

Annexe A3.1.

Les accouplements

(Compléments)

A3.1.1. Présentation

A3.1.1.1. Introduction

Les accouplements sont utilisés dans le but de lier deux machines et de transmettre la puissance mécanique d'un arbre à l'autre.

En général, on ne peut accoupler directement les arbres d'un moteur et de l'utilisation pour des raisons de non alignement et de protection des organes moteurs et récepteurs.

Les défauts d'alignement peuvent être de natures différentes, on citera :

- le désalignement angulaire

Il se manifeste lorsque les arbres sont inclinés l'un par rapport à l'autre.

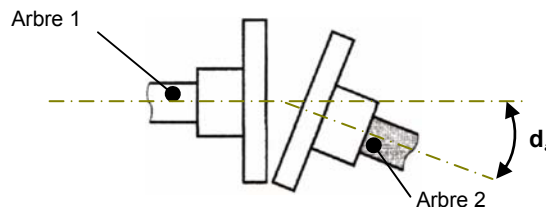


Fig. A3.1.1

- le jeu axial

Il admet un mouvement axial relatif des arbres couplés.

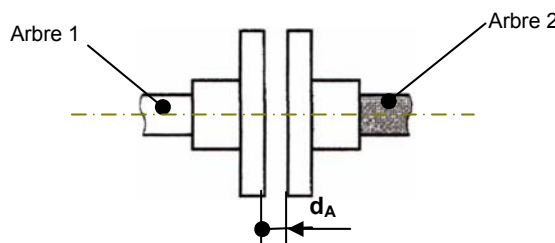


Fig. A3.1.2

- le désalignement radial

Il se présente lorsque les arbres sont désalignés.

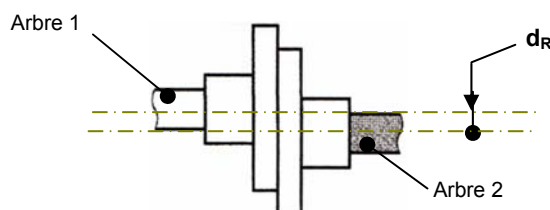


Fig. A3.1.3

- l'élasticité torsionnelle

C'est une caractéristique nécessaire pour amortir les chocs ou sollicitations impulsives en rotation.

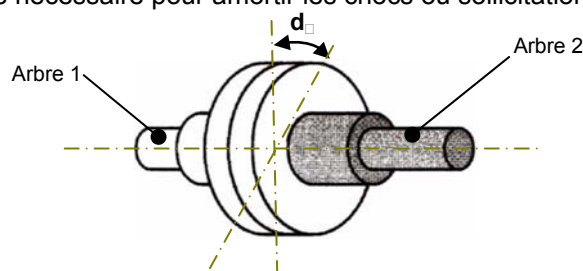


Fig. A3.1.4

Par ailleurs, les joints d'accouplement remplissent des fonctions secondaires, telles que :

- l'augmentation de la durée de vie (réduction des vibrations),
- l'amortissement des couples transmis lors des accélérations ou des freinages,
- l'encaissement de certains déplacements axiaux pendant le fonctionnement,
- l'augmentation de la sécurité en fixant un seuil de déformation acceptable.

A3.1.1.2. Classification

On peut classer les accouplements en deux grandes familles :

- les accouplements permanents
- les accouplements temporaires

Le tableau ci-dessous en résume les principaux modèles et caractéristiques.

Accouplements permanents			Accouplements temporaires		
Accouplements rigides	Accouplements semi-rigides ou élastiques		Accouplements articulés	Pas de désalignement	
Aucun désalignement possible	Non flexible en torsion	Flexible en torsion	Désalignement angulaire	Embrayages	Divers
A plateau	Joint d'Oldham	A ressort	Joint de cardan	A disques	Limiteur de couple
A manchon goupillé	A denture bombée	A membrane souple	Joint tripode	Coniques	Roue libre
A douille biconique	A soufflet	A blocs élastiques	Joint à quatre billes	Centrifuges	Coupleurs / Convertisseurs

A3.1.2. Les accouplements rigides

Ils doivent être utilisés lorsque les arbres sont parfaitement coaxiaux car ils ne tolèrent aucun désalignement.

Leur emploi exige donc des précautions et une étude rigoureuse de l'ensemble monté car un mauvais alignement des arbres amène un écrasement des portées, des ruptures par fatigue et des destructions prématurées du système de fixation.

A3.1.2.1. La liaison par collage ou soudure

La liaison entre les deux arbres est obtenue avec un manchon rendu solidaire par un cordon de soudure ou une couche de colle. Ces montages ne sont pas démontables.

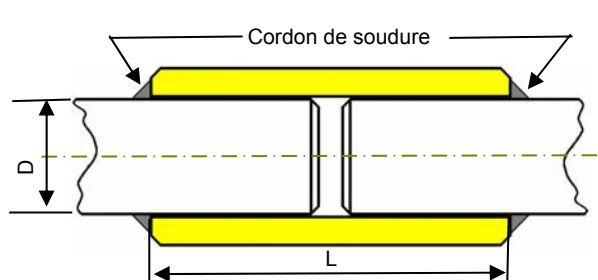


Fig. A3.1.5

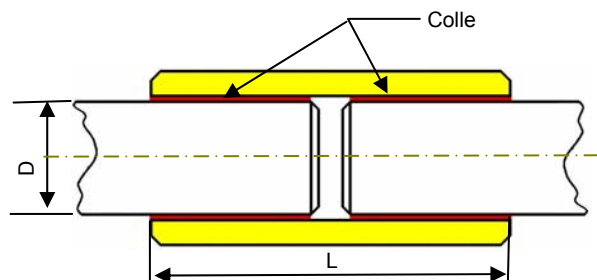


Fig. A3.1.6

A3.1.2.2. La liaison par obstacle

➤ L'accouplement à plateau

Deux disques clavetés sur les arbres sont réunis par des boulons. Ce système est précis, résistant, assez léger mais encombrant radialement.

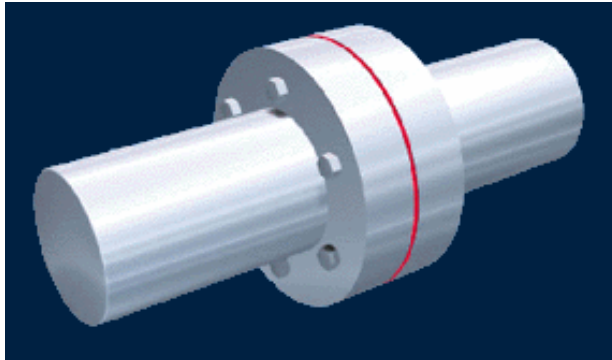


Fig. A3.1.7

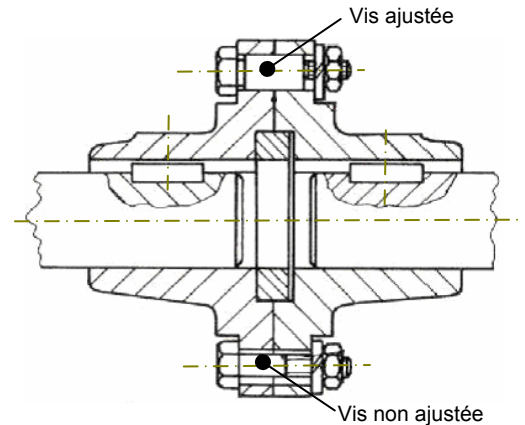


Fig. A3.1.8

Il est monté fretté ou à la presse. La limite de transmission du couple est liée au cisaillement des boulons, ce qui offre une bonne sécurité.

➤ L'accouplement par manchon à goupilles

Un manchon est goupillé sur les deux arbres par des goupilles élastiques mécanindus en général. Il est utilisé pour les couples réduits. Le principe du calcul est basé sur le cisaillement des goupilles.



