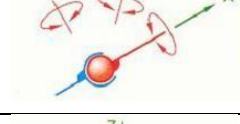

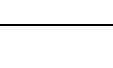
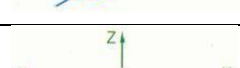
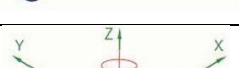


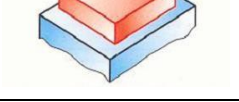
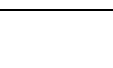
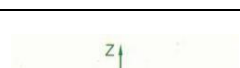


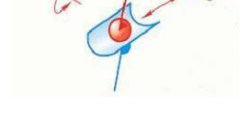
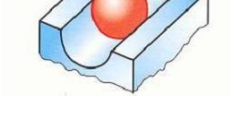
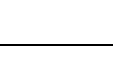



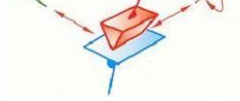
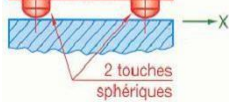
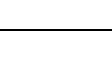


- Solides indéformables en mouvement relatif ;
- Surfaces géométriquement parfaites et positionnement géométrique relatif parfait des surfaces ;
- Contact sans jeu et sans adhérence pour les pièces en mouvement relatif ;
- Liaisons considérées permanentes.

2.5 Les Liaisons Mécaniques

Une liaison entre deux solides existe lorsqu'il y a contact entre les surfaces de ces deux solides. L'analyse des formes des surfaces en contact permettent de déterminer quels sont les degrés de liberté supprimés. Pour identifier la liaison mécanique équivalente entre deux pièces d'un mécanisme, il faut dans un premier temps identifier et caractériser les différents contacts entre ces pièces pour en déduire les degrés de liberté autorisés. Ensuite, avec les degrés de liberté autorisés par les contacts, il est facile d'en déduire la liaison mécanique équivalente. Le tableau 1.1 représente les différentes liaisons mécaniques équivalentes.

Nom de la liaison	Degré de liberté (DDL)	Mouvements relatifs		Symbole		Exemple
				Représentation plan	Perspective	
Encastrement ou fixe	0	0	Translation			
		0	Rotation			
Pivot	1	0	Translation			
		1	Rotation			

ÉLÉMENTS STANDARD DE CONSTRUCTION

Glissière	1	1	Translation	 Symboles admissibles		
		0	Rotation	 Symbole admissible		
Hélicoïdale	2	1	Translation	 Symbole admissible		
		1	Rotation	 RH : hélice à droite LH : hélice à gauche		
Pivot-glissant	2	1	Translation	 Symbole admissible		
		1	Rotation	 Symbole admissible		
Sphérique à doigt	2	0	Translation	 Symbole admissible		
		2	Rotation	 Symbole admissible		
Rotule ou Sphérique	3	0	Translation	 Symbole admissible		
		3	Rotation	 Symbole admissible		
Appui plan	3	2	Translation	 Symbole admissible		
		1	Rotation	 Symbole admissible		
Sphère-Cylindre Ou Linière annulaire	4	1	Translation	 Symbole admissible		
		3	Rotation	 Symbole admissible		
Rectiligne	4	2	Translation	 Symbole admissible		
		2	Rotation	 Symbole admissible		


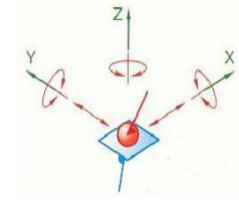
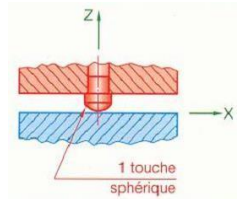
Sphère-plan Ou ponctuelle	5	2	Translation			
		3	Rotation			

Tableau 1.1 Les différentes liaisons mécaniques.

3. Les Fonctions Mécaniques Élémentaires

Les systèmes techniques ont plusieurs composantes. Chaque composante dans un système joue un rôle important dans la fonction globale du système. Le rôle de chaque composante ou d'un groupe de composantes dans un système technique est appelé la fonction mécanique. Les **composantes** est les parties dans un objet technique qui ont chacune une fonction mécanique. Un **Organe** est un élément d'un système ayant une fonction précise. Les quatre fonctions mécaniques élémentaires sont :

- **Liaison** : Est assurée par un organe d'assemblage qui relie deux parties ou plus dans un objet technique.
- **Guidage** : Une ou plusieurs composantes d'un objet technique qui contrôle le mouvement d'au moins une partie de l'objet.
- **Lubrification** : Il s'agit de la fonction d'une substance qui permet de réduire le frottement.
- **Étanchéité** : Il s'agit de la fonction d'un organe qui empêche un fluide (liquide ou gazeux) de s'échapper de son contenant.

4. Liaisons

Une liaison se connecte, se joint, ou relie deux composantes ou plus dans un objet technique. (Exemples: clou, écrou, vis, colle, boulon) (Fig. 1.9).



Fig. 1.9 Les éléments qui assure une liaison

4.1 Caractéristiques des liaisons

Une liaison a 4 caractéristiques : Directe ou indirecte, rigide ou élastique, démontable ou indémontable, complète ou partielle.

ÉLÉMENTS STANDARD DE CONSTRUCTION

4.1.1 Directe

Deux parties peuvent se tenir ensemble sans un intermédiaire. Doivent avoir des formes complémentaires (Fig. 1.10).

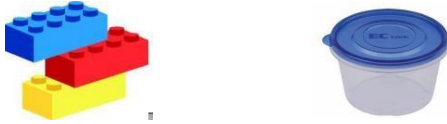


Fig. 1.10 Liaison directe

4.1.2 Indirecte

Deux parties se tiennent ensemble avec un intermédiaire (Fig. 1.11).

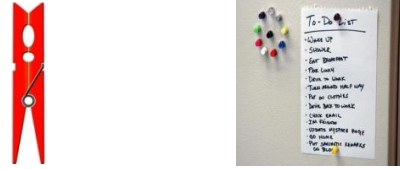


Fig. 1.11 Liaison indirecte

4.1.3 Rigide

Ne permet aucun changement de position des éléments assemblés (Fig. 1.12).



Fig. 1.12 Liaison rigide

4.1.4 Élastique

Les pièces peuvent changer de position lors de leur assemblage (Fig. 1.13).



Fig. 1.13 Liaison élastique

4.1.5 Démontable

Les pièces peuvent être séparées sans dommage (Fig. 1.14).



Fig. 1.14 Liaison démontable

4.1.6 Indémontable

La séparation des pièces causera la détérioration (Fig. 1.15).



Fig. 1.15 Liaison indémontable

4.1.7 Complète

Il n'y a aucun mouvement entre les pièces liées (Fig. 1.16).

4.1.8 Partielle

Au moins une pièce est capable de bouger dans certaines directions sans que l'autre ne se déplace (Fig. 1.17).

ÉLÉMENTS STANDARD DE CONSTRUCTION



Fig. 1.16 *Liaison complète*



Fig. 1.17 *Liaison partielle*

2- GUIDAGE

1. Définition

En mécanique, le **guidage** est une action assurée par un joint cinématique dans un mécanisme. Dans le guidage, une ou plusieurs pièces permettent à un élément de se déplacer d'une certaine façon. Le guidage décide si le mouvement est une translation ou une rotation.

2. Guidage en translation

Le guidage en translation est la solution constructive qui réalise une liaison glissière entre deux pièces ou ensembles de pièces. Le seul mouvement relatif possible entre les deux pièces ou ensembles de pièces est une translation rectiligne.

2.1 Fonctions d'un guidage en translation

Le guidage en translation de deux pièces d'un mécanisme doit assurer les fonctions suivantes:

- positionner les deux pièces entre elles ;
- permettre un mouvement relatif de translation rectiligne ;
- transmettre et supporter les efforts ;
- résister au milieu environnant ;
- être d'un encombrement minimal et assurer un fonctionnement silencieux.

Le choix d'une solution constructive associée à un guidage en translation se fonde sur les indicateurs de qualité suivants :

- précision du guidage ;
- vitesse de déplacement maximale ;
- intensité des actions mécaniques transmissibles ;
- fiabilité, maintenance ;
- encombrement ;
- coût.

2.2 Solutions constructives d'un guidage en translation

Un guidage en translation peut être réalisé de plusieurs manières. Ces solutions peuvent être classées en fonction des surfaces en contact entre les pièces :

- Contacts plans ;
- Contacts cylindriques ;
- Contacts linéaires ;
- Contacts ponctuels.

Ces contacts peuvent être aussi classés en deux familles distinctes :

- Contact direct ;
- Contact indirect.

2.3 Guidage par contact direct

Dans ce cas, les pièces de la liaison sont directement en contact. Le contact varie en fonction de la forme des pièces.

2.3.1 Guidage par association de deux pièces cylindriques

L'assemblage de deux pièces cylindriques donne une liaison pivot glissant. Il faut donc annuler la rotation pour obtenir une liaison glissière. Deux exemples sont représentés sur les figures 2.1 et 2.2. Le mouvement nécessite un jeu entre les deux pièces cylindriques qui ne doit être ni trop important ni trop faible. Il en est de même pour la longueur du guidage.

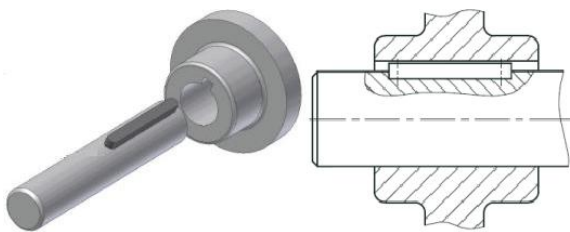


Fig. 2.1 Clavetage libre

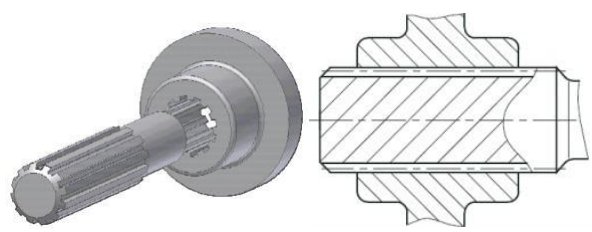


Fig. 2.2 Arbre cannelé

2.3.2 Guidage par deux pièces cylindriques

Sur la figure 2.3, la glissière 1 est composée de deux colonnes cylindriques, le coulisseau 2 possède deux alésages. Pour un bon fonctionnement de ce guidage, il est nécessaire que l'entraxe e soit le même sur la pièce 1 et sur la pièce 2 et que les deux colonnes cylindriques soient parallèles.

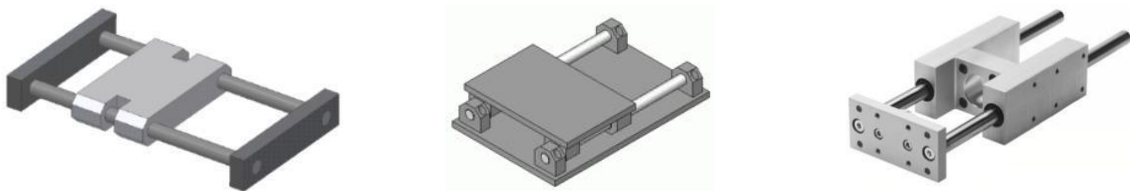


Fig. 2.3 Glissière par colonnes cylindriques

2.3.3 Guidage par surfaces planes

La glissière et le coulisseau possèdent des formes complémentaires. Les surfaces de contact planes sont prépondérantes. La géométrie des surfaces de contact n'est pas forcément rectangulaire, elle peut être en queue d'aronde (Fig. 2.4).



Fig. 2.4 Guidage par surfaces planes

2.4 Guidage par contact indirect

Il existe une grande variété d'éléments roulants standards permettant de réaliser une liaison glissière. Le frottement est réduit et les efforts sont importants avec ce type de guidage. Ces éléments admettent des vitesses importantes, un bon rendement et une grande précision.

2.4.1 Guidage par douilles à billes

Les billes circulent dans des cages tubulaires, de forme oblongue, ce qui permet des courses illimitées (Fig. 2.5). Il existe plusieurs sortes de douilles à billes (fendue, ouverte...).

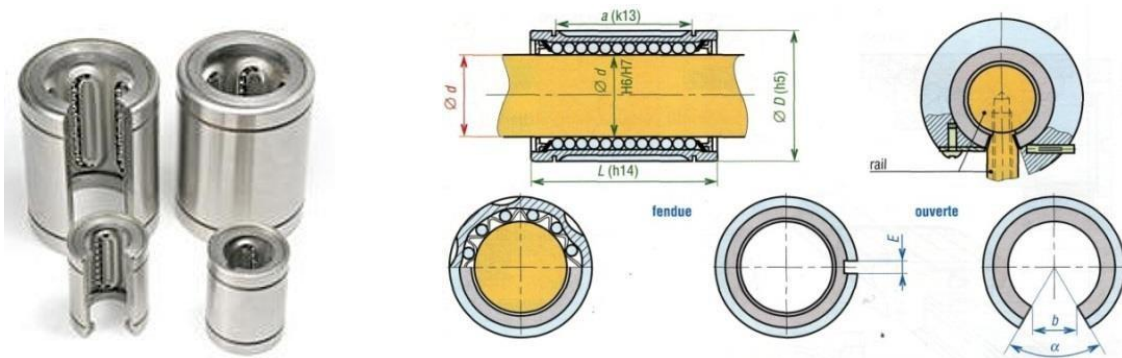


Fig. 2.5 Guidage par douilles à billes

2.4.2 Guidage par rails, patins, roues et galets

Les éléments roulants (pièces interposées) sont des galets, des roues ou des patins (Fig. 2.6).

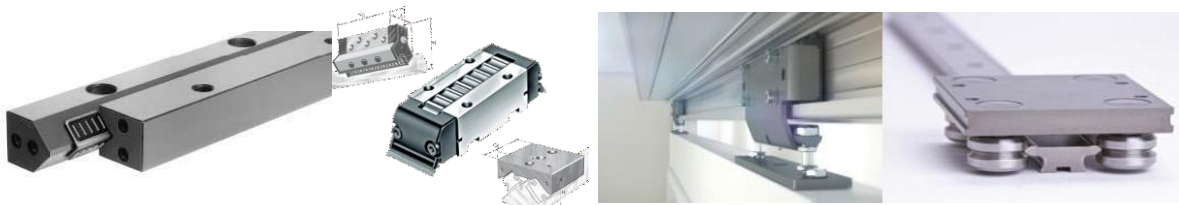


Fig. 2.6 Guidage par rails, patins, roues et galets

Deux types de montage existent, selon les actions mécaniques auxquelles est soumis le guidage.

2.4.2.1 Guidage maintenu

Le guidage est dit maintenu lorsqu'il peut être soumis à des couples ou des forces agissant suivant des directions quelconques sans se désassembler (Fig. 2.7). Ce guidage peut être utilisé dans n'importe quelle position : verticale, horizontale...

On peut donner comme exemples une machine à mesurer tridimensionnelle et une colonne de mesure en métrologie. La fonction Guider en translation doit être rigoureusement précise dans ce cas pour mesurer correctement.

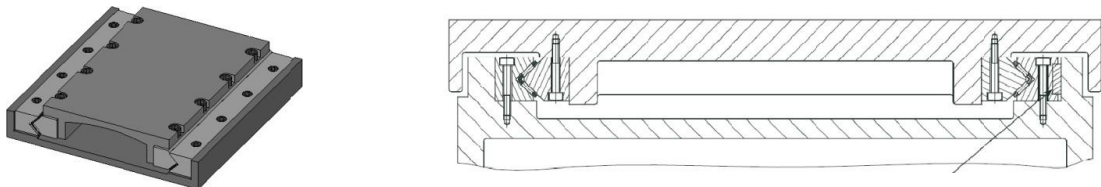


Fig. 2.7 Guidage maintenu

2.4.2.2 Guidage non maintenu

Le guidage est dit non maintenu lorsqu'il ne peut être soumis qu'à des actions de direction perpendiculaire à la surface de contact (Fig. 2.8). Ce guidage est surtout utilisé en position horizontale.



Fig. 2.8 Guidage non maintenu

3. Guidage en rotation

Un mouvement relatif de rotation entre deux parties mécaniques se révèle nécessaire dans de nombreux systèmes mécaniques. On utilise couramment les termes arbre et alésage pour désigner les deux parties en rotation relative. Pour l'alternateur (figure 1.9), la fonction Guider le rotor (arbre) par rapport au stator (alésage) est très importante. Il s'agit de trouver les éléments adéquats permettant de réaliser cette fonction.

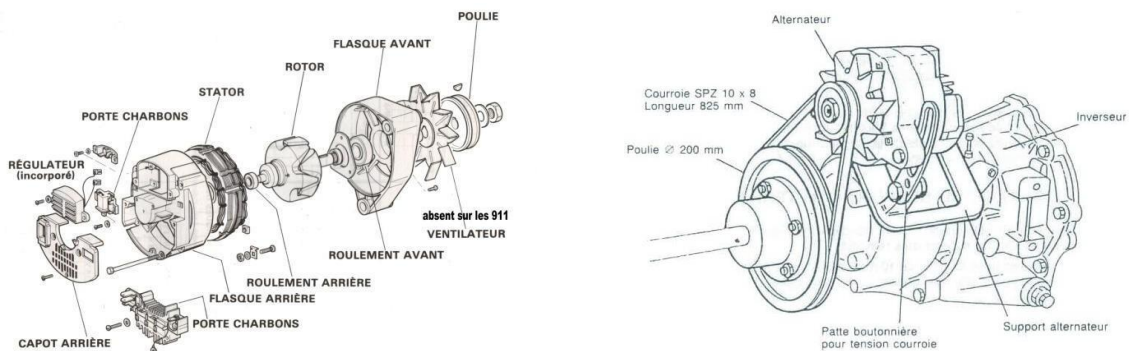


Fig. 1.9 Alternateur.