Fig. A3.1.9

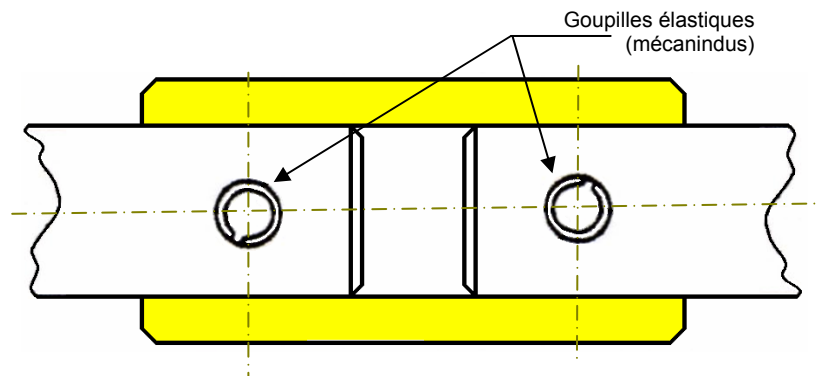


Fig. A3.1.10

➤ L'accouplement par manchon à douille

Ils présentent une grande facilité de montage et de démontage et permettent l'utilisation d'arbre lisse sans rainure de clavette.

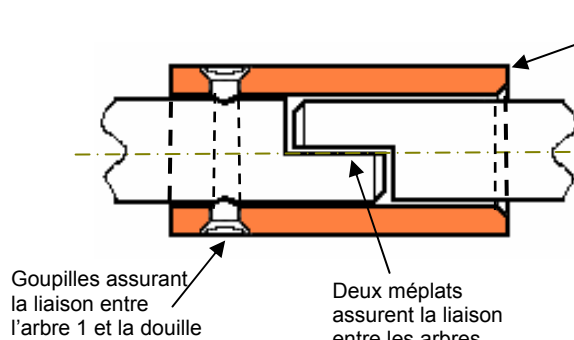


Fig. A3.1.11a

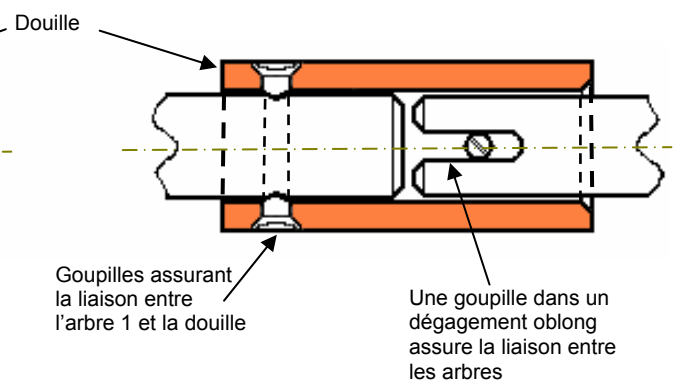


Fig. A3.1.11b

➤ **L'accouplement à chaînes**

Chaque extrémité des arbres à relier est équipée d'un pignon en acier pour chaîne simple à rouleaux. Les pignons sont reliés par une chaîne à rouleaux double qui transmet le couple. Cette chaîne est fermée par un maillon raccord démontable.

Le désaccouplement des arbres est instantané et les machines peuvent être désengagées sans avoir à les écarter ou à faire coulisser les pignons.

La flexibilité de cet accouplement est uniquement celle résultant du jeu des composants de la chaîne elle-même, et du jeu entre chaîne et denture.



Fig. A3.1.12

A3.1.2.3. La liaison par adhérence

➤ **La coquille boulonnée**

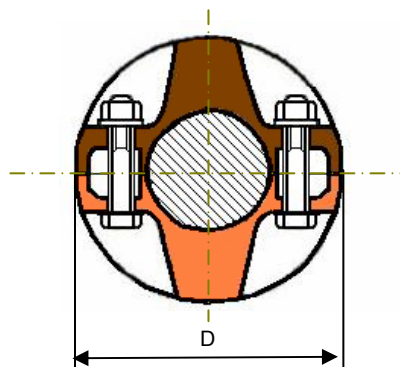


Fig. A3.1.13a

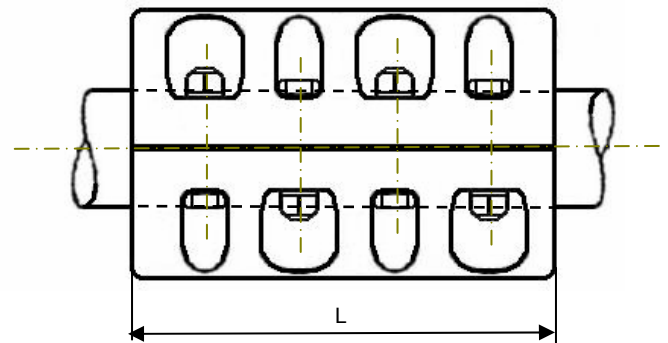


Fig. A3.1.13b

➤ **Le manchon à frettes**

Deux demi-manchons épousent intérieurement la forme cylindrique des arbres à relier. Leur surface extérieure présente un profil légèrement conique assurant un serrage par l'emmanchement de deux frettes à alésage conique.

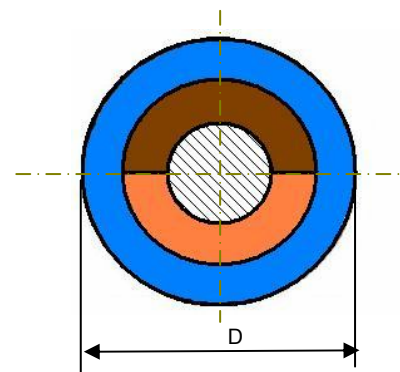


Fig. A3.1.14a

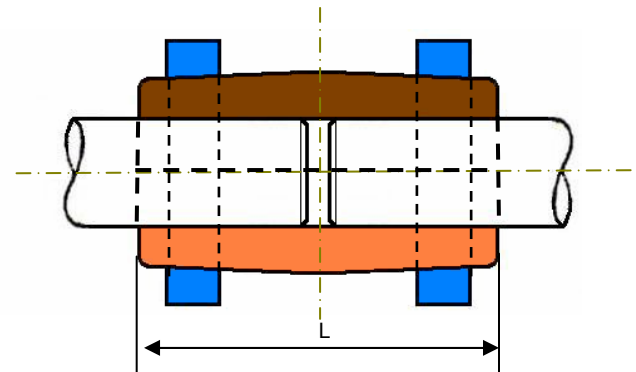


Fig. A3.1.14b

➤ **Le manchon cylindrique de type Sellers**

Le corps du manchon proprement dit forme une seule pièce, à profil intérieur à double cône et à profil extérieur cylindrique.

Des coins épousent intérieurement la forme des arbres et sont réunis deux à deux par des boulons longitudinaux qui bloquent sur les cônes intérieurs des manchons.

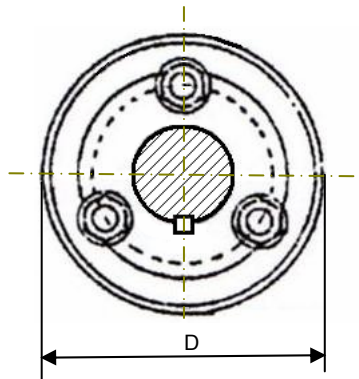


Fig. A3.1.15a

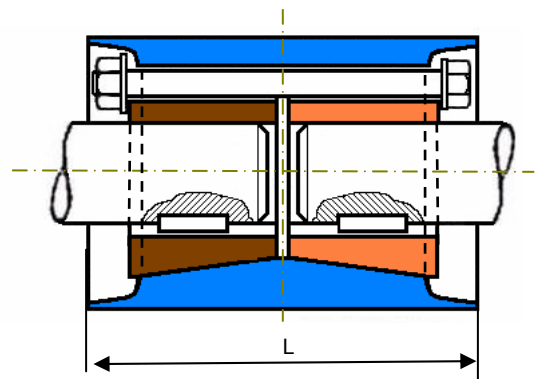


Fig. A3.1.15b

A3.1.3. Les accouplements flexibles ou élastiques

Souvent utilisés, ils tolèrent plus ou moins, suivant le type de construction, des défauts d'alignement limités entre les deux arbres.

Cette flexibilité fait que le mouvement des différents composants de l'accouplement s'effectue sans résistance et sans efforts antagonistes significatifs.