La solution constructive qui réalise la fonction est la liaison pivot (Fig. 2.10)



Fig. 2.10 Représentation de la liaison pivot.

3.1. Expression fonctionnelle du besoin

Un guidage en rotation entre deux pièces doit assurer les fonctions suivantes :

- positionner les deux pièces et autoriser une rotation entre elles autour d'un axe ;
- transmettre les efforts ;
- résister et s'adapter au milieu environnant ;
- être d'un encombrement minimal ;
- assurer un fonctionnement silencieux.

Le choix d'une solution constructive associée à un guidage en rotation se fonde sur les indicateurs de qualité suivants :

- degré de précision et encombrement ;
- puissance transmissible et température de fonctionnement ;
- rendement mécanique, durée de vie et fiabilité ;
- entretien ;
- coût.

3.2. Les différents types de guidages en rotation :

- guidage en rotation par contact direct entre surfaces ;
- guidage en rotation par interposition de bagues de frottement ;
- guidage en rotation par interposition d'éléments roulants.

3.2.1. Guidage en rotation par contact direct

3.2.1.1. Principe

Le guidage en rotation par contact direct peut être obtenu à partir du contact entre des surfaces cylindriques complémentaires et de deux arrêts qui suppriment le degré liberté en translation suivant l'axe des cylindres.

Il existe deux distributions principales de la géométrie du contact : l'une dite en porte-à faux (Fig. 2.11a) et l'autre appelée chape (Fig. 2.11b).

Le guidage en rotation peut également être obtenu à partir du contact direct entre deux surfaces coniques complémentaires d'angle d'inclinaison suffisant pour éviter le coincement.

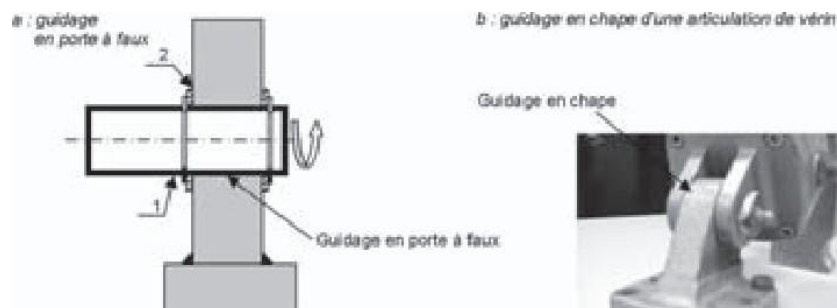


Fig. 1.11 Guidage en porte-à-faux et guidage en chape d'une articulation de vérin (Festo)

3.2.1.2. Avantages et inconvénients

D'un coût peu élevé, le guidage par contact direct entre surfaces a pour conséquence des résistances passives importantes qui limitent ses possibilités d'utilisation à de faibles vitesses et à des efforts transmissibles modérés. Dans le cas contraire, un échauffement important se produirait. La détermination des caractéristiques d'un guidage par contact direct entre surfaces s'appuie sur :

- la pression maximale admissible ;
- le comportement thermique ;
- la durée de vie souhaitée.

3.2.2. Guidage en rotation obtenu par contact indirect

L'interposition de bagues de frottement entre les pièces qui font l'objet d'un guidage en rotation permet d'atteindre des performances bien supérieures à celles obtenues avec un contact direct entre surfaces :

- réduction du coefficient de frottement ;
- augmentation de la durée de vie, fonctionnement silencieux ;
- report de l'usure sur les bagues.

Les principaux types de bagues de frottement utilisées pour assurer un guidage en rotation peuvent être classés en deux catégories : les coussinets et les bagues en tôle roulée.

Outre ces deux solutions, on peut placer dans la catégorie « bagues de frottement » les articulations sphériques qui s'utilisent par paire.

3.2.2.1 Coussinets frittés

Un coussinet est une bague, avec ou sans collerette, montée serrée dans l'alésage et glissant dans l'arbre (Fig. 2.12).

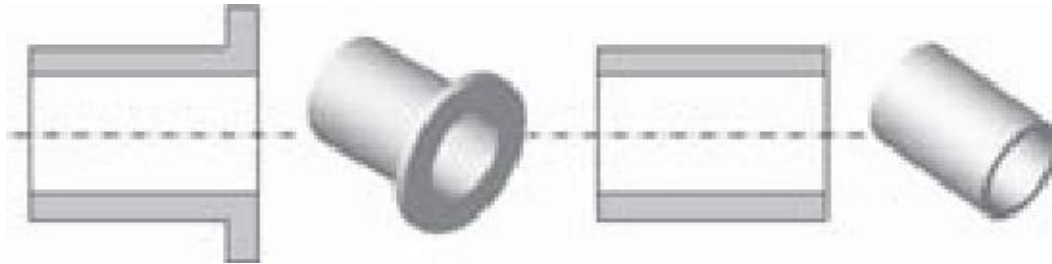


Fig. 1.12 Coussinets.

Les coussinets sont réalisés à partir de différents types de matériaux : bronze, matières plastiques (Nylon, Teflon), etc. Ils peuvent être utilisés à sec ou lubrifiés.

Les coussinets autolubrifiants sont obtenus à partir d'un métal fritté (poudre comprimée et chauffée en atmosphère contrôlée) dont la porosité varie entre 10 % et 30 % du volume du coussinet.

Ils sont imprégnés d'huile jusqu'à saturation, ou chargés de lubrifiant solide. Sous l'effet de la rotation de l'arbre et de l'élévation de la température (Fig. 2.13), l'huile est aspirée et assure une excellente lubrification. À l'arrêt de l'arbre, du fait de la porosité du coussinet, le lubrifiant reprend sa place.

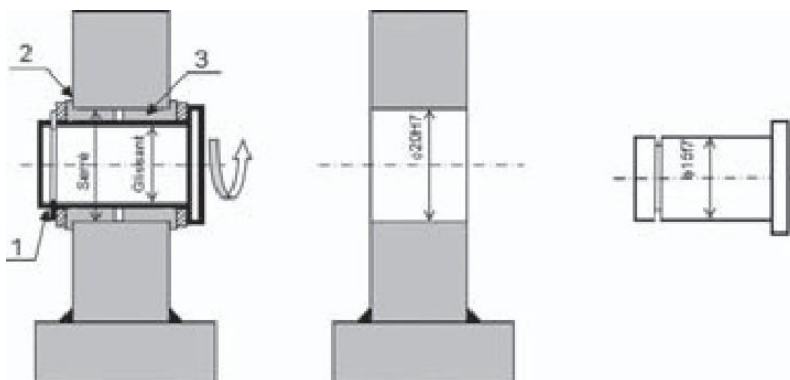


Fig. 1.13 Coussinets autolubrifiants.

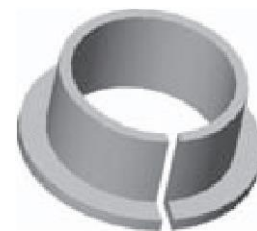


Fig. 1.14 Bague en tôle.

3.2.2.2 Bagues en tôle roulée

Elles sont constituées d'une tôle roulée recouverte d'une couche de bronze fritté et d'une couche de résine PTFE imprégnée de lubrifiant solide (graphite ou plomb, etc.) (Fig. 2.14). Le coefficient de frottement entre la résine PTFE et l'acier se situe vers 0,03 suivant les conditions de fonctionnement.

3.2.2.3 Articulations Sphériques

Les articulations sphériques sont constituées de deux bagues dont l'assemblage résulte du contact entre deux surfaces sphériques complémentaires. On les utilise pour réaliser un guidage en rotation admettant des décalages angulaires et un défaut d'alignement. Sur le moteur du presse-agrumes (Fig. 2.15), les articulations sphériques sont clipsées sur les paliers 22. Le palier 22 réalise le positionnement axial de l'arbre 20 par rapport au stator du moteur.

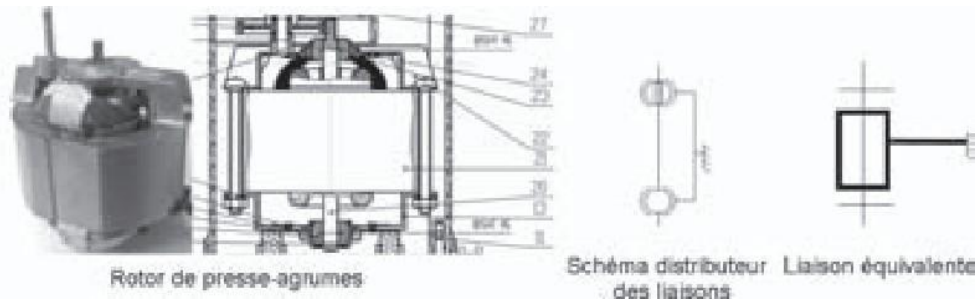


Fig. 2.15 Articulation sphériques sur presse-agrumes (conservatoire Seb, Lyon).

3.2.2.4 Guidage en rotation réalisé par roulement

Un roulement est constitué d'éléments (billes, rouleaux ou aiguilles) interposés entre une bague intérieure ajustée sur l'arbre à guider et une bague extérieure qui positionne le roulement dans l'alésage. Une cage d'espacement maintient les éléments roulants à intervalles égaux si nécessaire (Fig. 2.16 a, b et c). Le frottement de roulement ou résistance au roulement est réduit par rapport au frottement de glissement.

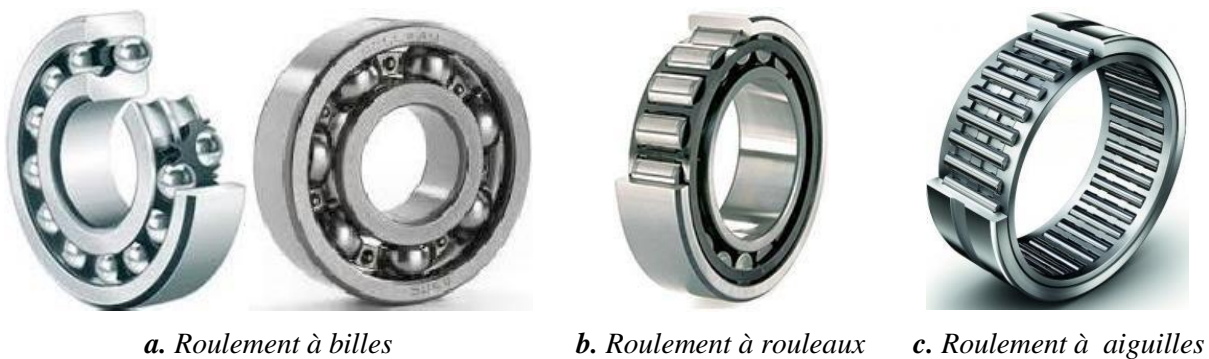


Fig. 2.16 Roulement

3.2.2.5 Butées à billes ou à aiguilles

A. Butées à billes

Peu utilisées, elles n'acceptent que des charges axiales pures. Ces butées (Fig. 2.17) existent dans des modèles à simple effet acceptant des charges axiales dans un seul sens et dans des modèles à double effet qui acceptent des charges axiales dans les deux sens. Les butées à billes doivent être associées à d'autres types de roulements qui assurent le centrage de l'arbre par rapport au logement.

B. Butées à aiguilles

Elles peuvent supporter de fortes charges axiales et sont peu sensibles aux chocs. Les montages obtenus sont très rigides et d'un encombrement réduit (Fig. 2.18).



Fig. 2.17 Butées à billes.



Fig. 2.18 Butées à aiguilles.

3.3 Liaison pivot obtenue par interposition d'un film d'huile

3.3.1 Paliers hydrodynamiques

Les paliers lisses hydrodynamiques (Fig. 2.19) sont constitués de coussinets qui comportent une rainure permettant l'arrivée d'un lubrifiant sous pression. De l'huile sous pression est envoyée dans une rainure dès que l'arbre a atteint une vitesse de rotation assez grande. Un film d'huile est alors créé : il n'y a plus de contact métal sur métal entre l'arbre et le coussinet. Ce film d'huile, dont l'épaisseur varie de 0,002 à 0,020 mm, sépare les pièces en mouvement.

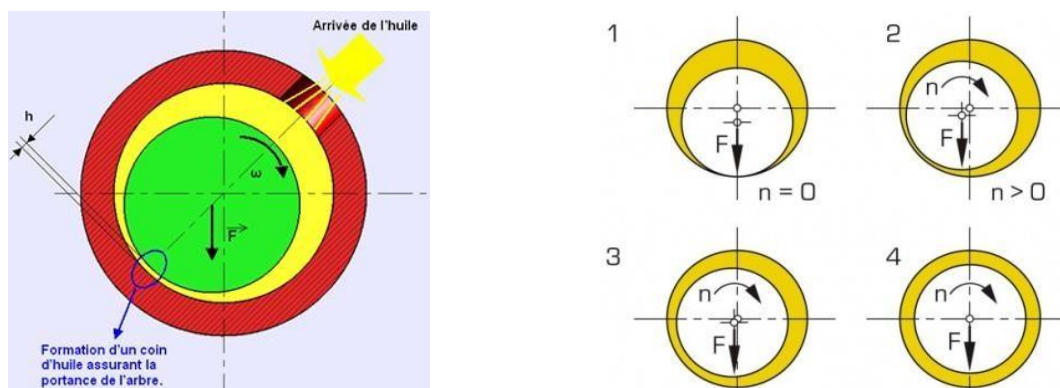


Fig. 2.19 Palier hydrodynamique.

La formation du film d'huile dépend :

- des conditions de fonctionnement (vitesse et pression) ;
- du lubrifiant (viscosité) ;
- de l'état des surfaces (rugosité $R_{max} < 0,25 h_{min}$ avec h_{min} la hauteur du film d'huile).

ÉLÉMENTS STANDARD DE CONSTRUCTION

En fonctionnement normal (régime hydrodynamique), il n'y a pas de contact métal sur métal entre l'arbre et le coussinet, sauf au démarrage.

Le palier hydrodynamique, tout en acceptant des charges plus importantes, permet une vitesse et une durée de vie supérieures aux autres types de solutions. L'arrivée du lubrifiant doit être placée dans la zone de dépression ou de pression nulle.

Dans ce type de palier hydrodynamique, le débit d'huile doit être suffisant pour compenser les fuites latérales.

Le coefficient de frottement obtenu f est faible :

$$0,002 < f < 0,01$$

La longueur L du coussinet est telle que :

$$0,25D < L < 0,75D$$

Applications types : moteurs à combustion interne (paliers de vilebrequin et de bielles), paliers de turbines.

3.3.2 Paliers hydrostatiques

Leur principe de fonctionnement est différent de celui des paliers hydrodynamiques, il n'y a pas de formation de coin d'huile, la pression est fournie par une pompe qui envoie le fluide sous pression dans quatre chambres munies d'un étranglement constant (Fig. 2.20). L'huile s'échappe par l'intermédiaire des canalisations de retour au réservoir. L'arbre est sustenté au centre du mécanisme par la pression du fluide.

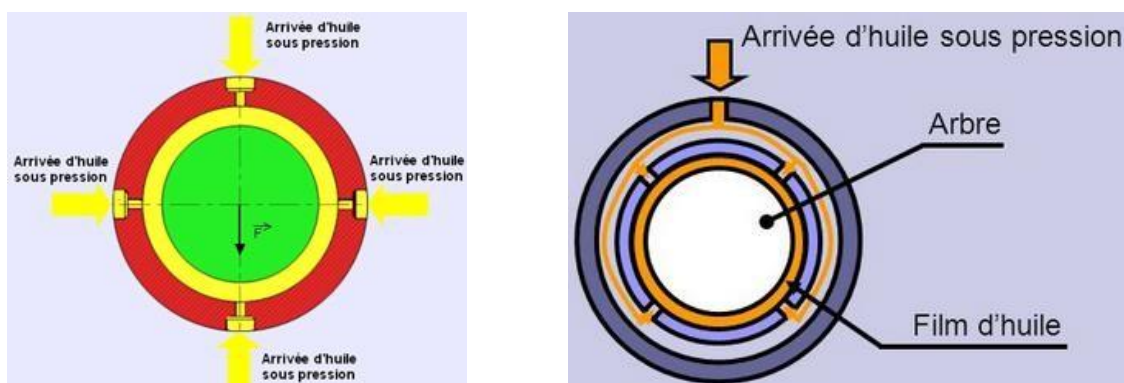


Fig. 1.18 Palier hydrostatiques.