Un accouplement flexible ou élastique permet donc de construire plus léger, avec des tolérances plus larges donc plus économiques. De plus, il est sans jeu, donc silencieux, sans frottement et sans graissage.

A3.1.3.1. Les accouplements non flexibles en torsion

Composés de deux pièces rigides, ils peuvent corriger un ou plusieurs défauts d'alignement particuliers mais transmettent le couple intégralement sans amortissement des irrégularités et des chocs de transmission. ils peuvent transmettre des couples élevés.

➤ **Le joint d'Oldham**

Il ne supporte que des désalignements radiaux et il assure la transmission entre deux arbres parallèles présentant un léger décalage. C'est un joint homocinétique.

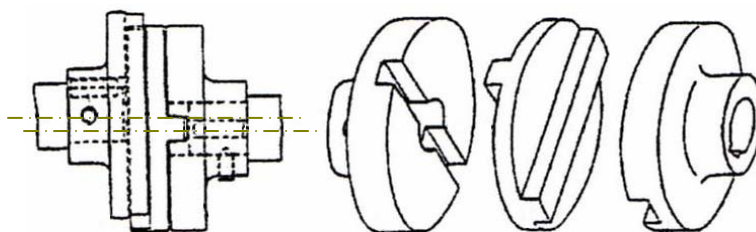


Fig. A3.1.16



Fig. A3.1.17

Le disque du milieu tourne autour de son centre à la même vitesse que les arbres d'entrée et de sortie. Ce centre, tourne cependant à une vitesse double de celle des arbres, dans une trajectoire circulaire centrée entre les axes de ces arbres.

➤ **L'accouplement à plateaux et biellettes (joint PK)**

Cet accouplement permet de transmettre un mouvement de rotation et un couple entre 2 arbres parallèles mais décalés l'un par rapport à l'autre.

Ce mouvement est transmis sans aucune modification (vitesse et couple), ce qui n'est pas le cas avec les systèmes à cardans. Il est homocinétique.

Il se compose fondamentalement de trois disques parallèles reliés, chacun avec son voisin, par un minimum de trois biellettes. L'un des disques extérieurs est relié à l'arbre moteur, l'autre disque extérieur, à l'arbre mené. Entre les deux, un 3^{ième} disque leur est également relié par des biellettes.

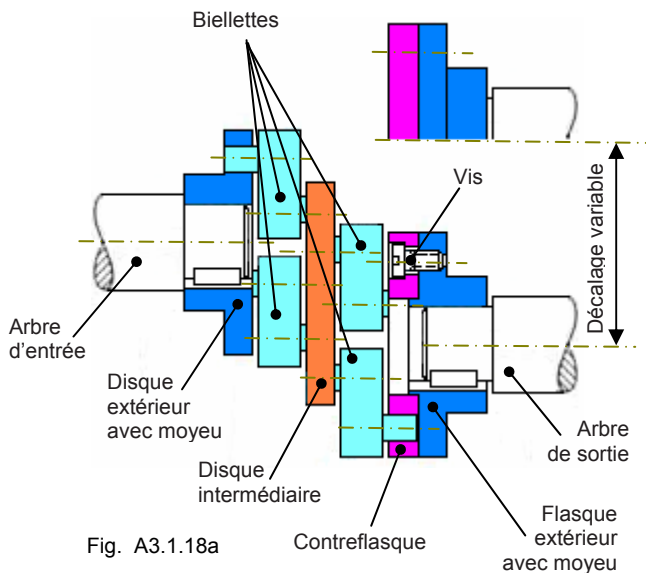


Fig. A3.1.18a



Fig. A3.1.18b

Entre des limites extrêmes propres à chaque accouplement, n'importe quel décalage parallèle est admis, et le déplacement des arbres, même pour des couples importants et à haute vitesse, ne se traduit par aucune variation de vitesse angulaire entre l'arbre d'entrée et l'arbre de sortie.

Cette possibilité de décalage variable, aussi bien à l'arrêt qu'en marche, permet de résoudre d'une façon simple et compacte, de nombreux problèmes habituellement du domaine de la transmission à cardans, beaucoup plus encombrante en longueur et sujette à vibrations et à battements

➤ **L'accouplement à denture bombée**

Il supporte uniquement des désalignements angulaires modérés obtenus grâce à la forme bombée de la denture.

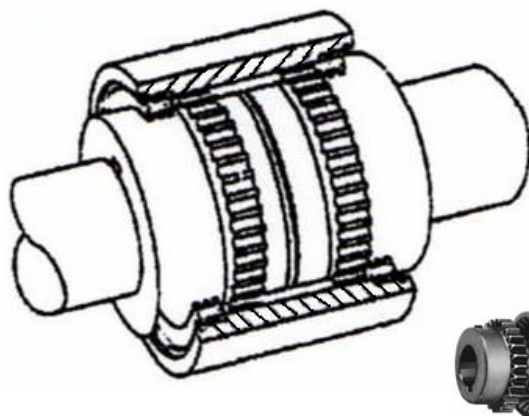


Fig. A3.1.19a

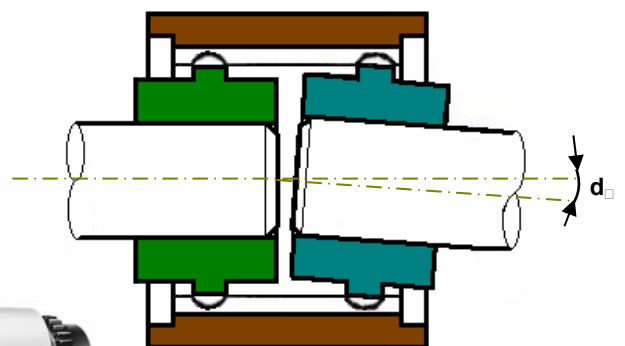


Fig. A3.1.19b

➤ **Les accouplements à soufflet**

Ils sont d'une grande précision en torsion, tout en étant souples dans les autres directions. Les plus petits (à soufflet en nickel en général) sont idéaux pour accoupler un codeur de position par exemple. Ceux à soufflet en acier (inox) peuvent transmettre des puissances importantes.

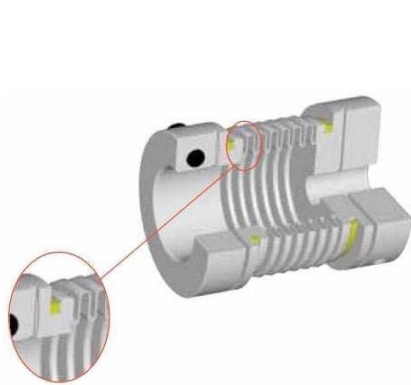


Fig. A3.1.20a



Fig. A3.1.20b

➤ **Les accouplements à disques métalliques (à lamelles)**

Ce type d'accouplement encore appelé accouplement à lamelles transmet la puissance via une tôle en acier à ressort. Il est très rigide en torsion. Utilisé seul, il autorise un désalignement angulaire modéré.

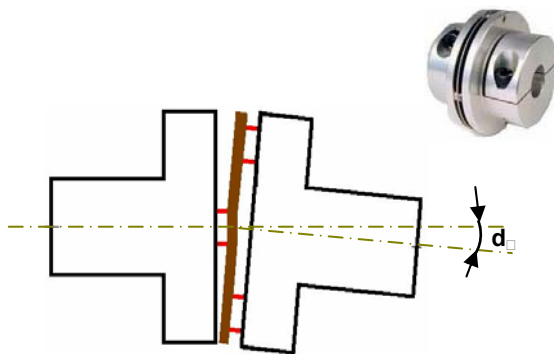


Fig. A3.1.21a

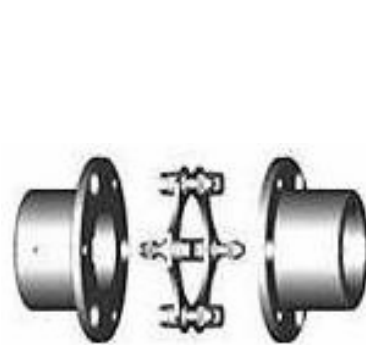


Fig. A3.1.21b

Les joints doubles permettent en plus un désalignement radial

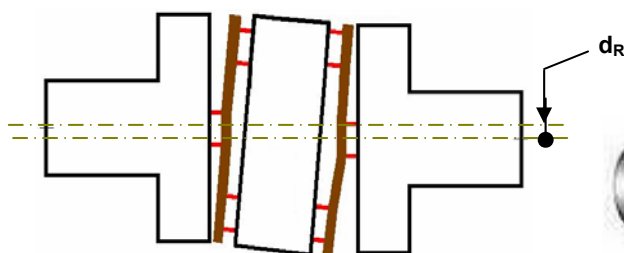


Fig. A3.1.22a



Fig. A3.1.22b

Remarque

Il existe des variantes avec disques en matière plastique



Fig. A3.1.23



Fig. A3.1.24

➤ **Les accouplements à plots métalliques**

Le serrage des vis écrase des empilages de rondelles élastiques, qui se coincent dans leurs logements sur le moyeu de sortie.