Tableau comparatif des différentes familles de guidages en rotation

Type de guidage	Avantages	Limites d'utilisation	Applications
Contact direct	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Coût faible ▪ Réalisation simple 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vitesse maximale faible ▪ Frottement important ▪ Efforts transmissibles modérés 	
Paliers lisses	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Encombrement radial réduit ▪ Fonctionnement sans lubrification à faible vitesse ▪ Utilisation possible en milieu agressif avec des revêtements de type PTFE Coût global réduit 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Jeu radial important, de l'ordre de quelques centièmes de millimètre ▪ Encombrement en longueur ▪ Sensibilité aux défauts d'alignement ▪ Capacité de charge inversement proportionnelle à la vitesse ▪ Usure 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Moteurs électriques pour outillage ou électroménager : axe monté sur bagues Autolubrifiantes ▪ Paliers des vilebrequins de moteur d'automobile lubrifié par film d'huile sous pression
Paliers à roulements	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Composants normalisés universels ▪ Précision élevée ▪ Supportent des charges radiales et axiales ▪ Frottements internes réduits 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Encombrement radial important ▪ Durée de vie fonction de la charge ▪ Vitesse maximale possible, pouvant parfois être une limite 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Roues, réducteurs, moteurs, poulies, pompes, broches, cylindres d'imprimantes, etc.
Paliers hydro-dynamiques	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Très grande précision ▪ Frottements internes très réduits ▪ Capacité en vitesse élevée 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ils ne permettent que la rotation de l'arbre ▪ Étanchéité difficile ▪ Ils supportent uniquement des charges radiales ▪ Prix très élevé 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Moteurs à combustion interne (paliers de vilebrequin et de bielles) ▪ Paliers de turbines

Tableau 2.1 Tableau comparatif des familles de guidages en rotation.

3- LUBRIFICATION

1. Introduction

Le lubrifiant est un produit qui, interposé entre les deux surfaces frottantes d'un mécanisme. La fonction d'un lubrifiant est de favoriser le mouvement ou le glissement entre deux surfaces frottantes.

D'une manière générale, les lubrifiants réduisent les frottements et l'usure, évitent le grippage, participent au refroidissement, évacuent les impuretés (poussières, débris d'usure...), augmente la durée de vie, protègent contre la corrosion, peuvent avoir une fonction nettoyante (détergente) et parfois participer à l'étanchéité, améliore le rendement d'un mécanisme, d'où une diminution de la consommation d'énergie.

Chacune de ces fonctions peut être plus ou moins développée selon l'application. De tous les lubrifiants, enrichis ou non, les huiles et les graisses minérales à base de pétrole sont les plus utilisées. Les produits de synthèse (fabriqués chimiquement) occupent une place grandissante. Remarques : À elles seules, les huiles représentent plus de 95 % du total des lubrifiants employés. Le tableau ci-dessous représente les principaux lubrifiants

Principaux Lubrifiants			
	Solides	Liquides	Pâteux
Lubrifiants naturels	<ul style="list-style-type: none"> – Graphite – Bisulfure de MoS₂ – Biséléniures – Cires, résines... 	<ul style="list-style-type: none"> – Huiles minérales de pétroles : aromatiques paraffiniques et naphthéniques – Huiles siccatives 	<ul style="list-style-type: none"> – Graisses (à base d'huile de pétrole) – Pâtes lubrifiantes – Lanoline, suif, brais...
Lubrifiants de synthèse ou artificiels	<ul style="list-style-type: none"> – Plastiques fluorés (PTFE) – Polyamides – Vernis de glissements 	<ul style="list-style-type: none"> – Huiles synthétiques, polyglycols, esters, silicones, phosphates – Huiles composés ou compound... 	<ul style="list-style-type: none"> – Graisses de synthèse (silicones...)

Tableau 3.1 Principaux Lubrifiants

2. Frottement

Dans un mécanisme, lors du mouvement relatif entre deux pièces en contact, sous une charge normale \vec{F} , l'application du modèle de Coulomb nous dit que l'effort tangentiel \vec{T} nécessaire pour produire le déplacement est tel que $T = f.F$ (avec f désignant le coefficient de

frottement). Si la vitesse relative entre les deux pièces est V , la puissance dissipée en chaleur est TV et est directement proportionnelle au coefficient de frottement.

Diminuer ces frottements, c'est augmenter le rendement des mécanismes et diminuer leur usure. Il est donc important de chercher à réduire le coefficient de frottement au sein d'une liaison. Cette résistance au déplacement est fonction d'un grand nombre de paramètres (matériau en contact, état des surfaces en contact, etc.), la lubrification éventuelle du mécanisme est un critère très important pour la diminution de la résistance au déplacement.

Le frottement entre deux surfaces est dit immédiat, ou à sec, dans le cas de surface directement en contact. Il est dit médiat, lorsqu'une substance quelconque, appelée lubrifiant, est interposée. Suivant l'épaisseur de cette pellicule interposée, le régime est dit onctueux ou hydrodynamique ; dans ce dernier cas, les surfaces baignent dans l'huile et la force de frottement sert à vaincre les résistances tangentielles qu'opposent les couches de lubrifiant à leur glissement mutuel. Le frottement entre deux surfaces frottantes peut être décrit par quatre comportements typiques.

2.1 Le frottement sec

Le régime sec, qui est caractérisé par une absence de lubrifiant et un contact direct entre les surfaces. Le glissement y est le plus difficile et l'usure la plus rapide ; il est caractérisé par des contacts locaux fréquents sur les aspérités des surfaces, des échauffements, des arrachements et des microsoudures (Fig. 3.1 a).

2.2 Le frottement onctueux

Le régime onctueux, lorsqu'un film de produit lubrifiant est interposé entre les deux surfaces en contact (épilamen : très fine couche) et que l'épaisseur de ce film est faible devant la hauteur maximale des aspérités des surfaces en contact, le frottement et l'usure sont diminués. Le frottement est diminué ($f \approx 0,05$ à $0,20$) et le glissement favorisé. Les contacts locaux directs, sans épilamen, sont plus rares ; il y a moins d'arrachements, de microsoudures et d'usure (Fig. 3.1 b).

2.3 Le frottement hydrodynamique

Le régime hydrodynamique, lorsque l'épaisseur du film de lubrifiant est supérieure à la hauteur des aspérités et qu'il ne reste plus aucune partie des surfaces en contact. Celles-ci sont toujours séparées par une couche de lubrifiant d'épaisseur minimale e de $0,02$ à $0,008$ mm. Les résistances au mouvement correspondent au cisaillement des différentes couches de fluide entre la surface fixe et la surface mobile (viscosité). Pour peu que la vitesse relative soit

suffisante, le frottement est très réduit ($f \approx 0,002$ à $0,01$) et l'usure quasi nulle (pas de contact direct) (Fig. 3.1 C).

2.4 Le frottement mixte

Le régime mixte, c'est un mélange de frottement onctueux et de frottement hydrodynamique, caractérisé par une portance hydrodynamique et quelques contacts locaux avec épilamen, le frottement ($f \approx 0,04$ à $0,1$) et l'usure sont encore diminué,

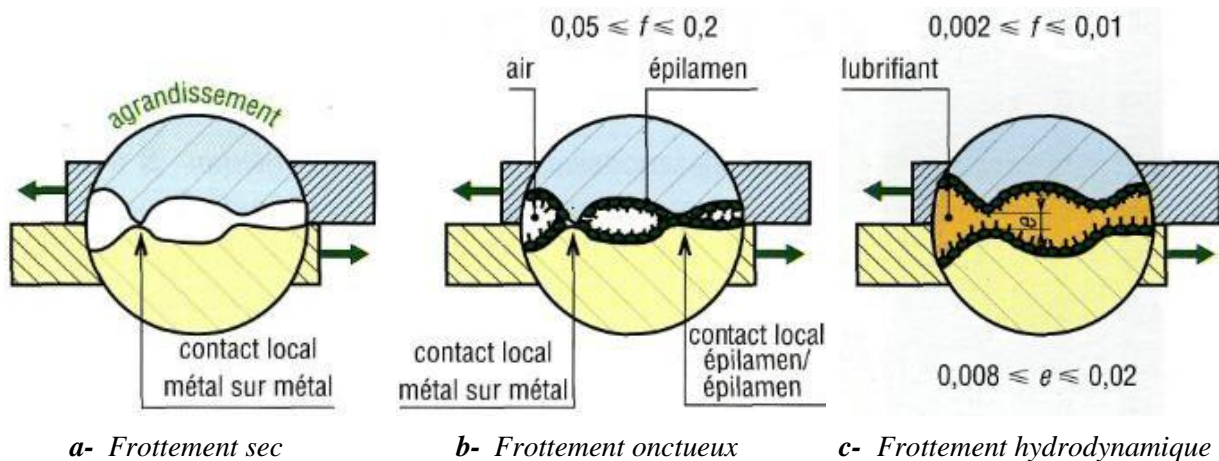


Fig. 3.1 Principaux cas de frottement entre deux surfaces.

3. Fonction réalisée par le système de lubrification

- Réduire les frottements, tout en favorisant le mouvement ou le glissement afin d'éviter le grippage entre deux surfaces frottantes (par exemple pour les moteurs à combustion interne, diminuer la consommation de carburant).
- Protéger les organes mécaniques contre l'usure et la corrosion (garantir la longévité et l'efficacité du composant).
- Maintenir la propreté, garantir la longévité du composant en maintenant l'ensemble des pièces dans un bon état de propreté tout en évacuant les impuretés vers un filtre à huile, en assurant des vidanges régulières et le remplacement du filtre.
- Participer à l'étanchéité (indispensable pour assurer un fonctionnement correct).
- Évacuer efficacement la chaleur (refroidir le composant pour éviter la déformation des différentes pièces : ceci nécessite souvent un échangeur de chaleur).

4. Lubrification Solide

Les lubrifiants solides sont des matières qui réduisent en phase solide les frottements entre surfaces glissant l'une contre l'autre, sans avoir besoin d'un milieu liquide. Ils sont capables de fournir une meilleure lubrification à des températures supérieures par rapport à des lubrifiants à base d'huile traditionnels. Les propriétés de faible friction de lubrifiants secs

résultent de leur structure en couches au niveau moléculaire avec une faible adhérence entre couches. De telles couches sont capables de coulisser par rapport à l'autre avec un minimum de force appliquée, par conséquent, leur donnant leurs propriétés de faible friction. Cependant, une structure cristalline en couches seul ne suffit pas nécessairement pour la lubrification. Il existe des matières solides avec des structures non lamellaires qui fonctionnent bien en tant que lubrifiants secs dans certaines applications telles que le polytétrafluoroéthylène (PTFE ou Teflon). Les lubrifiants solides les plus couramment utilisés sont:

- Disulfure de molybdène. (MoS_2)
- Graphite. (C) Disulfure de molybdène. (MoS_2)
- Polytétrafluoroéthylène (PTFE ou Teflon)

4.1 Caractéristiques des lubrifiants solides

❖ Principales utilisations

- Températures élevées,
- Pressions de contact élevées,
- Environnement chimique hostile...,
- La lubrification à sec ("frottement sec") est la seule possible.

❖ Principaux inconvénients

- Frottement assez élevé (0,02 à 0,3),
- Le film lubrifiant protecteur a une durée de vie limitée (1000 à 1000000 de cycles),
- Le lubrifiant ne participe pas au refroidissement des surfaces en contact (pas d'évacuation de la chaleur)...

❖ Modes d'application

- Par frottage des surfaces avec une poudre sèche fine du lubrifiant,
- Par incorporation à une résine ou à un liant (résines, sels métalliques, céramiques...) sous forme de fine couche protectrice (0,02 mm),
- Par réaction chimique avec le métal de base des surfaces.

4.2 Principaux lubrifiants solides

4.2.1 Bisulfure de molybdène MoS_2

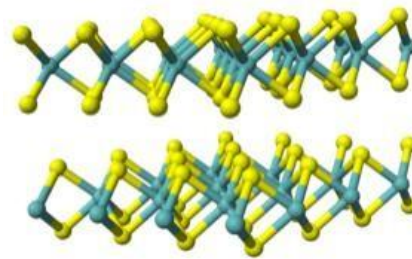
C'est un lubrifiant solide ou sec à structure en réseau à plusieurs couches (lamellaire comme le graphite) ayant une grande capacité portante et un faible coefficient de frottement. Non soluble, il reste sous forme de grains très fins en suspension (moins de $0,2\ \mu\text{m}$ dans le cas de roulements) incorporés aux huiles, aux graisses, aux pâtes lubrifiantes extrêmes pressions et à

des vernis de glissement. On le trouve à l'état naturel dans les mines de fer mêlé aux autres minéraux, au-dessus de 400°C il se combine avec l'oxygène (donne du MoO₃).

La molybdénite (Fig. 3.2) est une espèce minérale formée de sulfure de molybdène de formule MoS₂ avec des traces de rhodium, rhénium, argent, or et sélénium. Elle est dimorphe de la jordisite pour les deux polytypes.



Molybdénite



*Structure cristalline du bisulfure de molybdène MoS₂.
Le molybdène est en bleu-vert, le soufre en jaune.*

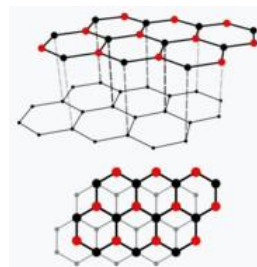
Fig. 3.2 Molybdène MoS₂

4.2.2 Graphite

Il tire ses propriétés frottantes (faible frottement) de sa structure cristalline lamellaire. Il se caractérise également par son caractère réfractaire, une conductibilité électrique élevée et une faible dureté. Au-dessus de 550°C il se combine avec l'oxygène (Fig. 3.3).



Graphite natif



Structure du graphite.



Maille élémentaire.

Fig. 3.3 Structure du PTFE.

4.2.3 Polytétrafluoroéthylène PTFE (Téflon)

Le polytétrafluoroéthylène (Fig. 3.4), c'est un matériau thermoplastique n'ayant qu'une faible tendance à adhérer aux surfaces des autres matériaux. Il possède des propriétés remarquables qui le distinguent des autres polymères thermoplastiques, notamment une excellente résistance thermique et chimique, ainsi qu'un coefficient de frottement extrêmement faible. Température d'utilisation limitée à 300°C environ.

Dans la vie courante, le Téflon (Fig. 3.5) est largement utilisé comme revêtement antiadhésif dans les ustensiles de cuisine.



Fig. 3.4 Structure du PTFE.



Fig. 3.5 Le Téflon

Le tableau ci-dessous représente les différents Coefficient de frottement Gamme de température maximal pour les différents lubrifiants solides

Produit	Coefficient de frottement	Gamme de température Max
Graphite	0.11 to 0.2	450°C-538°C
MoS2	0.10 to 0.15	343°C-399°C
PTFE	0.06 to 0.10	260°C-302°C

Tableau 3.2 Coefficient de frottement et Gamme de température Max pour les différents lubrifiants solides

5. Lubrification à L'huile

La lubrification à l'huile permet d'obtenir un frottement onctueux, mixte ou hydrodynamique (dépend de la géométrie, de l'état des surfaces en contact, du jeu, etc.). Elles se présentent sous la forme d'une base (huile minérale ou de synthèse) avec des additifs (anti-usure, extrême pression, anticorrosion...) pour améliorer les caractéristiques ou adapter l'huile à l'application choisie. Les huiles sont caractérisées par leur viscosité, en (m^2/s) ou centistoke ($10000 ST = 1 m^2/s$). Les principaux dispositifs de lubrification à l'huile sont :

- Lubrification à l'huile par barbotage ou bain d'huile
- Lubrification à l'huile par brouillard d'huile
- Lubrification à l'huile par circulation d'huile

La viscosité et le point d'écoulement sont les propriétés principales.

5.1 Viscosités

Plus une huile est épaisse, plus sa viscosité est élevée. La fluidité est la propriété inverse de la viscosité. La viscosité de la majorité des fluides diminue lorsque la température augmente.

5.1.1 Viscosité cinématique (ν)

On la détermine en mesurant, à une température donnée, la durée de l'écoulement d'un volume connu de liquide à travers un appareil comportant un orifice ou tube calibré (tube capillaire) de dimensions normalisées (Fig. 3.6).