Il convient particulièrement bien surtout lorsqu'il y a un écart axial entre les deux arbres. Il présente une grande rigidité.

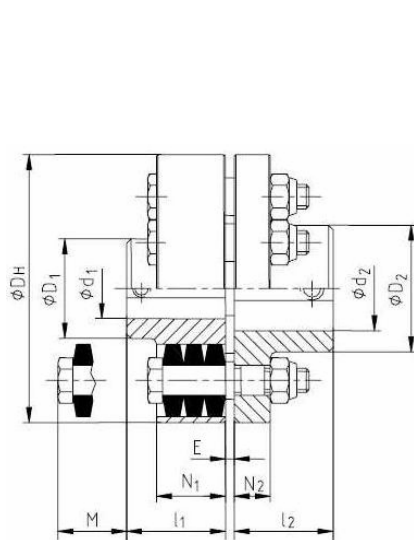


Fig. A3.1.25a

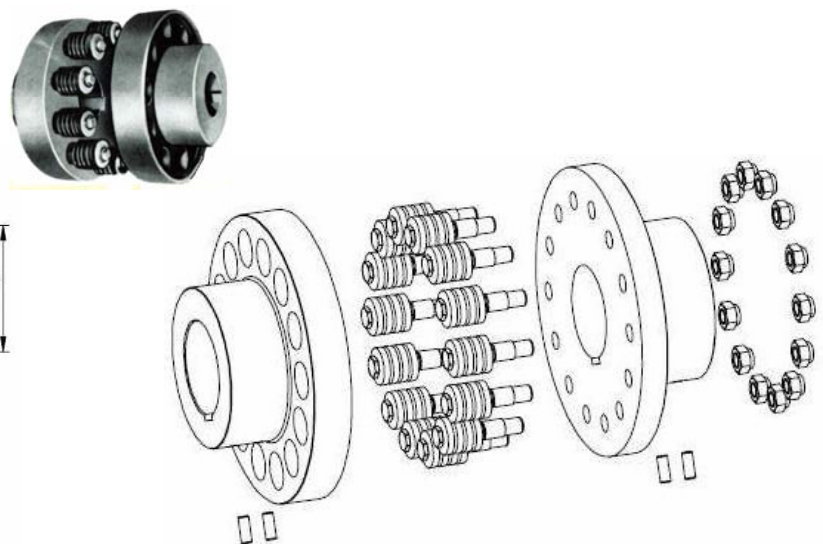


Fig. A3.1.25b

A3.1.3.2. Les accouplements flexibles en torsion

➤ **Les accouplements métalliques taillés en hélicoïde**

Le principe est basé sur un tube entaillé d'une un plusieurs rainures hélicoïdales, ou d'autres formes diverses.

Ils sont plus souples en torsion qu'un soufflet métallique, et ont souvent un sens de rotation préférentiel.



Fig. A3.1.26a

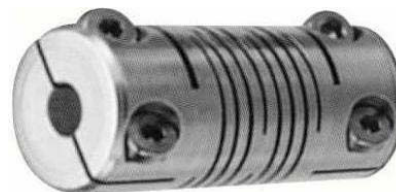


Fig. A3.1.26b

Certains, plus rigides, sont formés de plusieurs ressorts hélicoïdaux coaxiaux :



Fig. A3.1.27

➤ L'accouplement métallique à ruban

La puissance est transmise via un ruban en acier à ressort guidé dans des rainures réalisées dans chacun des moyeux solidaires des arbres à relier.

Le profil particulier de ces rainures, fait que la pression entre le ressort et le moyeu reste constante. La surface de contact entre le ressort et le moyeu augmente proportionnellement avec la charge. La raideur torsionnelle est ainsi progressive.

Le grand nombre de dents et l'élasticité du ressort permettent d'absorber efficacement tout sur couple ou choc, sans endommagement.

Cet accouplement dont la durée de vie est importante (+ de 50 000h en milieu industriel) peut être monté et démonté facilement sans procéder au déplacement des machines.

Par ailleurs il présente l'avantage d'être compact et d'avoir une faible inertie.



Fig. A3.1.28

➤ Les accouplements utilisant les élastomères

On distingue les joints dont l'élastomère travaille en compression (entraînement positif), les plus rigides, de ceux le faisant travailler plutôt au cisaillement (entraînement non positif), plus souples et moins précis, mais qui absorbent mieux les vibrations.

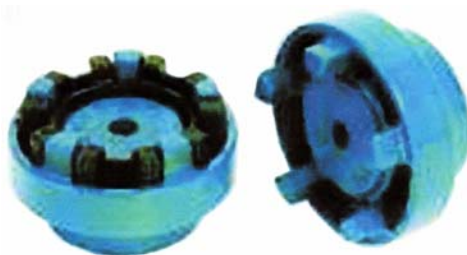


Fig. A3.1.29a

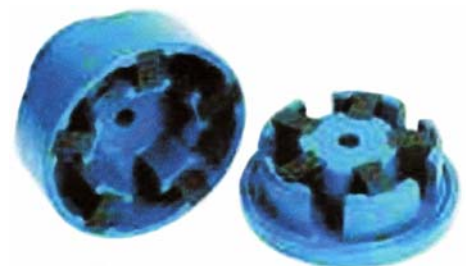


Fig. A3.1.29b

Selon l'utilisation, il faudra trouver le compromis entre la précision de transmission, et les propriétés d'amortissement des à-coups et des vibrations.

Ces accouplements permettent d'absorber des jeux importants, des variations de synchronisme ou des différences d'alignement.

Ces accouplements ne sont pas totalement rigides en torsion, ce qui permet d'absorber plus facilement les efforts dus à des à-coups (pompes, groupes électrogènes).

Il existe de nombreux types de joints utilisant les élastomères, nous en citerons quelques uns :

➤ **L'accouplement à blocs élastique**

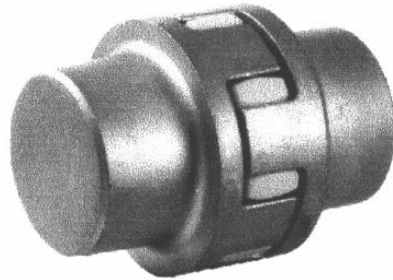


Fig. A3.1.30a

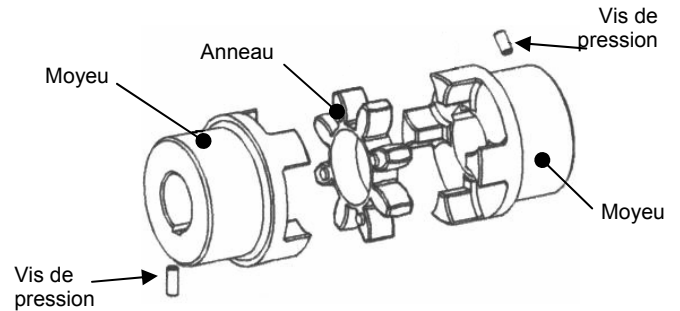


Fig. A3.1.30b

➤ **L'accouplement à broches élastiques**

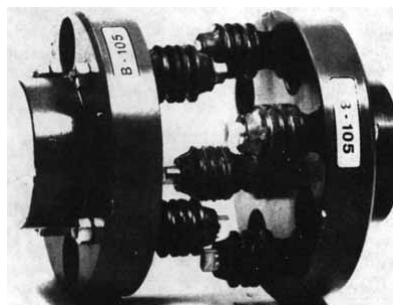


Fig. A3.1.31

Cet accouplement se compose de 2 moyeux en fonte ou en acier et de broches en acier qui reçoivent des manchons en élastomère. Les broches sont fixées sur les moyeux soit d'un seul coté ou de manière alternée (voir figure ci-dessus) et s'engagent dans les perçages des pièces antagonistes correspondantes.

Le bloc élastique se trouve comprimé lors du serrage du boulon, et cette précontrainte accentue ses performances.

Il présente une élasticité appréciable dans tous les sens (angulaire, torsionnelle et en cas de décalage parallèle des axes).

➤ **Les accouplements à liens élastiques**

Certains de ces accouplements associent en plus du lien élastomère une partie métallique en acier à ressort.

Les figures suivantes illustrent quelques-uns de ces nombreux modèles de formes très diverses.



Fig. A3.1.32



Fig. A3.1.33

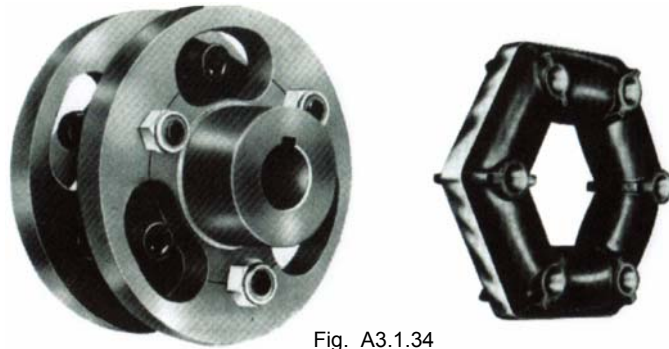


Fig. A3.1.34



Fig. A3.1.35

Remarque :

Le défaut des élastomères reste le vieillissement, et leur sensibilité à certains fluides (hydrocarbures...)

A3.1.4. Les accouplements articulés

Les accouplements sont dits "articulés" lorsqu'ils relient deux arbres concourants, c'est-à-dire formant entre eux un angle. En raison même du principe, la vitesse de l'arbre menée varie en fonction de sa position. Ils sont non flexibles en torsion et peuvent transmettre des couples élevés.

A3.1.4.1. Les joints de cardan

Le joint de cardan ou joint de Hooke transmet le mouvement par l'intermédiaire d'un croisillon libre en rotation par rapport aux deux arbres.

Le cardan simple est composé d'un arbre d'entrée et d'un arbre de sortie muni tous les deux d'une chape (1 et 2), la liaison entre les deux arbres est réalisée par un croisillon dont les branches sont en liaison pivot avec chacune des chapes.

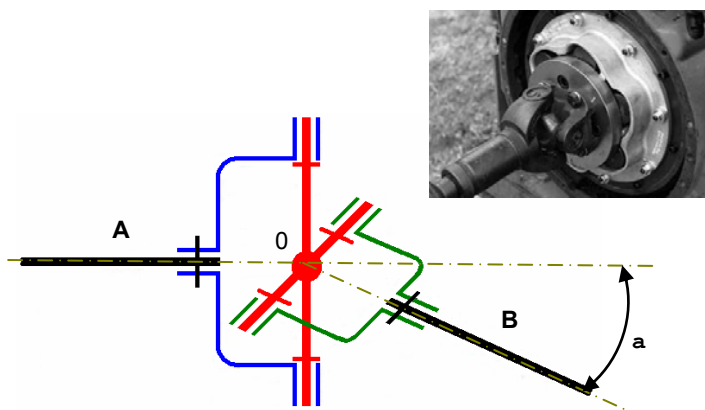


Fig. A3.1.36a

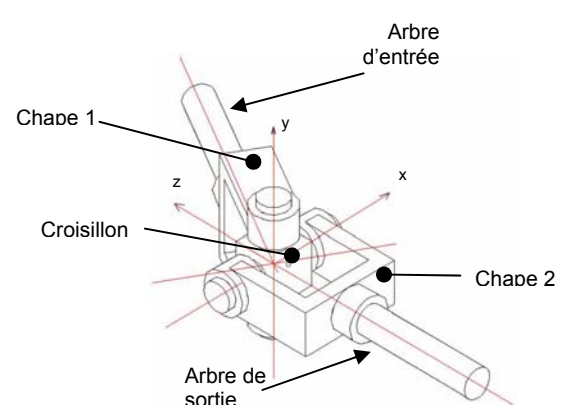


Fig. A3.1.36b

Ce joint n'est pas homocinétique bien que le nombre de tours parcourus par les deux arbres soit le même, la vitesse de rotation de l'arbre de sortie n'est par instantanément égale à celle de l'arbre d'entrée.

Ainsi, si l'arbre d'entrée M1 est animé d'une vitesse de rotation régulière, l'arbre de sortie est au contraire animé d'une vitesse cycliquement irrégulière : deux fois par révolution sa vitesse est supérieure à celle de M1 et deux fois elle lui est inférieure.

La différence entre les vitesses extrêmes de l'arbre de sortie dépend de l'angle α entre les deux arbres :

- Si $\alpha = 10^\circ \quad \Rightarrow \quad \Delta\omega = 5\%$
- Si $\alpha = 20^\circ \quad \Rightarrow \quad \Delta\omega = 10\%$
- Si $\alpha = 35^\circ \quad \Rightarrow \quad \Delta\omega = 35\%$

La figure A3.1.37. ci-dessous illustre cette variation de vitesse angulaire de l'arbre de sortie avec un angle $\alpha = 30^\circ$ entre les deux arbres.

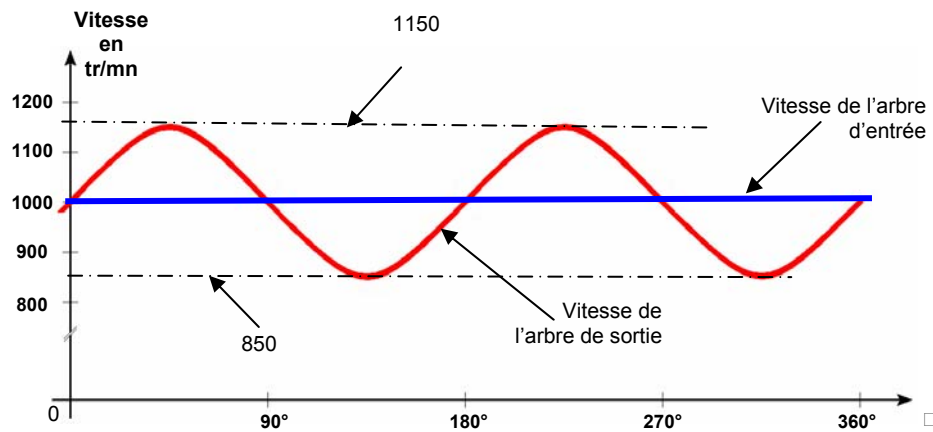


Fig. A3.1.37

Pour que la machine entraînée soit également animée d'une vitesse angulaire régulière il est donc indispensable de corriger le premier joint par un second joint qui, présentant le même défaut mais en sens opposé, restituera une vitesse uniforme.