5.1.2 Viscosité dynamique (μ)

Elle est égale au produit de la viscosité cinématique (ν) par la masse volumique du fluide (ρ) ($\mu = \rho \cdot \nu$) (Fig. 3.7)

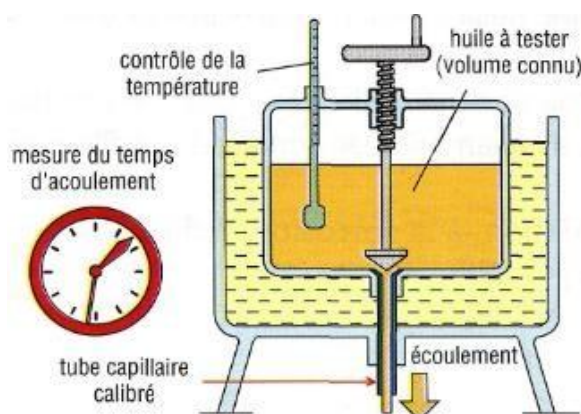


Fig. 3.6 Viscosités cinématiques

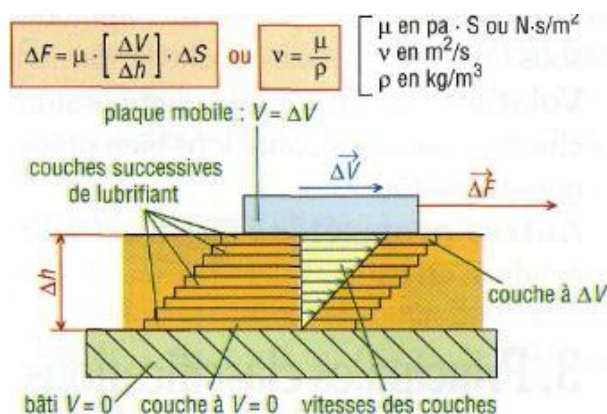


Fig. 3.7 Viscosités cinématiques

Le tableau ci-dessous représente la viscosité cinématique (ν), la masse volumique du fluide (ρ) et la viscosité dynamique (μ) à la température d'ambiante 20° c

	viscosité cinématique ν (cSt)	masse volumique ρ (kg/m ³)	viscosité dynamique μ (Pa. s)
Essence	≅ 0,74	743	0,00055
Gas oil	≅ 14	893	0,013
Huile SAE 10	≅ 95	909	0,088
Huile SAE 30	≅ 320	909	0,290
Huile SAE 40	≅ 770	909	0,700

Tableau 3.2 (ν), (ρ) et (μ) à 20° c

5.2 Types d'huiles

On peut encore entendre des termes comme « huile machine » ou « huile de broche », mais ils ont cessé d'être utilisés comme désignations commerciales. On parle maintenant d'huiles lubrifiantes, qui sont classées en huiles minérales, synthétiques, animales ou végétales. Les huiles lubrifiantes les plus courantes pour roulements sont les huiles minérales. Il s'agit d'huiles de pétrole brut raffinées. Elles peuvent être paraffiniques ou naphthéniques ou une combinaison des deux.

5.2.1 Huiles minérales

Dans la plupart des cas, les huiles minérales de haute qualité sont les mieux adaptées pour la lubrification des roulements. L'huile minérale pure est exempte de composés instables, tels que l'azote, l'oxygène, les composés sulfurés et les acides, qui peuvent affecter la durée de

service des roulements. Les huiles les plus usuelles d'aujourd'hui, sont des huiles paraffiniques hautement raffinées.

5.2.2 Huiles synthétiques

Les huiles de synthèse ne sont utilisées que pour des applications spéciales et principalement à des températures de fonctionnement supérieures à 90°C ou à très basse température.

5.2.3 Huiles animales et végétales

Les huiles animales et végétales ne doivent pas être utilisées, en général, pour les roulements, car il existe un risque d'altération de la qualité ou de formation d'acide après peu de temps. Dans des cas spéciaux, cependant, des huiles dites composeuses, c'est-à-dire des huiles minérales avec 10% au maximum d'huile animale ou végétale, peuvent être utilisées. Elles sont plus communes dans l'industrie alimentaire. Suivre les recommandations du fabricant en ce qui concerne l'utilisation de ces huiles.

5.3 Lubrification à l'huile par barbotage ou bain d'huile :

Un ensemble de pièces en mouvement dans un mécanisme est baigné dans l'huile (Fig. 3.8 et 3.9). Dans ce dispositif, on utilise les propriétés de l'huile, viscosité, onctuosité pour son entraînement vers les surfaces à lubrifier, soit par l'organe même (engrenages par exemples figure 3.8 et 3.9), soit par un organe interposé (chaîne, anneau, disque centrifuge etc....). La figure ci-dessous propose un système de lubrification classique appelé communément, lubrification par barbotage.

Le choix de la quantité d'huile est très important : trop d'huile, il risque d'y avoir des pertes d'énergie et un échauffement dus au brassage, pas assez d'huile et la lubrification de tous les éléments ne sera pas assurée, le refroidissement incomplet. Le niveau d'huile doit pouvoir être vérifié régulièrement.

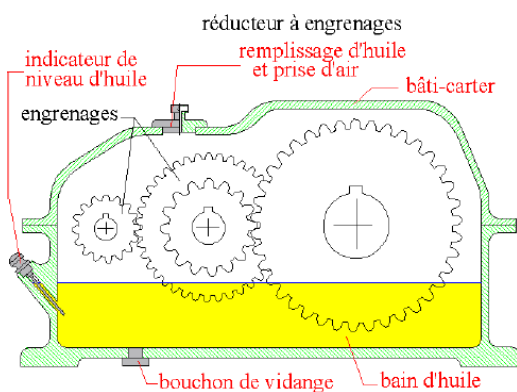


Fig. 3.8 Principe de la lubrification par barbotage

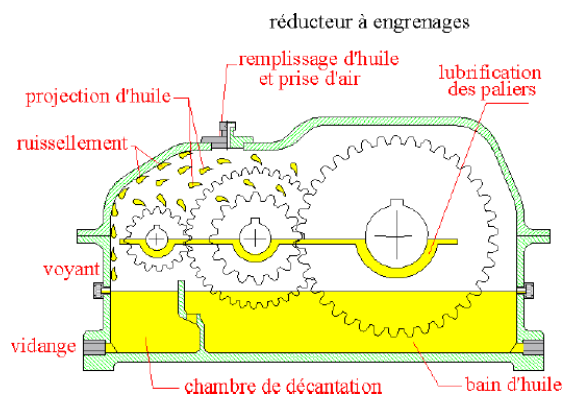


Fig. 3.9 Principe de la lubrification par barbotage et projection.

5.4 Lubrification à l'huile par brouillard d'huile:

Ce type de lubrification est utilisée dans le cas de vitesses très élevées, c'est aussi ce type de lubrification que l'on utilise pour les réseaux d'air pneumatique. Le débit d'air participe au refroidissement du système. Un compresseur pulvérise une certaine quantité de gouttelettes d'huile sur les éléments à étancher (roulements, engrenages) (Fig. 3.10).

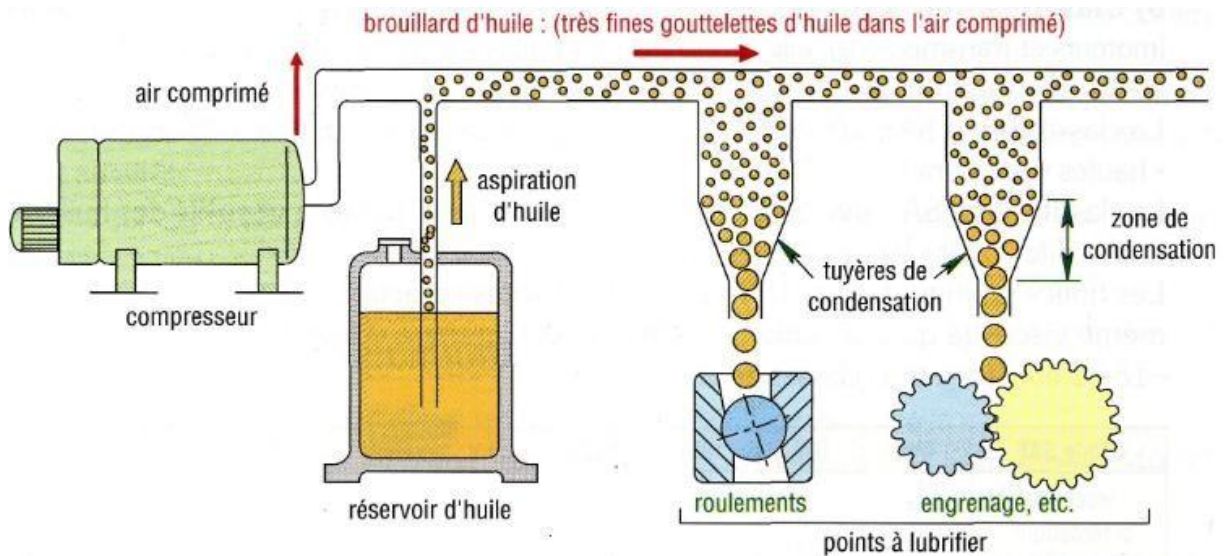


Fig. 1.10 Principe de la lubrification par brouillard d'huile.

5.4.1 Lubrification à l'huile par circulation d'huile

Ce système de lubrification est le plus complexe et le plus coûteux. Une même pompe permet d'envoyer l'huile vers les différents composants du système à lubrifier, le système est complété par des échangeurs thermiques pour le refroidissement et un filtre pour éliminer les impuretés. C'est le type de lubrification que l'on retrouve dans un moteur thermique. Une pompe assure la circulation de l'huile vers les éléments à lubrifier, par interposition d'un film d'huile. Elle permet aussi de réguler la température (exemple : lubrification des paliers dans le moteur d'une automobile) (Fig. 3.11).

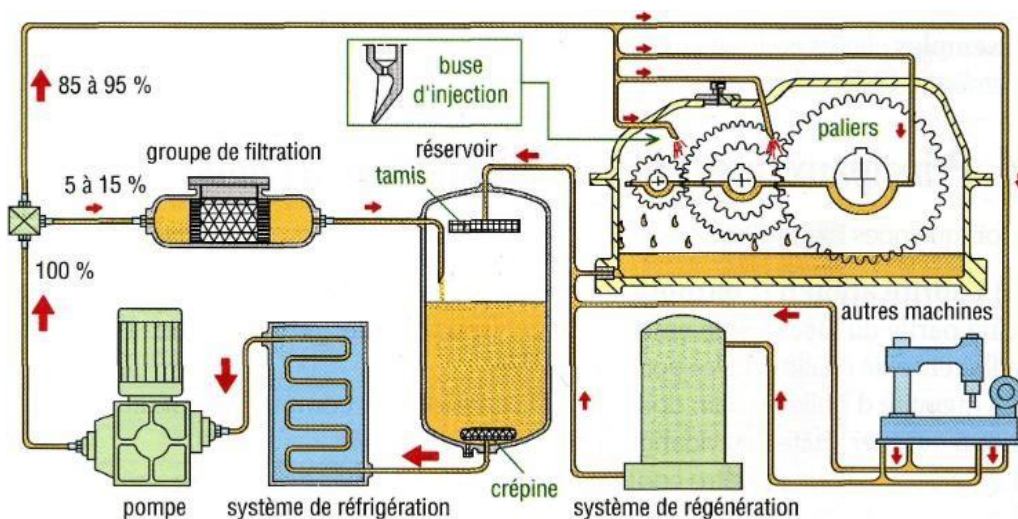


Fig. 1.11 Lubrification par circulation d'huile.

6. Lubrification à la graisse

Elles permettent un frottement onctueux ou un frottement mixte. Du fait de leur consistance, elles sont stables au repos et se comportent comme un solide. En service, sous l'action des charges, elles réagissent comme un liquide : la fluidité augmente et se rapproche de celle de l'huile de base. Les graisses, composées d'huiles minérales et d'additifs tels que le plomb pour les extrêmes pressions ou le lithium, sont caractérisées par leur onctuosité. Elles sont utilisées lorsque les températures et les vitesses sont faibles, et les charges fortes de manière générale.

6.1 Constitution des graisses

Elles sont obtenues par dispersion d'agents épaississants appelés savons (origine métalliques déterminant les propriétés physiques : consistance, etc.) dans une huile de base (minérales ou synthétique) représentant 85 à 97 % de la masse totale plus des additifs (Sont les additifs les plus courants) (Fig. 3.12).

- Le graphite,
- Le bisulfure de molybdène,
- Le plomb (qualité extrême pression),
- Les colorants et les charges (talc...)

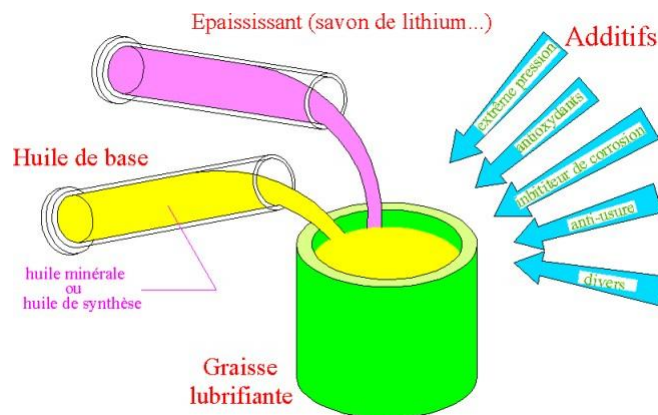


Fig. 3.12 Constitution des graisses

6.2 Propriétés des graisses

6.2.1 Consistance

C'est la propriété principale. Elle exprime la résistance à la déformation de la graisse. Étroitement liée à l'adhérence et à l'onctuosité, elle diminue lorsque la température augmente (comportement du beurre).

6.2.2 Point de goutte

Il caractérise la tenue de la graisse à la chaleur en précisant la température de début de liquéfaction.

6.3 Graissage à vie

La graisse est mise en place et jamais renouvelée, ce qui suppose une très bonne étanchéité. Citons les roulements étanches avec joints à lèvres frottantes, certains moteurs électriques et l'électroménager.

6.4 Graissage périodique

On rencontre deux types de situations dans la maintenance des appareils :

- Le changement de la graisse usagée s'effectue après démontage du mécanisme lors d'un entretien prévu ;
- La graisse est renouvelée sans démontage de l'appareil ; il faut alors prévoir un dispositif d'apport de graisse (graisseur + conduit) et un système d'évacuation ou récupération de graisse usagée.

6.5 Graisseurs

6.5.1 Graisseurs à haute et moyenne pression

6.5.1.1 Les graisseurs « Hydraulic »

Ils conviennent pour le graissage à haute pression ((Fig. 3.13)). La forme de la tête est prévue pour un accrochage rapide de la pompe de graissage. Ces graisseurs peuvent être montés soit dans des trous taraudés (série standard), soit dans des trous lisses (graisseurs auto-taraudants).

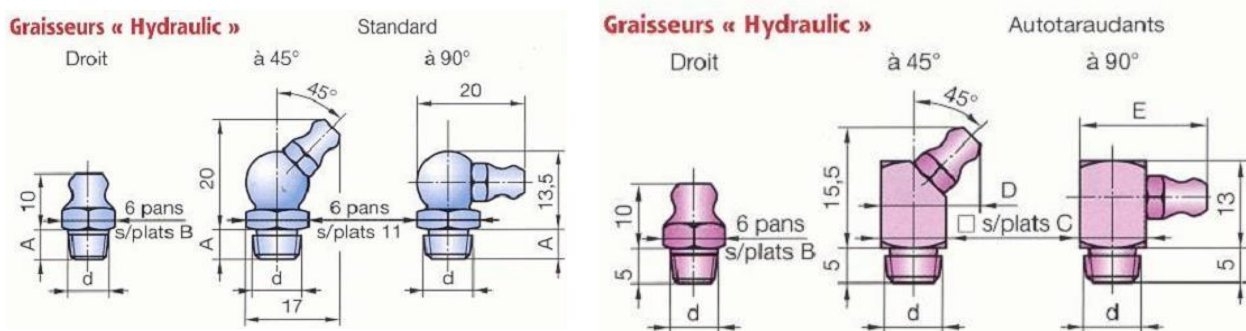


Fig. 3.13 Graisseurs « Hydraulic ».

6.5.1.2 Les graisseurs « six pans »

Ils conviennent pour le graissage à moyenne pression (Fig. 3.14). La forme de la tête permet un accrochage de l'agrafe de la pompe par déplacement radial.

6.5.2 Graisseurs à basse pression

Ils conviennent pour le graissage à l'huile ou à la graisse peu épaisse à basse pression (Fig. 3.15). Le graisseur « Lub » lisse est destiné à être monté à force dans un trou de même diamètre nominal.

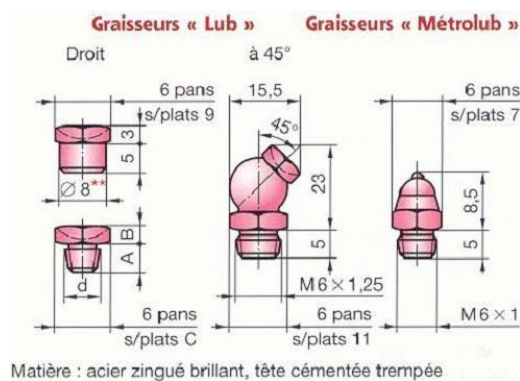


Fig. 3.14 Graisseurs à basse pression.

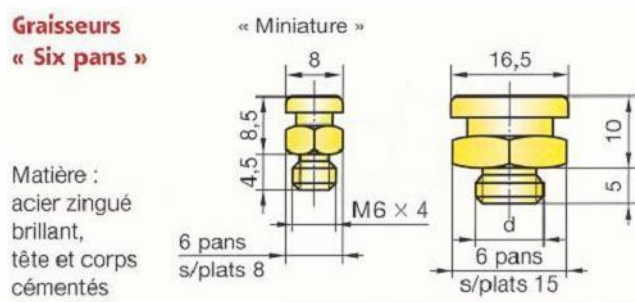


Fig. 3.15 Graisseurs « six pans ».

4- ÉTANCHÉITE

1. Introduction

Une enceinte est dite parfaitement étanche s'il ne peut y avoir aucune circulation de fluide et/ou de particules entre l'intérieur et l'extérieur de cette enceinte. Une étanchéité correspond donc à une interdiction de passage.

La fonction de service d'une étanchéité en général, est de réaliser une frontière matérielle entre deux milieux ambiants différents. Ces deux milieux se différencient par la nature des fluides qui les composent.

L'étanchéité peut être décrite en fonction des critères suivants :

- **Étanchéité statique:** Étanchéité entre deux pièces sans mouvement relatifs (ou de très faibles amplitudes).
- **Étanchéité dynamique:** Étanchéité entre deux pièces avec mouvement relatifs de rotation et/ou de translation.
- **Étanchéité directe:** Étanchéité directe entre les surfaces (sans interposition de joints).
- **Étanchéité indirecte:** Étanchéité avec interposition d'éléments déformables (joints, segments).

Les critères à prendre en compte lors du choix d'un type d'étanchéité sont :

- Nature du fluide à étancher,
- Pression du fluide,
- Température et dilatation,
- Mouvement relatif des surfaces et vitesse de ce mouvement,
- Formes des surfaces,
- Rugosité des surfaces,
- Durée de vie souhaitée,
- Tolérance de fuite,
- Compatibilité chimique entre le joint et le fluide à étancher,
- Porosité des matériaux,
- Simplicité de la conception,
- Entretien,
- Coût.

2. Étanchéité statique

Une étanchéité est dite **statique** lorsque les pièces en contact sont immobiles l'une par rapport à l'autre. Les surfaces en contact présentent des défauts (aspérités), le fluide peut donc s'échapper de la zone sous pression. Pour empêcher le fluide de se glisser entre les aspérités, plusieurs solutions peuvent être envisagées pour réaliser cette étanchéité :

- Augmenter l'effort de serrage entre les surfaces en contact pour déformer les aspérités, solution peu intéressante.
- Diminuer les aspérités en polissant les surfaces en contact.
- Réduire la taille d'une des surfaces pour permettre un écrasement des aspérités, solution simple mais souvent indémontable.
- Interposer un élément déformable (joint, pâte, colle...) qui comble les aspérités, solution la plus utilisée.

2.1 Étanchéité directe

Etanchéité assurée uniquement par l'état des surfaces en contact entre S1 et S2, sans élément d'étanchéité supplémentaire (sans joint). En pressant fortement deux surfaces métalliques l'une contre l'autre, leurs aspérités s'écrasent et les îlots de contact s'élargissent jusqu'à réaliser une bonne étanchéité même à de fortes pressions : les déformations locales des matériaux des surfaces en contact permettent le maintien de cette étanchéité jusqu'à des pressions élevées. Cette étanchéité peut être réalisée soit :

- En rodant les surfaces de contact à lier l'une sur l'autre afin d'obtenir des états de surfaces parfaits. Exemple : Raccord à joint conique (Fig. 4.1).
- En utilisant un produit de collage et d'étanchéité.

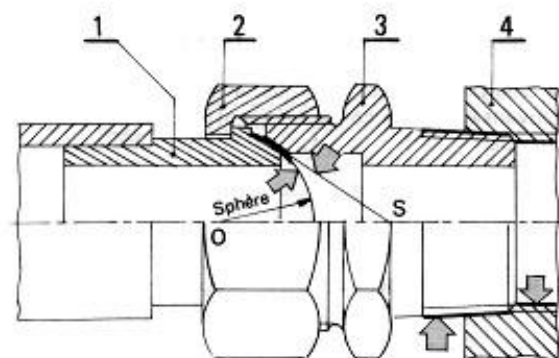


Fig. 4.1 Raccord à joint conique.

2.2 Étanchéité indirecte

Etanchéité réalisée en interposant entre les deux surfaces à étancher un joint de commerce. Un joint interposé entre deux pièces doit :

- remplir entièrement les dépressions entre les aspérités,
- supporter la pression et la température de service,
- résister à l'agression chimique des fluides à étancher.

Pour obtenir une étanchéité correcte, il faut que :

- le matériau du joint présente un comportement plastique (Fig. 4.2),
- le matériau soit tendre (élastomère, fibres agglomérées, cuivre recuit, aluminium, fer doux),
- la surface de contact soit étroite afin de pouvoir comprimer le joint avec une pression convenable.

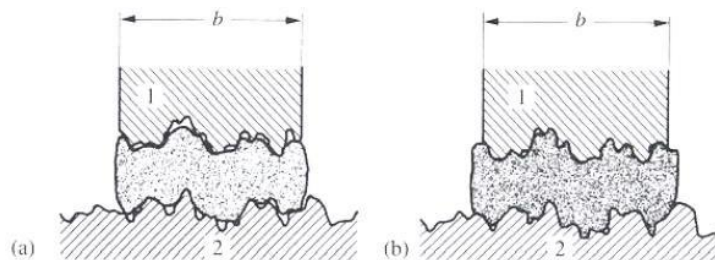


Fig. 4.2 Joint d'étanchéité.

L'épaisseur des joints diminue avec le temps (plastification du matériau, fluage). On peut limiter le fluage latéral du joint en l'emprisonnant dans une gorge. Lors du démontage d'un ensemble mécanique, il faut absolument remplacer l'ancien joint car celui-ci s'est généralement durci et ne peut plus s'adapter aux surfaces. Pour des joints en caoutchouc et élastomères, il faut s'assurer que les surfaces en contact soient polies.

2.3 Les différents joints pour l'étanchéité statique

2.3.1 Joint plat de formes quelconques

Ces joints sont découpés aux formes voulus dans de grandes plaques (Fig. 4.3).

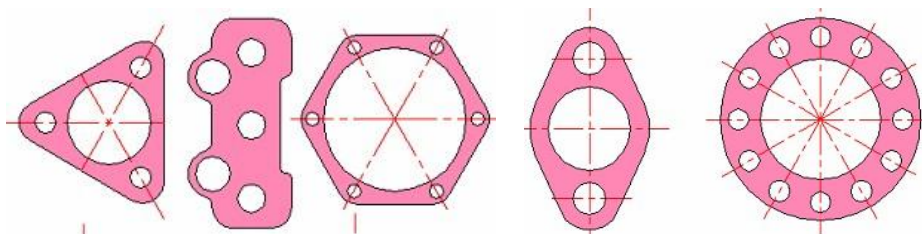


Fig. 4.3 Joint plat de forme quelconque.

Les matériaux de cc joints sont :

- Les papiers, constitués de fibres permettant d'obtenir des joints peu épais adaptés notamment aux états de surface de qualité.
- L'amiante associé à des liants divers ;

- Le liège associé à d'autres composants ;
- Des fibres (par exemple les joints pour canalisations d'eau) ;
- Les élastomères (néoprène, Viton, perbunan...) ;
- Les métaux enrobant d'autres matériaux formant l'ensemble des joints métalloplastiques.

2.3.2 Joint plat pour bride

Certaines pièces mécanique sont assemblées par des formes appelées **brides** (Fig. 4.4).



Fig. 4.4 Brides.

Ces brides peuvent s'emboîter (Fig. 4.5-a et b) ou ne présenter qu'un plan d'appui (Fig. 4.5-c et d). Le serrage s'effectue par vissage.

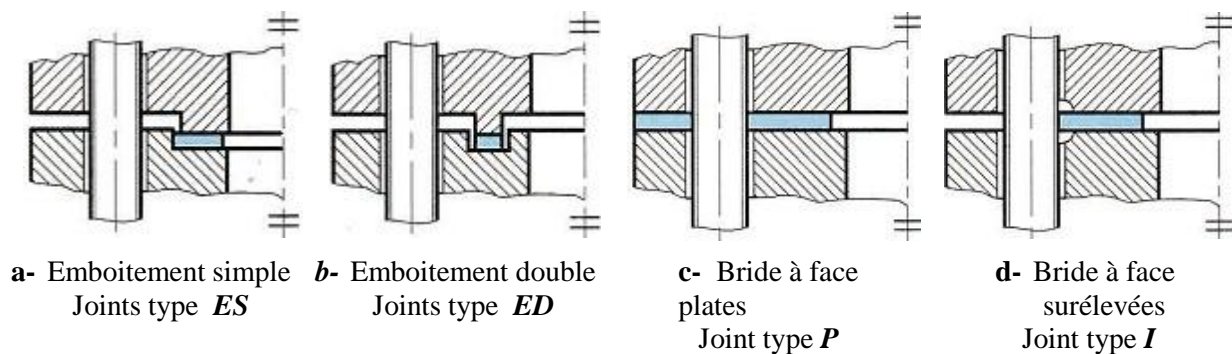


Fig. 4.5 Brides et types de joints.

2.3.3 Joint toriques

Ces joints sont très efficaces et d'un prix réduit. La plage des températures compatibles va de -50 °C à +250 °C. Pour certains joints, la pression va du vide poussé à 100 MPa. Les joints toriques (Fig. 4.6) sont principalement utilisés en étanchéité statique (figure) mais aussi donnent également satisfaction dans certaines applications dynamiques.

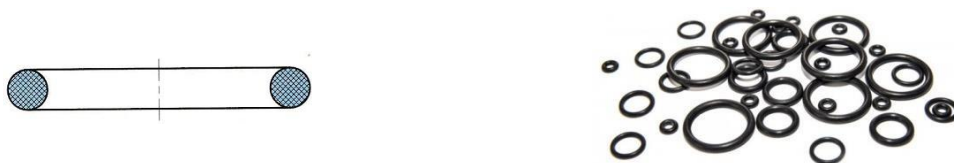


Fig. 4.6 Joints toriques.

Le choix d'un joint s'effectue en plusieurs étapes. La matière du joint doit être compatible avec le fluide en présence, la température de service et le matériau en contact (surtout alliages de cuivre et matières plastiques). Pour un même matériau, il existe plusieurs duretés qui permettent au joint de résister à la pression de service.

Dans les assemblages, les jeux peuvent être amplifiés par les déformations liées aux effets de la pression et aux dilatations. Les risques d'extrusion dus à la pression et au jeu diminuent quand la dureté augmente.

Les joints sont généralement placés dans des gorges rectangulaires (Fig. 4.7) ou éventuellement trapézoïdales, s'il faut empêcher un joint de sortir de sa gorge lors d'un démontage de pièces.

Le volume de la gorge doit toujours être supérieur au volume du joint en service. Les cotes D et G sont fonction de d , diamètre du tore et du type de montage (Fig. 4.8 et Fig. 4.9).

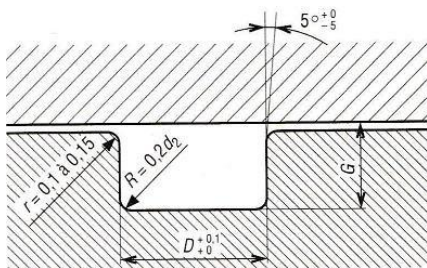


Fig. 4.7 Gorge rectangulaire

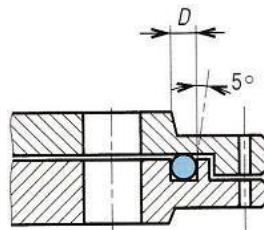


Fig. 4.8 Montage sur brides

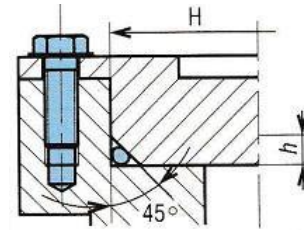


Fig. 4.9 Montage sous couvercle

2.3.4 Joints à quatre lobes

Comme les joints toriques, ils sont obtenus par moulage d'élastomères synthétiques (nitrile, éthylène-propylène, fluoroélastomères). En étanchéité statique, ils sont montés dans des gorges trapézoïdales (Fig. 4.10). Leur section est sensiblement carrée et comporte quatre lobes (Fig. 4.11). Il est cependant préférable d'utiliser les joints toriques.

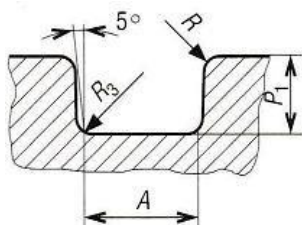


Fig. 4.10 Gorge, montage statique.

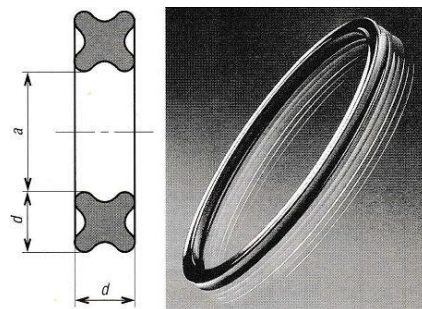


Fig. 4.11 Joints à quatre lobes.

2.3.5 Bagues BS

La bague BS est une rondelle étanche constituée d'un anneau trapézoïdale de caoutchouc synthétique adhérent sur une rondelle métallique (Fig. 4.12). Après serrage, la base du trapèze se transforme en deux lèvres plaquées par la pression sur les surfaces d'étanchéité (Fig. 4.13). Ces bagues sont utilisées avec des éléments filetés (vis, écrous borgnes, etc) et des assemblages par brides. La bague BS standard est centrée dans un lamage. La bague BS autocentré est munie d'une lèvre de centrage sur la vis.

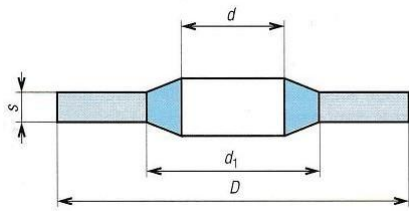


Fig. 4.12 Bague BS.

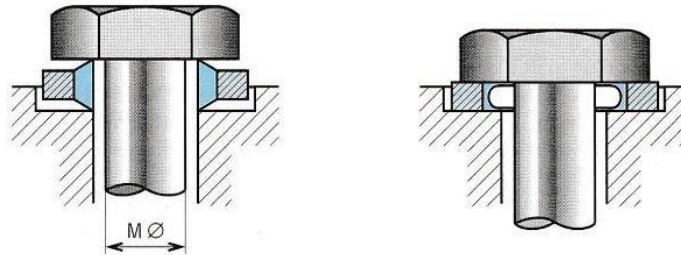


Fig. 4.13 Bague BS avant et après le serrage

3. Étanchéité dynamique

Une étanchéité est dite dynamique lorsque que les surfaces d'étanchéité sont mobiles. On distingue principalement deux cas suivant le type de mouvement entre les pièces (translation ou rotation).

3.1 Translation

Le mouvement est parallèle au gradient de pression (Fig. 4.14), la pièce mobile balaie périodiquement une partie de la surface de la pièce fixe. Si le fluide à étancher est un liquide, il existe toujours un film de quelques microns d'épaisseur qui reste accroché à la surface. En passant dessus, la pièce mobile entraîne une faible quantité de liquide dans son mouvement et agit comme une pompe à viscosité. Le film ainsi réalisé lubrifie les surfaces et de ce fait diminue leur usure. Ce cas se rencontre dans tous les pistons et tiges de pistons (Fig. 4.15).

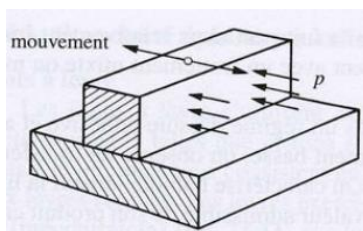


Fig. 4.14 Mouvement parallèle au gradient de pression

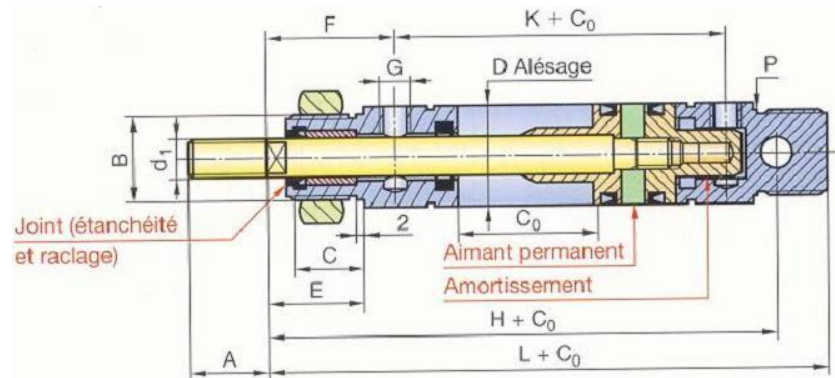


Fig. 4.15 vérin

3.2 Rotation

En général le mouvement est perpendiculaire au gradient de pression (Fig. 4.16). Les passages d'arbre à travers des parois (carters) conduisent à un mouvement perpendiculaire au gradient de pression. A défaut de mesures spéciales, les surfaces ne sont pas lubrifiées par le fluide alors que la vitesse relative est souvent très élevée, d'où une usure importante.

On peut distinguer deux classes ;

- les étanchéités radiales (surface d'étanchéité cylindrique) (Fig. 4.17 a)
- les étanchéités axiales (surface d'étanchéité plane perpendiculaire à l'axe de rotation), dans ce dernier cas, l'étanchéité est meilleure dans le cas (Fig. 4.17 b).