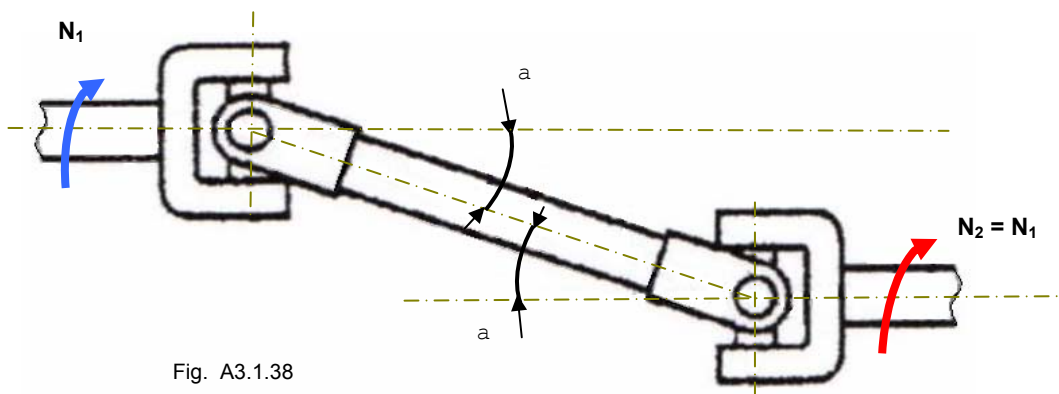


Fig. A3.1.38

Deux joints de cardan constituent donc un ensemble homocinétique mais à la condition que la symétrie des joints soit parfaite. Cela signifie : que les chapes qui sont à chaque extrémité de l'arbre intermédiaire doivent être impérativement dans le même plan, les croiser conduirait à additionner les irrégularités, et à doubler les vibrations parasites avec le risque d'endommager les machines.

Précautions de montage

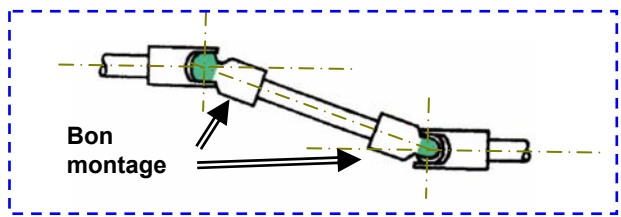


Fig. A3.1.39 a

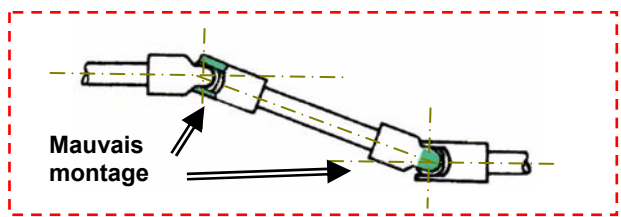


Fig. A3.1.39 b

L'homocinétisme est donc obtenu :

- soit par 2 joints simples convenablement jumelés (fig. A3.1.39a) ;
- soit par l'emploi d'un seul ou de 2 joints « doubles ».

La vitesse maximale de rotation dépend de l'angle entre les deux arbres dépend de la fréquence de rotation:

	Angles possibles entre les deux arbres		
	45°	30°	15 à 20°
Vitesses maximales admissibles	très lentes	10 tr/min	> 600 tr/min

Certains modèles de joints de cardan intègrent une liberté supplémentaire grâce à des cannelures formant une glissière pour l'axe intermédiaire.



Fig. A3.1.40

Les joints cardan sont largement utilisés dans les engins de travaux publics, les machines agricoles, les transmissions de poids lourds et dans les applications de grandes puissances.



Fig. A3.1.41

Remarques et précautions d'emploi

- 1) Plus les angles de travail sont petits, meilleur est le rendement, plus grandes peuvent être les vitesses.
- 2) Les angles de l'arbre intermédiaire avec l'arbre moteur et l'arbre entraîné doivent être égaux. En cas de déplacement de la machine commandée par rapport à la source de mouvement, choisir un axe de pivotement tel que ces angles restent aussi égaux que possible.
- 3) Les paliers doivent être le plus près possible des articulations afin d'éliminer au maximum les sources de vibrations.
- 4) Lutter contre les efforts de traction et de compression en mettant en place des butées si nécessaire et si possible.
- 5) En cas de mouvements alternatifs, d'arrêts fréquents, claveter avec soin ou de préférence, utiliser des arbres cannelés ou carrés. Surdimensionner le joint.
- 6) L'arbre intermédiaire étant toujours en mouvement irrégulier, réduire sa masse au maximum afin d'atténuer les vibrations.
- 7) Lubrifier abondamment car les articulations sont soumises à des efforts sévères. Tout échauffement inconsidéré les détériore.
- 8) Protéger attentivement contre la poussière, la boue... Employer au maximum les gaines protectrices.
- 9) Des dispositifs de sécurité (à patinage, à cheville de rupture...) sont recommandées dans de nombreux cas. Ils peuvent éviter aux joints et aux machines de graves détériorations.

A3.1.4.2. Le joint tripode

Ce joint tripode comprend un élément extérieur appelé tulipe muni de trois évidements parallèles à l'axe, décalés de 120° et un élément intérieur en étoile, solidaire de l'arbre de sortie, muni de trois tourillons également répartis sur la circonférence qui sont engagés dans les évidements de la tulipe. Chaque tourillon porte un galet sphérique.

Ce joint permet une liberté en translation supplémentaire et autorise un écart angulaire jusqu'à 25° maximum.

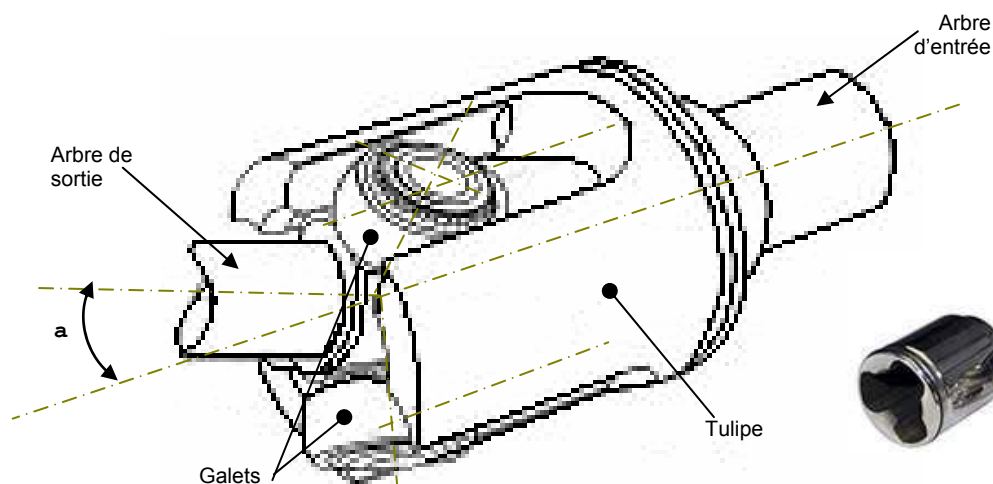


Fig. A3.1.42a

Fig. A3.1.42b

Le joint tripode est souvent considéré comme homocinétique (en fait, à 1% près environ).

A3.1.4.3. Le joint homocinétique à billes (type Rzeppa)

Le joint à billes Rzeppa présente l'avantage sur le modèle tripode précédent d'être vraiment homocinétique et surtout de pouvoir se briser jusqu'à un angle de l'ordre de 45°, c'est pourquoi il est très employé dans l'industrie automobile dans les arbres de transmission des véhicules à traction avant.

La figure ci-dessous représente une vue éclatée d'un joint Rzeppa.

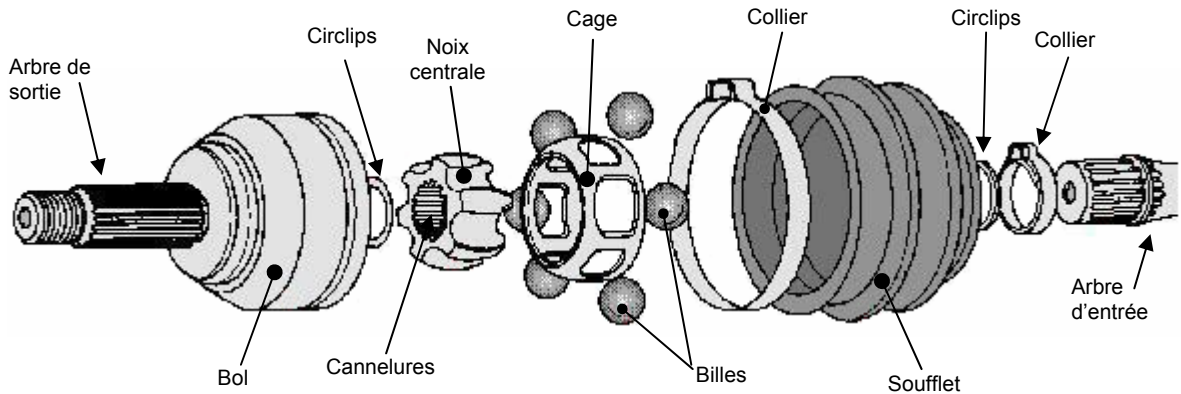


Fig. A3.1.43

L'extrémité de l'arbre d'entraînement est cannelée et s'adapte dans la partie externe du joint appelée bol par l'intermédiaire d'une noix centrale en acier typiquement maintenue en place par un circlips. Le joint externe a une forme demi-sphérique creuse et comporte des rainures toriques servant de chemin de roulement à des billes (analogie à un roulement à billes). Les billes, en acier, sont généralement au nombre de six, et se logent entre les rainures du joint externe solidaire de l'arbre de sortie avec celles de la noix centrale solidaire de l'arbre d'entrée et assurent la liaison entre les deux parties de l'accouplement. Elles sont rendues prisonnières par une cage qui les maintient dans un même plan.