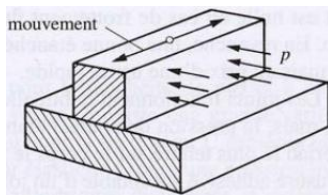


Fig. 4.16 Mouvement perpendiculaire au gradient de pression

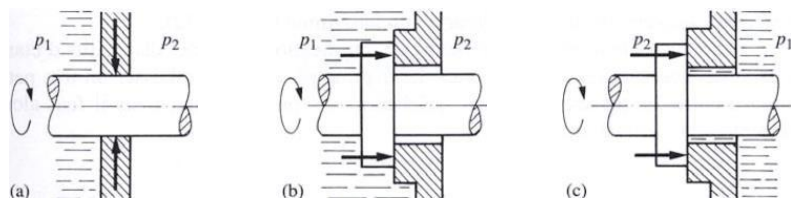


Fig. 4.17 étanchéités radiales et axiales

Les solutions utilisées dans ce cas peuvent se répartir en deux catégories :

- Les solutions avec frottement qui sont principalement les joints à lèvres (axiale ou/et radiale), les joints toriques et quatre lobes, les presse-étoupe à tresse et à joint à lèvres ; etc. ; on doit aussi citer les protections du type soufflet et éléments télescopiques (courant en machine-outil).
- Les solutions sans frottement, parmi lesquelles on trouve le passage étroit, la chicane, le labyrinthe (pouvant être remplis de graisse), la turbine à vis, le déflecteur.

3.3 Étanchéité dynamique directe

Les pièces sont en contact par deux surfaces compatibles, cylindre ou plan. Il faut avoir une géométrie complémentaire et un jeu de fonctionnement le plus faible afin de diminuer les fuites qui peuvent être très faibles si le fluide est très visqueux. L'étanchéité directe sera qualifiée par un débit de fuite.

3.4 Étanchéité dynamique indirecte

Elle est réalisée par l'interposition d'un joint entre les deux surfaces en mouvement de rotation. Plusieurs problèmes sont à régler :

- Lubrification des surfaces au contact du joint pour diminuer le frottement donc la température.

- La protection du joint des agents extérieurs (poussières abrasives par exemple).
- Montage correct du joint pour minimiser le débit de fuite (géométrie des surfaces, ajustement, pression de serrage etc...).

3.5 Les différents joints pour l'étanchéité dynamique

3.5.1 Joints à lèvres pour arbres tournants

Ces joints sont très utilisés pour l'étanchéité à l'huile. Il existe de nombreux types de joints, qui comportent tous au moins les éléments de la figure 4.18.

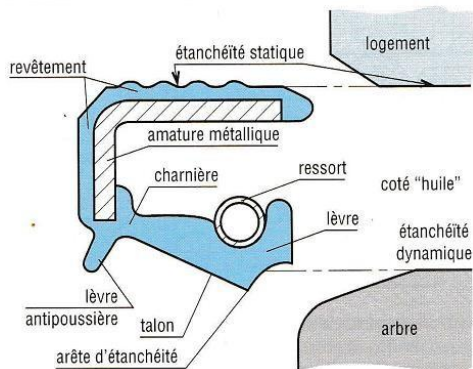


Fig. 4.18 Joints à lèvres pour arbres tournants.

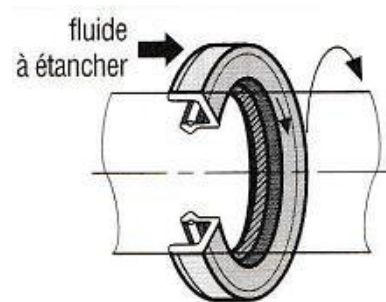


Fig. 4.19 Stries sur un joint

Le fluide dont il faut empêcher le passage est toujours situé du côté F. éventuellement, une lèvre anti-poussière peut exister pour empêcher les poussières extérieures de pénétrer dans le mécanisme (on place de la graisse entre les deux lèvres).le ressort exerce une pression radiale sur l'arrête d'étanchéité. Des stries réalisées sur le talon de la lèvre améliorent l'efficacité du joint (Fig. 4.19).

Le joint est monté serrer dans un logement. Si le joint est positionné par un épaulement, ce dernier doit être situé du côté extérieur du joint (Fig. 4.20). Si le joint est positionné par l'outil de montage, les deux montages de la figure 4.21 sont corrects. Il ne faut pas utiliser le montage de la figure 4.22, car l'action de l'outil de montage risque de plier l'armature du joint.

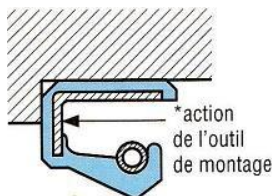


Fig. 4.20 avec épaulement.

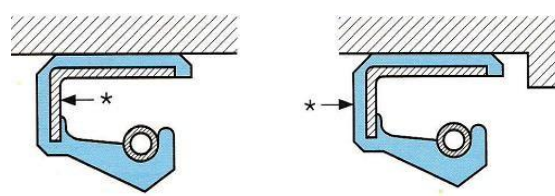


Fig. 4.21 positionné par outil de montage.

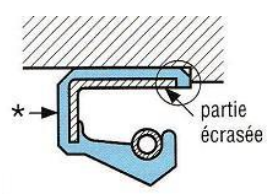


Fig. 4.22 montage à éviter.

Les formes admises pour le logement sont données sur la figure 4.23. l'état de surface de l'alésage est R de 4 à 12,5 μm , pour un joint enrobé, et R de 3 à 8 μm , pour une armature métallique.

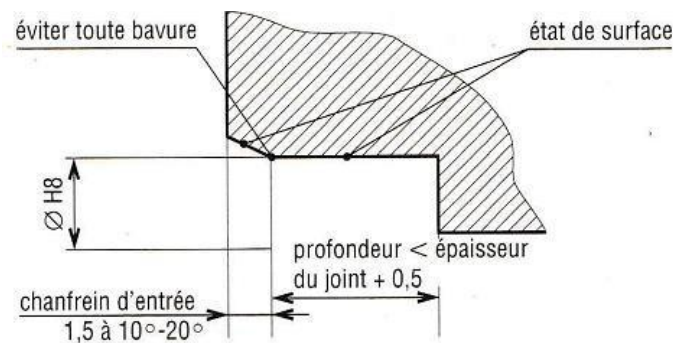


Fig. 4.23 formes de logement préconisées.

3.5.2 Joints Torique

Ces joints sont surtout utilisés en hydraulique où ils sont bien lubrifiés. On les réserve aux courses et vitesse faibles (V_{max} de 0,2 à 0,3 m/s), en raison des frottements dus à la compression du joint (d'environ 6%). En pneumatique, pour les mouvements de translation, les joints sont moins comprimés (2 à 6 %).

L'état de surface général conseillé est $0,2 < R_a < 0,4$, et les finitions recommandées sont le rodage, le polissage, le galetage afin d'aplanir les aspérités.

Extrusion des joints, c'est un phénomène de fluage (écoulement) du caoutchouc dans les jeux de l'assemblage, sous l'effet de la pression (Fig. 4.24). Ce phénomène fait intervenir le jeu de l'assemblage, la pression du fluide et la dureté DIDC du joint. La norme NF T 46-003 définit l'essai de dureté internationale des caoutchoucs vulcanisés. On définit des Degrés Internationale des de Dureté du Caoutchouc : DIDC (de 30 à 94).

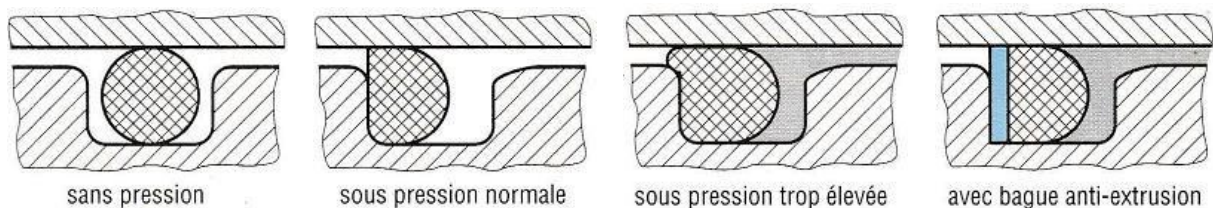


Fig. 4.24 Extrusion, parade à l'extrusion.

3.5.3 Joints à quatre lobes

Ce joint assure l'étanchéité par la flexion des lobes et non par compression comme le joint torique. L'effort de contact de la lèvre sur le cylindre est proportionnel à la pression. Le joint n'a pas de sens de montage, le lubrifiant emprisonné entre les lobes favorise le déplacement. Il n'y a pas de vrillage.

Les joints sont montés dans des gorges rectangulaires (Fig. 4.25) parfaitement lisse et munies de rayons. Des chanfreins sont à prévoir pour ne pas détériorer les joints (Fig. 4.25). La distance $P_2 + j$, est comprise entre le fond de la gorge et le cylindre d'appui du joint, est constant pour une section donnée de joint (Fig. 4.25).

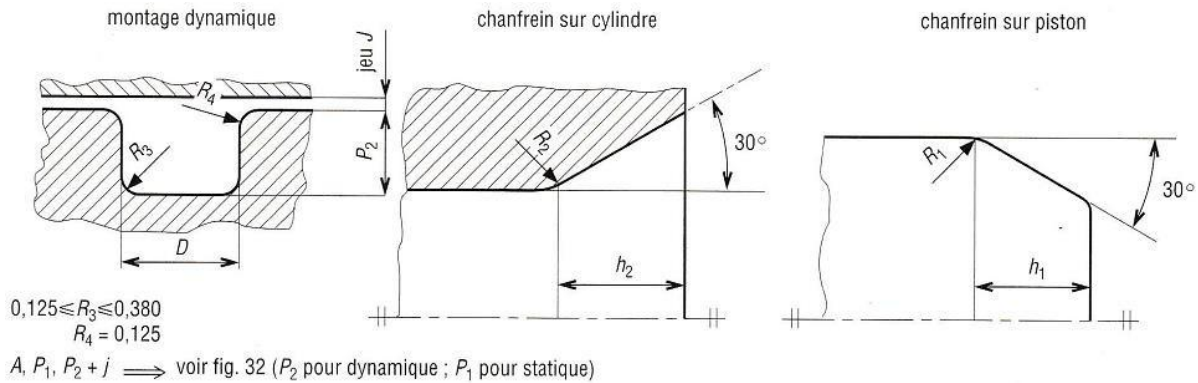


Fig. 4.25 Gorges et chanfrein.

La figure 4.26 résume les grands cas rencontrés.

- Mouvements rotatifs : les joints sont montés dans la partie fixe; la vitesse circonférentielle est inférieure à 1 m/s ;
- Mouvements alternatifs : avec les jeux recommandés, la pression peut aller jusqu'à 25 MPa.
- Montages double effet (pression des deux côtés) : si la pression est supérieure à 0,7MPa, prévoir deux bagues montés dans deux gorges successives, si la pression est inférieure à 0,7MPa, une seule bagues suffit.

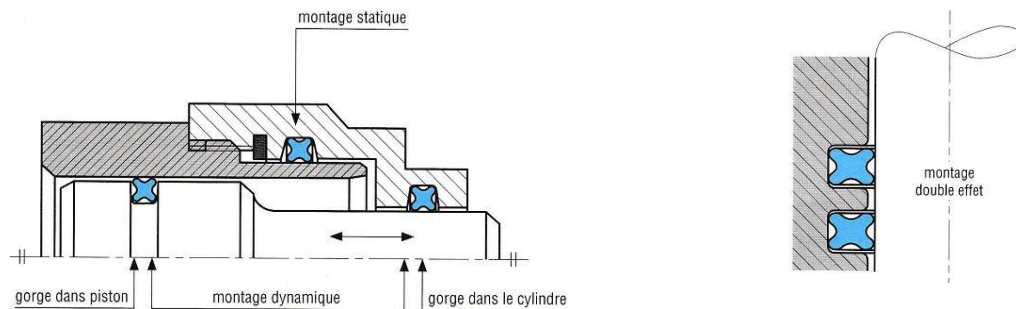


Fig. 4.26 Gorges et chanfrein.

3.5.4 Joints à lèvres en U

Ce sont des joints simple effet pour tige ou piston. Le tableau 4.1 indique des domaines d'emploi.

	Hydraulique		Pneumatique	
	V (m/s)	Pression (MPa)	V (m/s)	Pression (MPa)
Élastomères	< 0,5	25	< 1	1,2
PTFE	15	35		

Tableau. 4.1 Vitesses et pressions admissibles suivant matière et domaine d'emploi.

C'est le fluide sous pression qui plaque les lèvres sur les surfaces (gorge et cylindre ou tige), assurant un contact efficace donc une bonne étanchéité (Fig. 4.27). Les fabricants proposent des joints très élaborés : les valeurs de ce tableau ne sont qu'indicatives et ne remplacent en aucun cas leurs catalogues.

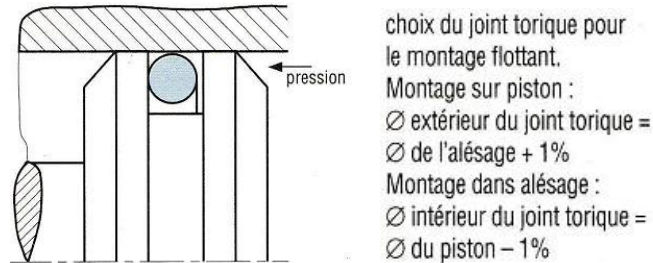


Fig. 4.27 Montage flottant.

La figure 4.28 donne quelque dimension et un exemple de montage d'un joint symétrique SIMRIT EN NBR, pression $\leq 16\text{MPa}$, vitesse $\leq 0,5\text{ m/s}$ pour l'hydraulique.

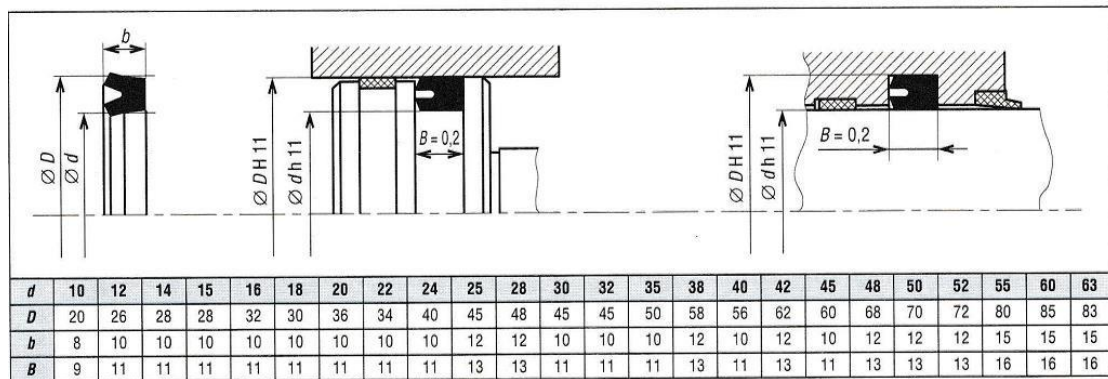


Fig. 4.28 joint U.

3.5.5 Joints composés

Pour pallier les problèmes de frottement de joints toriques, on les associe à une bague en matériaux à faible coefficient de frottement avec l'acier (PTFE). Le tableau 4.2 indique

	Hydraulique		Pneumatique	
	V (m/s)	Pression (MPa)	V (m/s)	Pression (MPa)
Tore + bague	2 à 15	16 à 80	< 5	2,5

Tableau. 4.2 Vitesses et pressions admissibles suivant le domaine d'emploi.

3.5.6 Joints V

Ils assurent une protection efficace contre les protections d'eau, de boue et d'huile. Ils agissent de plusieurs façons :

- Joints frottant ;
- Déflecteur ;
- Effet de soupape.

Ce joint est le plus souvent monté sur l'arbre (à l'intérieur pour l'huile, à l'extérieur pour la graisse) et sa lèvre frotte sur une surface plane et perpendiculaire à l'arbre.

Le joint V (Fig. 4.29) assure l'étanchéité tout en acceptant les défauts suivants :

- Obliquité ($4,5^\circ$ pour petits diamètre à 1° pour diamètre de 150 mm) ;
- Excentration (0,4 à 3,6 suivant la taille) ;
- Déplacement axial.

Il est particulièrement adapté à l'étanchéité des rotules ou des paliers d'arbres montés sur roulements à rotule. Le tableau 4.3 précise l'état de surface conseillé suivant les conditions d'utilisations (différence des pressions nulle).

$R_a \mu m$	Huile-eau	Poussières	Graisse
$V < 10 \text{ m/s}$	0,8 à 1,6	1,6 à 2	1,6 à 2
$V > 10 \text{ m/s}$	0,4 à 0,8	0,8 à 1,6	0,8

Tableau. 4.3 Etat de surface pour joint V.

Le joint (en nitrille) est monté sur l'arbre ; il faut prendre les précautions de montage suivantes :

- $V > 8 \text{ m/s} \Rightarrow$ blocage axial.
- $V > 12 \text{ m/s} \Rightarrow$ blocage axial + radial.
- $V > 18 \text{ m/s} \Rightarrow$ joint monté sur la partie fixe (risque de décollement de la lèvre).

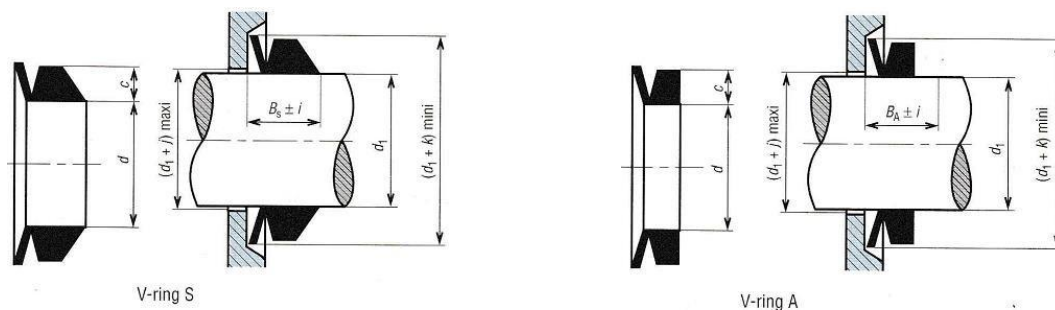


Fig. 4.28 joint V.

5-

TRANSMISSION DE PUISSANCE

1. Introduction

Une transmission est un dispositif mécanique permettant de transmettre un mouvement d'une pièce à une autre. Cet élément de la chaîne d'énergie a pour fonction l'adaptation du couple et de la vitesse entre l'organe moteur et l'organe entraîné.

La transmission du mouvement est l'une des fonctions les plus courantes des éléments de la mécanique générale, c'est-à-dire des dispositifs mécaniques destinés à remplacer la main de l'homme.

Selon les mécanismes, la transmission est dimensionnée suivant des considérations concernant :

- la position d'une partie du mécanisme ;
- le mouvement souhaité ;
- la force, ou le couple recherché ;
- la puissance.

2. Transmission de puissance mécanique

2.1. Introduction

Dans de nombreuses applications industrielles, on est amené à choisir, pour des raisons économiques, comme actionneur un moteur dont le couple nominal et/ou la vitesse nominale ne correspondent pas aux conditions de l'application.



Fig. 5.1 TUCANO EMB 312 FF.

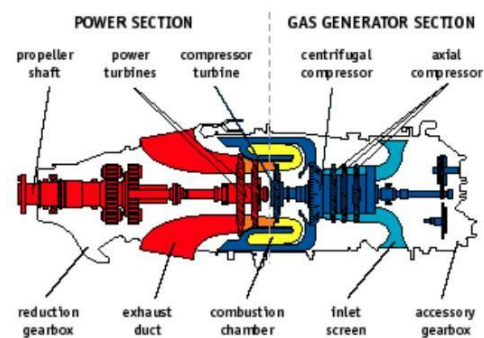


Fig. 5.2 Schéma de principe du turbopropulseur PT6A

L'actionneur dans cette avion (Fig. 5.1) est un turbopropulseur (Fig. 5.2) qui transmet sa puissance mécanique à l'hélice (Le terme français turbopropulseur est en fait dérivé du mot anglais turboprop composé de turbo et de propeller (hélice) et qui signifie littéralement moteur à hélice entraîné par une turbine).

ÉLÉMENTS STANDARD DE CONSTRUCTION

- La vitesse en bout de pale ne doit pas atteindre la vitesse du son ; ce qui impose une vitesse de rotation de l'hélice de : $\omega_{hélice} = 3\,200 \frac{\text{tour}}{\text{min}}$
- L'arbre de la turbine de puissance tourne à : $\omega_{turbine} = 3\,300 \frac{\text{tour}}{\text{min}}$

On constate que les vitesses de rotation $\omega_{hélice}$ et $\omega_{turbine}$ sont différentes. On ne peut donc pas relier directement l'hélice à l'arbre de la turbine de puissance. Pour satisfaire le besoin, le concepteur a intercalé entre le turbopropulseur et l'hélice un réducteur de vitesse à engrenages. La figure 5.3 présente la chaîne fonctionnelle de la transmission de puissance.

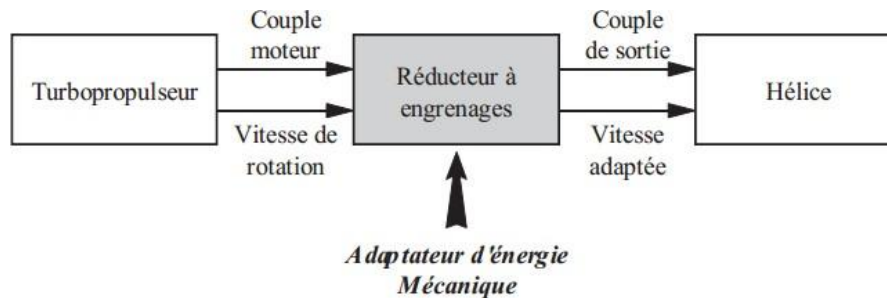


Fig. 5.3 Chaîne fonctionnelle de la transmission de puissance

La figure 5.4 représente le schéma du réducteur de vitesse à engrenage du groupe turbopropulseur sur TUCANO EMB 312 FF.

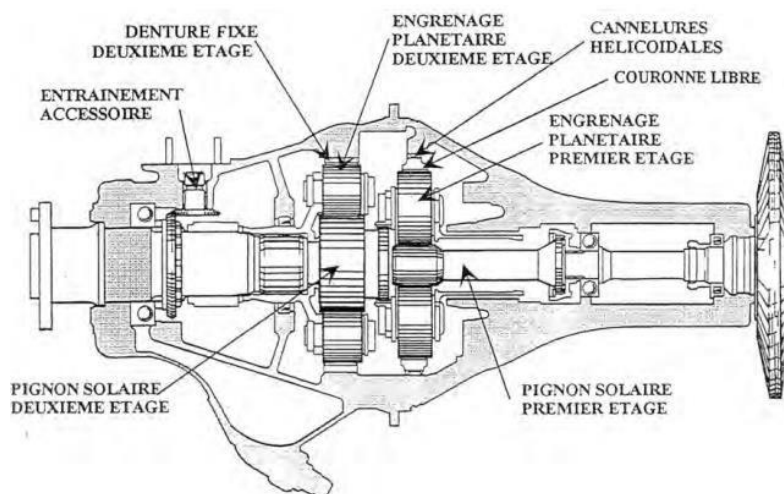


Fig. 5.4 Schéma du réducteur du groupe turbopropulseur du Tucano 312 FF

Un réducteur de vitesse réalise deux fonctions principales au sein de la chaîne fonctionnelle :

- Transmettre la puissance mécanique du moteur (turbopropulseur) vers le récepteur (hélice).
- Adapter cette puissance mécanique pour obtenir les caractéristiques désirées (couple et vitesse de rotation).

Ainsi, pour l'exemple choisi, on obtient :

- vitesses de rotation : $\omega_{\text{hélice}} < \omega_{\text{turbi}}$.
- Couple : $C_{\text{hélice}} > C_{\text{turbine}}$

a. Généralisation

Les réducteurs et multiplicateurs sont des transmetteurs de puissance (Fig. 5.5). Leur place dans la chaîne d'énergie est la suivante :

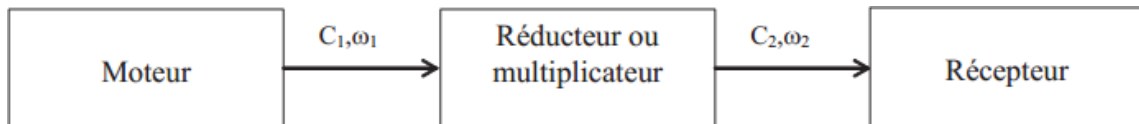


Fig. 5.5 Chaîne fonctionnelle d'une transmission de puissance

L'actionneur associé aux réducteurs et multiplicateurs, est principalement un moteur électrique, thermique, hydraulique ou pneumatique.

i. Aspect cinématique

La norme ISO 1122-1 de 1998, ainsi que la norme NF E 23-001 définissent la notion de rapport de transmission. Le rapport de transmission est défini comme étant le quotient de la vitesse angulaire de l'arbre d'entrée ω_1 par celle de l'arbre de sortie ω_2 du système transmetteur de puissance.

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} \quad 1.1$$

Le rapport de transmission est positif lorsque les vitesses angulaires sont de même sens et négatif lorsqu'elles sont de sens inverse.

Très souvent, on utilise l'inverse du rapport de transmission pour déterminer les lois d'entrée-sortie dans un système de transmission de puissance. En effet, on connaît très souvent la vitesse de rotation à l'entrée et on recherche celle de sortie.

$$r = \frac{1}{i} = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{\omega_s}{\omega_e} \quad 1.2$$

Lorsque l'on a $|r| = \frac{1}{i} = \frac{|\omega_2|}{\omega_1} < 1$, on parle de système réducteur et de rapport de réduction.

Lorsque l'on a $|r| = \frac{1}{i} = \frac{|\omega_2|}{\omega_1} > 1$, on parle de système multiplicateur et de rapport de multiplication.

On parle aussi d'inverseur lorsqu'il y a inversion du sens de rotation.

ii. Aspect énergétique

Si le rendement du réducteur ou du multiplicateur est idéal, on a la relation de conservation de la puissance mécanique entre l'entrée et la sortie du système de transmission de puissance :

$$P = C_1\omega_1 = C_2\omega_2 \quad 1.3$$

On en déduit alors :

$$\frac{C_2}{C_1} = \frac{\omega_1}{\omega_2} \quad 1.4$$

Dans le cas d'un réducteur de fréquence de rotation, il y a multiplication du couple. Dans le cas d'un multiplicateur de fréquence de rotation, il y a réduction du couple.

Si l'on prend en compte le rendement η de la transmission, on a :

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{C_2 \cdot \omega_2}{C_1 \cdot \omega_1} = \frac{C_2}{C_1} \cdot r \quad 1.5$$

iii. Les principales solutions constructives

Dans le cas du groupe turbopropulseur du TUCANO, l'organe de transmission et d'adaptation de la puissance est un réducteur à engrenages. Le réducteur à engrenages n'est pas la seule solution constructive qui permet de réaliser les fonctions désirées. On classe généralement l'ensemble des solutions en deux familles.

1- Les transmissions de puissance par adhérence parmi lesquelles on distingue :

- Les transmissions de puissance par poulies - courroie.
- Les transmissions de puissance par roues de friction.

2- Les transmissions de puissance par obstacle parmi lesquelles on distingue :

- Les transmissions de puissance par pignons et chaîne.
- Les transmissions de puissance par engrenage.

Il est clair que la transmission de puissance par engrenage est la transmission phare des systèmes techniques industriels du fait de sa compacité et des rendements associés.

2.2. Transmission de puissance par poulie-courroie

C'est certainement la transmission de puissance la plus ancienne (Fig. 5.6) ; elle est utilisée depuis le début de l'époque industrielle. Elle permet de véhiculer l'énergie mécanique entre

deux arbres parallèles et relativement éloignés (En fait, on peut avoir aussi des montages de courroie entre des arbres inclinés ou perpendiculaires).



Fig. 5.6 a courroie



Fig. 5.7 b Poulie

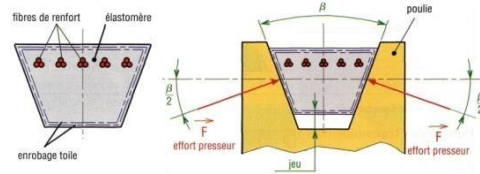


Fig. 5.8 c poulie-courroie

Ce type de transmission de puissance est encore énormément utilisé, par exemple dans l'industrie automobile (courroie d'accessoires, courroie de distribution, courroie d'alternateur). Ce type de transmission est constitué (Fig. 5.7) :

- Une poulie motrice (1), assemblée à l'arbre moteur,
- Une poulie réceptrice (2) liée à l'organe à entraîner,
- Une courroie (3) qui s'enroule sur chacune des poulies.

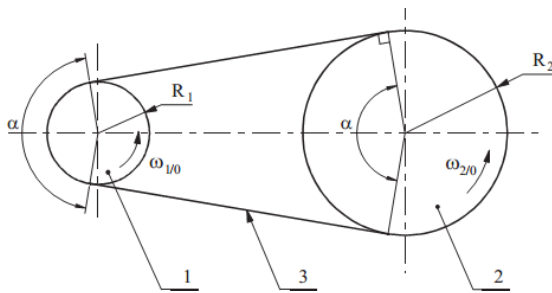
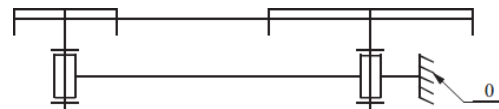


Fig. 5.7 Système poulies-courroie



Le mouvement est transmis de l'arbre moteur à l'arbre récepteur par l'adhérence de la courroie sur les deux poulies. Les courroies peuvent être plates, trapézoïdales, striées ou synchrones (Une courroie synchrone est un système de transmission de puissance par obstacle).

Au passage sur les poulies, la courroie se déforme et provoque un glissement dit fonctionnel (différent du patinage). Ce glissement introduit une variation, et donc une imprécision, du rapport de transmission. Si on admet que la transmission s'effectue sans glissement et que la courroie est inextensible, alors on peut définir le rapport de transmission par :

$$r = \frac{\omega_{\text{récepteur}}}{\omega_{\text{moteur}}} = \frac{\omega_{2/0}}{\omega_{1/0}} = \frac{R_1}{R_2} \quad 1.6$$

2.3. Transmission de puissance par chaîne et pignons

Seule l'architecture ressemble à celle de la transmission par poulies-courroie, car la transmission de puissance par pignons et chaîne s'effectue par obstacle (Fig. 5.8). L'arbre moteur et l'arbre récepteur sont aussi relativement éloignés. La première figure représente l'engrènement de la chaîne sur une roue denté. La deuxième figure montre la constitution d'une chaîne à rouleaux qui sont les chaînes les plus couramment utilisées.

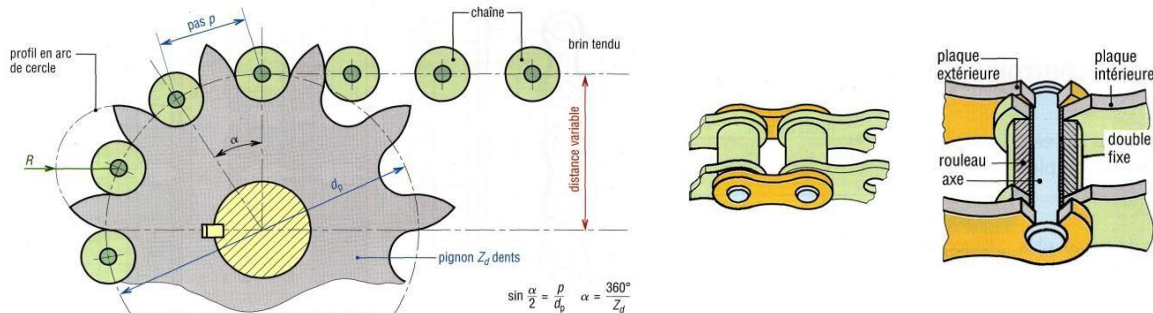


Fig. 5.8 Schéma descriptif d'un système chaîne-pignon

Les systèmes de chaîne-pignon sont utilisés en automobile pour la distribution, pour la transmission de puissance des cycles (vélo, moto), pour les systèmes de convoyage dans l'industrie. Il n'y a pas de glissement entre la chaîne et les roues dentées, ce qui garantit un rapport de transmission constant. Il s'exprime par :

$$r = \frac{\omega_{\text{récepteur}}}{\omega_{\text{moteur}}} = \frac{\omega_2/0}{\omega_1/0} = \frac{d_{p1}}{d_{p2}} = \frac{Z_1}{Z_2} \quad 1.7$$

Les figures 5.9 et 5.10 représente les différentes chaînes et roues ou pignon.

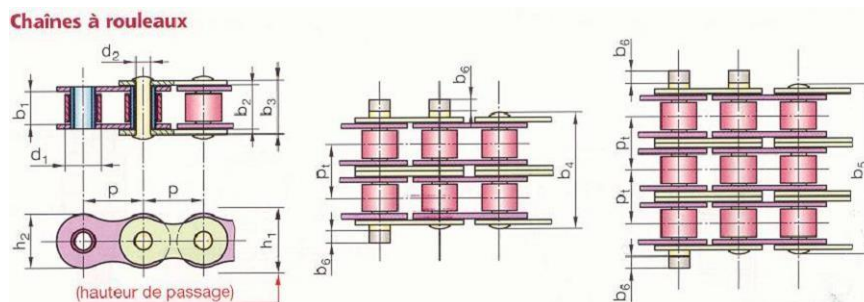


Fig. 5.9 Chaînes à rouleaux

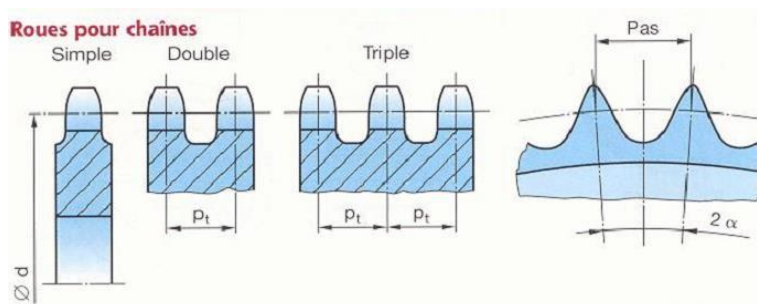


Fig. 5.10 Roue ou pignon

2.4. Transmission de puissance par engrenage

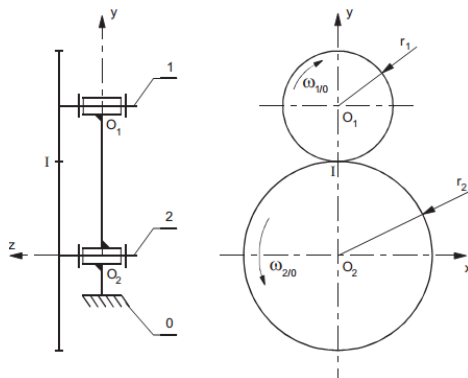
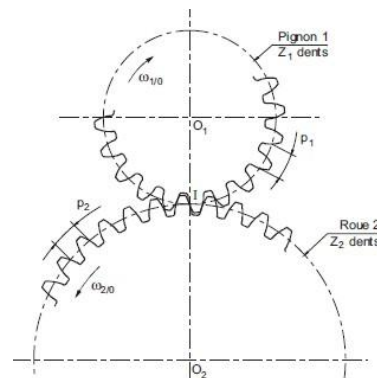
2.4.1. Principe

La transmission de puissance par engrenage véhicule l'énergie mécanique entre deux arbres sans éléments supplémentaires et par obstacles (contact direct). L'arbre moteur et l'arbre récepteur peuvent être parallèles, sécants ou orthogonaux. Ce mode de transmission de puissance est vieux de plus de 2000 ans, il était ainsi possible d'observer des roues possédant des dents faites de bâtons de bois en vue de transmettre un mouvement de rotation dans les puits à eau.