Les mouvements entre les arbres d'entrée et de sortie se font ainsi exclusivement par roulement, la noix centrale et le dispositif à billes se comportant comme une rotule..

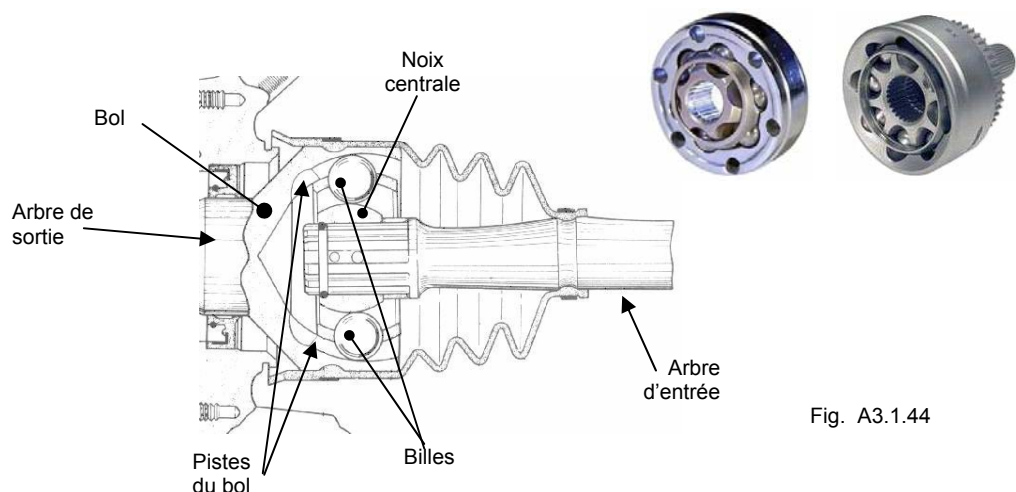


Fig. A3.1.44

A3.1.5. Les embrayages

Les embrayages sont des mécanismes permettant de rendre solidaires deux arbres alignés (phase d'embrayage), ou de les désolidariser (phase de débrayage), au gré d'un utilisateur ou d'un automate de commande.

Ils ne supportent pas ou très peu les défauts d'alignement.

On distingue généralement deux grandes familles d'embrayage :

- Les embrayages par obstacles,
- Les embrayages à friction.

A3.1.5.1. Les embrayages par obstacles (les crabots)

Ils sont aussi appelés embrayages brusques et se présentent sous différentes formes :

➤ à griffes

Un seul sens de marche

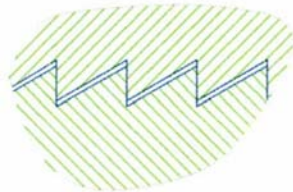


Fig. A3.1.45a

Deux sens de marche

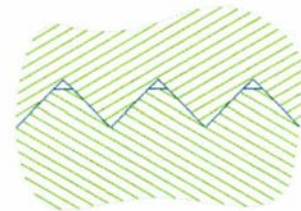


Fig. A3.1.45b



Fig. A3.1.46a

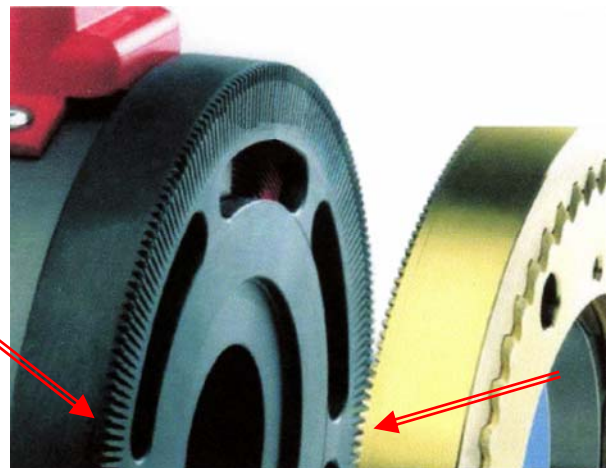


Fig. A3.1.46b

Sur la figure A3.1.46b ci-dessus, on remarque bien les crans sur chacune des parties de cet embrayage électromagnétique à griffes à commande axiale. La partie mobile coulisse sur le moyeu lorsque l'électroaimant est alimenté.

➤ à verrou

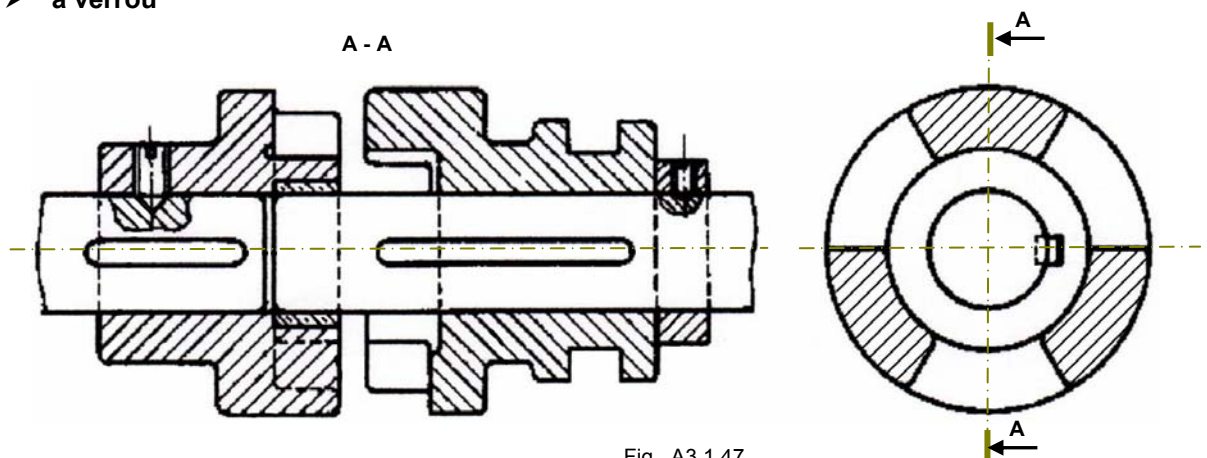


Fig. A3.1.47

Ce sont des systèmes simples de réalisation donc peu onéreux et entraînant une perte de puissance réduite. Par contre, ils ne se commandent qu'à l'arrêt ou à très petite vitesse et ils transmettent les chocs et vibrations sans aucun amortissement et filtrage.

A3.1.5.2. Les embrayages à friction

Ils peuvent être classés à partir de la forme des surfaces frottantes et de l'énergie du système de commande.

Forme des surfaces frottantes	Energie du système de commande
Plane (disque) conique cylindrique	mécanique hydraulique électromagnétique pneumatique

Les figures ci-dessous illustrent les différentes formes des surfaces de friction.