Un engrenage est la constitution d'un pignon et d'une roue dentée (le terme pignon est réservé pour la roue munie du plus petit nombre de dents).

On parle aussi de pignon arbré lorsque le pignon est directement usiné sur l'arbre et n'est pas rapporté. La figure (Fig. 5.11) représente le schéma cinématique d'une transmission par engrenage à contact extérieur. La figure (Fig. 5.11) représente l'engrènement entre le pignon 1 et la roue 2. On notera les caractéristiques suivantes (pour le pignon 1 par exemple) :

- Cercle primitif, cercle de centre O_1 et de rayon r_1 ;
- Rayon primitif $r_1 = [O_1I]$,
- Pas p_1 , distance entre deux profils consécutifs,
- Z_1 le nombre de dents.

*Fig. 5.11 Schéma cinématique**Fig. 5.12 Schéma de principe*

Les dents sont taillées de telle sorte qu'il existe sur les roues dentées un diamètre fictif, appelé primitif, sur lequel les roues engrènent (presque) sans glisser (Fig. 5.12). On considère donc que les deux primitifs roulent sans glisser l'un sur l'autre.

2.4.2. Caractéristiques de la transmission

2.4.2.1. Rapport de transmission

La transmission par obstacle assure un roulement sans glissement au point I (Fig. 5.11) et (Fig. 5.12), ce qui donne un rapport de transmission constant défini par :

$$r = \frac{\omega_{récepteur}}{\omega_{moteur}} = \frac{\omega_2/0}{\omega_1/0} = \frac{r_1}{r_2} = \frac{Z_1}{Z_2} \quad 1.8$$

Le signe moins indique un sens de rotation différent pour la roue et le pignon (significatif pour un engrenage à contact extérieur).

2.4.2.2. Puissance transmissible - Rendement

- La puissance transmissible peut être très élevée (plusieurs centaines de kW),
- Le rapport de transmission peut difficilement être inférieur à 1/8,
- Le rendement de la transmission est de l'ordre de 0,98.

2.4.2.3. Particularités de la transmission

Certainement la transmission la moins économique car elle nécessite un usinage soigneux des roues et un entraxe précis des deux arbres. Elle nécessite une lubrification, ce qui permet notamment d'obtenir une durée de vie élevée. Les avantages majeurs de la transmission par engrenage par rapport au deux précédentes sont :

- la possibilité de transmettre la puissance quelle que soit la position relative des deux arbres,
- La précision,
- Les couples et les puissances transmissibles sont élevés.

2.4.3. Conditions à respecter

2.4.3.1. Condition d'engrènement (ou condition géométrique)

Pour garantir l'engrènement, il faut que le pas du pignon (1) et celui de la roue (2) soient égaux : $p_1 = p_2$. C'est la condition géométrique, Les dents sont uniformément réparties sur la roue, on a donc :

$$\begin{aligned} \Rightarrow p_1 &= \frac{2 \cdot r_1}{Z_1} = \frac{\pi \cdot d_1}{Z_1} \\ \Rightarrow p_2 &= \frac{2 \cdot r_2}{Z_2} = \frac{\pi \cdot d_2}{Z_2} \end{aligned} \Rightarrow p_1 = p_2 \Rightarrow \frac{d_1}{Z_1} = \frac{d_2}{Z_2} \quad 1.9$$

Ce rapport caractérise l'aptitude à l'engrènement des diverses roues entre-elles. Il est appelé module m . Pour une roue donnée :

$$m = \frac{d}{Z} = \frac{p}{\pi} \quad 1.10$$

Deux roues dentées qui n'ont pas le même module ne peuvent donc pas engrener. Le module est une caractéristique très importante dans la définition d'une roue dentée :

- Sa valeur est déterminée à partir d'une étude de résistance de matériaux, puis il est choisi dans une liste de valeurs normalisées,
- Il définit ensuite toutes les dimensions de la roue dentée (diamètre primitif, pas, hauteur de la dent, épaisseur de la dent, entraxe, etc...).

2.4.3.2. Condition de continuité

Pour assurer la continuité de la transmission, un couple de dents doit entrer en contact avant que le précédent ne perde le contact.

3. Transmission de puissance hydraulique

3.1. Introduction

Quand on veut réaliser un mouvement linéaire avec un actionneur électrique cela engendre généralement des coûts élevés et beaucoup d'entretiens. Si on cherche des actionneurs moins cher et simple à l'utilisation, les actionneurs pneumatiques ou hydrauliques offrent une solution! Ces actionneurs linéaires sont également appelés vérins pneumatiques ou hydrauliques.

3.2. Différents types de vérins

Il existe de très nombreux types de vérins. On les distingue par le fluide de travail (vérins hydrauliques, vérins pneumatiques), par leur action (simple action ou simple effet, double action ou double effet, rotatif), ou par d'autres caractéristiques (vérins à chambre ovale, vérins à double tige, vérins à câble, vérins télescopiques, etc.).

- Le vérin pneumatique
- **Le vérin hydraulique**
- Le vérin manuel vis-écrous
- Les vérins électriques

La figure 5.13 ci-dessous, montre un aperçu de la classification d'actionneurs.

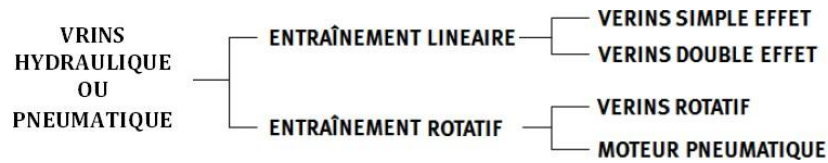


Fig. 5.13 Classification d'actionneurs.

3.3. Rôle des actionneurs hydrauliques

Les vérins transforment l'énergie hydraulique en énergie mécanique qui se traduit par le déplacement d'un piston entraînant une tige en un mouvement rectiligne (Fig. 5.14). Le principe de fonctionnement est le même pour les vérins pneumatiques ou hydrauliques. Seuls les joints, la nature des matériaux ou les épaisseurs différentes compte tenu des pressions utilisées. En outre, les vérins hydrauliques possèdent des purges d'air.

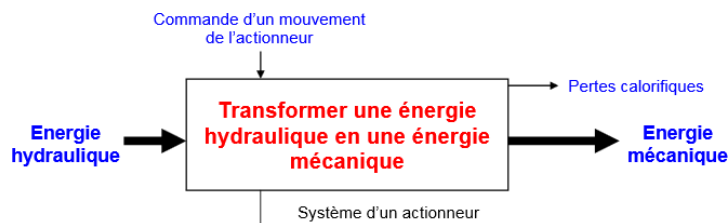


Fig. 5.14 Chaîne fonctionnelle de la transmission de puissance hydrauliques

3.4. Construction d'un vérin

Comme exemple (Fig. 5.15), vous trouverez ci-dessous la construction d'un vérin double effet standard. Le vérin se compose d'un tube, d'une culasse arrière et avant, d'un piston avec joints, d'une tige de vérin, d'un coussinet et d'un joint racleur. A cela s'ajoutent des éléments de liaison et des joints statiques.

Le corps du vérin (1) est généralement constitué d'un tube en acier étiré sans soudure. Pour augmenter la longévité du joint du piston, la surface intérieure du tube est minutieusement finie. Le corps de vérin peut également être fabriqué en aluminium, en laiton ou en acier avec des surfaces de glissement chromées.

Les culasses avant (3) et arrière (2) sont d'ordinaire en matériau de fonderie (alliages légers coulés par injection). Leur fixation sur le cylindre se fait au moyen de tirants, de filetages ou de brides. La tige de vérin (4) est pratiquement toujours en acier inoxydable.

Le coussinet (5), en bronze fritté ou en matériau synthétique, assure le guidage de la tige de vérin.

Devant le coussinet se trouve un joint racleur avec joint à lèvres intégré (6). Le joint racleur empêche la poussière et la saleté de s'infiltrer, le joint à lèvres assure l'étanchéité entre la tige

du piston et la culasse avant. Le piston (9) est également équipé d'un double joint à lèvres (7), qui assure l'étanchéité entre les deux chambres du vérin, et une bague de guidage (8).

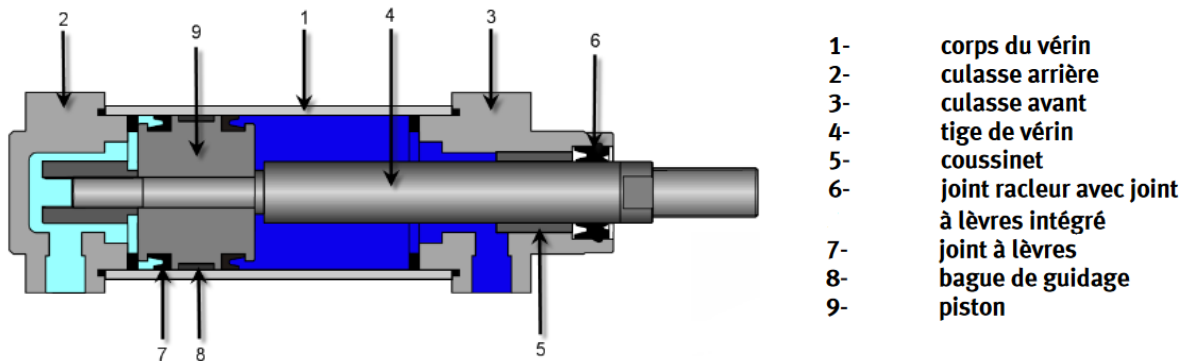


Fig. 5.15 Nomenclature des actionneurs hydrauliques

Les modèles des vérins varient selon les constructeurs. Cela signifie qu'il existe énormément de vérins différents. Cependant il existe également des vérins normalisés suivant la norme internationale ISO-VDMA. Ces normes définissent par exemple les cotes d'encombrements, le diamètre du vérin, tout comme le filetage sur la tige de vérin et le taraudage des raccords pneumatiques. Grâce à cela, les vérins normalisés des différents constructeurs sont interchangeables.

3.5. Vérin simple effet

Les vérins à simple effet (Fig. 5.16) sont appelés de cette façon, parce que l'air comprimé n'exerce une pression que sur un côté du piston, qui se met alors en mouvement grâce à la force exercée par la pression sur le piston.

Nous parlons d'un vérin à pousser (Fig. 5.17) quand le fluide occasionne la course sortante et d'un vérin à traction (Fig. 5.18) quand le fluide occasionne la course rentrante du vérin. Le piston retourne à sa position initiale au moyen d'un ressort interne ou d'une force externe. La course des vérins simple effet avec ressort de rappel incorporé est limitée par la longueur du ressort. C'est pourquoi la course maximale disponible pour des vérins simple effet est généralement de 50 mm.

Nous utilisons principalement les vérins simple effet pour clamer, éjecter et comprimer des pièces.



Fig. 5.16 Vérins simple effet

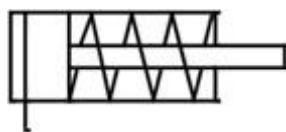


Fig. 5.17 Symbole du vérin à

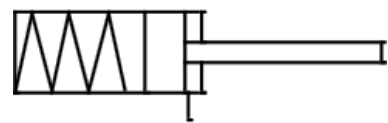


Fig. 5.18 Symbole du vérin à

*pousser**traction.*

3.5.1. Vérin simple effet à piston

A. Vérin à pousser

Le vérin à piston est l'exécution la plus courante des vérins à simple effet. La pression exerce une force sur le piston. Suite à cette force le piston fait sortir la tige du piston hors du vérin. Quand la pression chute le ressort incorporé du vérin fait retourner le vérin en position de repos (Fig. 5.19).

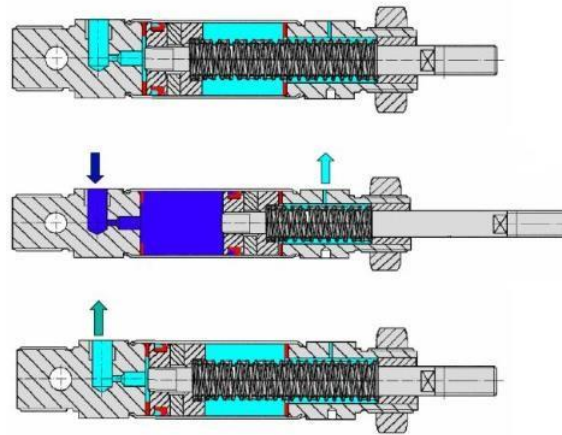


Fig. 5.19 *Fonctionnement d'un vérin à pousser.*

B. Vérin à traction

Ce type de vérin est principalement utilisé sur les systèmes de freinage pour les camions. Lors de la chute de pression, les vérins de freinage agissent sous la pression du ressort, ce qui augmente la sécurité ! Ci-dessous on peut voir la coupe d'un vérin à simple effet à traction (Fig. 5.20). Le fonctionnement est précisément à l'opposé de celui du vérin à pression à simple effet.

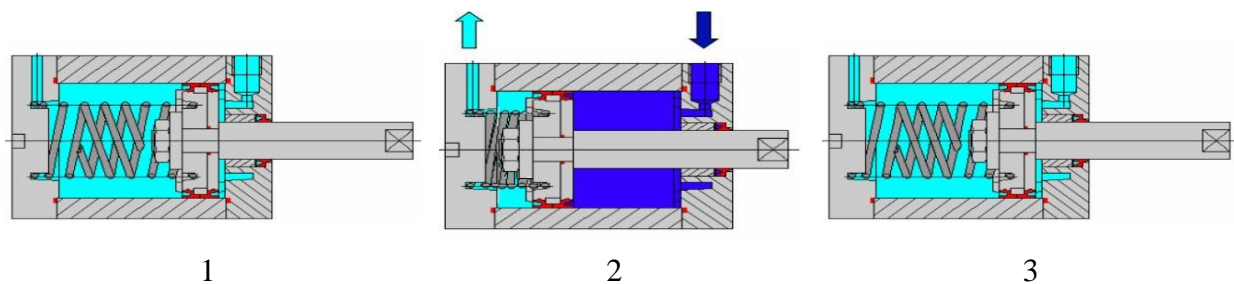


Fig. 5.20 *Fonctionnement d'un vérin à traction.*

3.6. Vérin double effet

Dans un vérin double effet (Fig. 5.21 et 5.22), le piston se déplace dans les deux sens grâce à la pression de fluide.



Fig. 5.21 Vérin double effet.

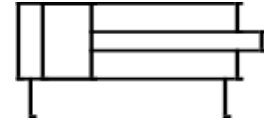


Fig. 5.22 Symbole du vérin double effet

Tant lors de la course sortante que rentrante, le vérin développe une force proportionnelle à la pression de l'air et à la surface de fonctionnement du piston. Les vérins à double effet sont utilisés là où une force est exercée dans les deux sens (figure 5.23). La pression appliquée à un orifice éloigne le piston de cet orifice à condition que l'autre orifice soit ouvert. La vitesse du piston est limitée car il risquerait d'emmagasiner trop d'énergie cinétique et de taper sur les fonds.

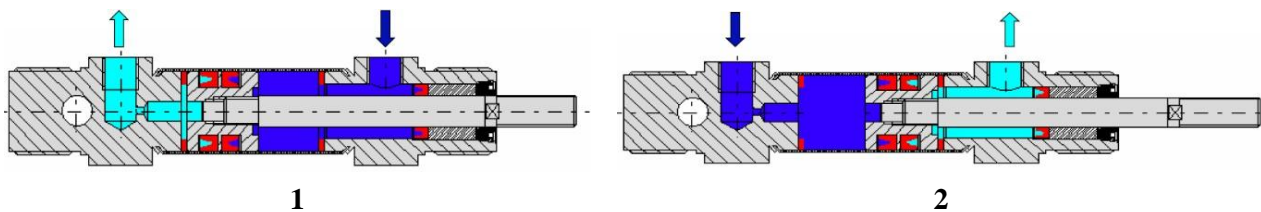


Fig. 5.23 Fonctionnement d'un vérin à double effet.