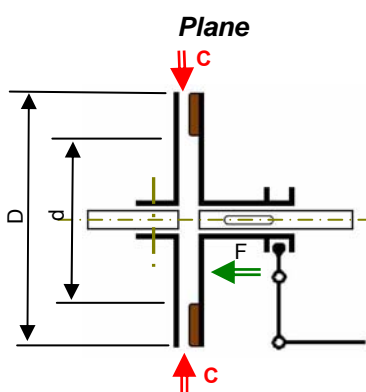


Fig. A3.1.48a

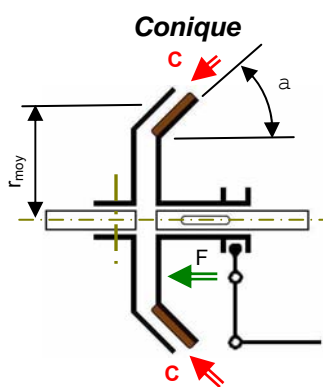


Fig. A3.1.48b

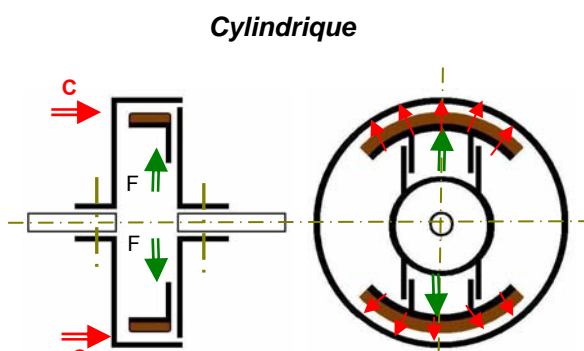


Fig. A3.1.48c

Le couple transmissible par l'embrayage est fonction de l'effort presseur F , du coefficient de frottement f , du nombre n de surfaces en contact et de la géométrie des surfaces en contact.

On a par exemple les relations suivantes :

- surface de friction plane (disque)

$$C = n \cdot F \cdot f \cdot (D^3 - d^3) / 3 \cdot (D^2 - d^2)$$

- surface de friction conique

$$C = n \cdot F \cdot f \cdot r_{moy} / \sin a$$

Les embrayages à disques sont les plus utilisés. On appelle disque l'élément généralement associé à l'arbre de sortie et pincé par deux éléments liés à l'arbre moteur. Il porte les garnitures de friction, et constitue de ce fait une pièce d'usure. Le nombre de surfaces de contact est toujours pair ; ainsi les efforts presseurs n'induisent pas de contraintes dans la liaison entre le bâti et le système d'embrayage, et sont en fait repris par la cloche d'embrayage.

Le nombre de disques annoncé dans un embrayage est donc le nombre de disques pincés munis de garnitures. Le nombre de disques est variable et dépend de l'encombrement ou de la place disponible pour loger le mécanisme.

- Monodisque ;
- bidisque à sec à commande unique ou à commande séparée (double) ;
- multidisque humide ou à sec.

L'embrayage conique est aujourd'hui abandonné sauf pour quelques applications à faible puissance. Il présentait l'intérêt d'être autobloquant : l'assemblage conique restant coincé en l'absence d'effort presseur.

Les garnitures des embrayages, comme celles pour les freins, sont à base de matériaux composites liés, après frittage, par une résine synthétique ou un élastomère.

En fonction des types d'embrayages, la lubrification des surfaces de contact peut :

- Soit fonctionner à sec ;
- Soit fonctionner sous bain d'huile.

Le tableau ci-dessous fournit les principales caractéristiques de quelques modèles de garnitures.

Caractéristiques de quelques garnitures				
Matériaux en frottement	Coefficient de frottement		Pression maxi admissible N/mm ²	Température maximale en °C
	à sec	dans l'huile		
Métal fritté sur fonte	0,1 à 0,4	0,05 à 0,1	1	500 à 600
Métal fritté sur acier	0,1 à 0,3	0,05 à 0,1	2	500 à 600
Garnitures tissées sur fonte ou acier	0,3 à 0,6	0,1 à 0,2	0,3 à 0,7	175 à 260
Garnitures moulées sur acier ou fonte	0,2 à 0,5	0,08 à 0,12	0,35 à 1	200 à 260
Acier sur fonte	0,1 à 0,2	0,04	0,7 à 1,7	250

Les garnitures peuvent être collées ou rivetées sur le support.

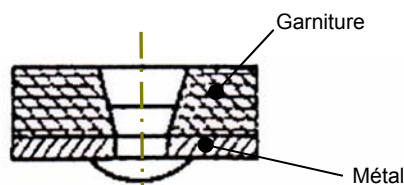


Fig. A3.1.49a

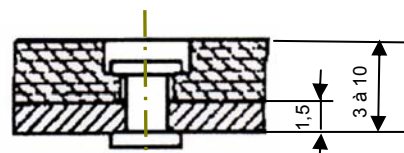


Fig. A3.1.49b

L'élément presseur permet d'obtenir une pression suffisante entre les surfaces frottantes lorsque le mécanisme est en position embrayé de manière à transmettre le couple nécessaire à la transmission. L'effort presseur est souvent généré par la présence de ressorts, de vérin hydraulique ou pneumatique, ...

A3.1.5.3. Les phases de fonctionnement

On distingue trois phases de fonctionnement pour un dispositif d'embrayage.

- La position embrayée

L'embrayage transmet intégralement la puissance fournie, les arbres menant et mené tournent à la même vitesse.

C'est le plus souvent la position stable du dispositif (absence d'action de commande).

- La position débrayée

La transmission est interrompue. C'est une phase de fonctionnement où la charge peut se trouver en roue libre ou à l'arrêt frein serré en fonction de l'usage de la machine. Dans ce dernier cas, le moteur d'entraînement peut continuer à tourner.

- La phase transitoire de glissement

Pendant cette phase, la transmission de puissance est progressivement établie, les arbres d'entrée

et de sortie ne tournent pas à la même vitesse. Il y a alors glissement entre les disques, donc dissipation d'énergie, sous forme de chaleur. Cette phase doit être limitée dans le temps, même si elle est inévitable et permet de solidariser graduellement (sans à-coups) le moteur d'entraînement de la partie entraînée de la machine. L'usure des garnitures a lieu pendant cette phase.

C'est cette situation de glissement qui donne les conditions de dimensionnement de l'embrayage. Elle détermine le couple maximum transmissible. Au-delà, le glissement est systématique.

A3.1.5.4. La commande

Le système de commande peut permettre, suivant les cas :

- Le débrayage
Le mécanisme est alors embrayé au repos. C'est souvent un ressort dans ce cas qui provoque l'effort presseur.
- L'embrayage
Le mécanisme est alors débrayé au repos. C'est le cas des treuils.
- L'embrayage ou le débrayage
Il faudra agir sur la commande pour changer l'état de l'embrayage.

La commande peut être :

- Mécanique
Par leviers, fourchettes, cames... ; l'effort presseur est obtenu par déformation d'éléments élastiques (ressorts, rondelles bellevilles,...).
- Hydraulique
- Pneumatique
- Electromagnétique

Exemple:

Quand on excite la bobine 5 de l'électro-aimant il y a attraction du disque mobile 13 contre le disque moteur 3 qui est équipé d'une garniture de friction.

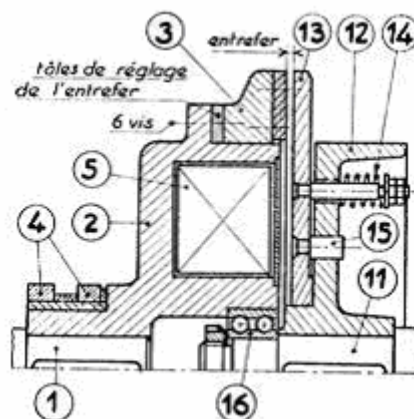


Fig. A3.1.50

- Centrifuge
Dans ce cas, la commande n'est pas volontaire mais provoquée par le dépassement d'un certain niveau de vitesse de rotation de l'arbre menant.

A3.1.5.5. Quelques exemples d'embrayages

➤ Embrayage simple multidisques à commande manuelle « TOURCO »

Construction

Cet appareil se compose de deux parties principales :

La partie 1 ou noyau sur la denture duquel coulisent les disques intérieurs 3. Un manchon de commande 4 solidaire du noyau par la clavette 5 agit sur trois leviers de commande 6.

La partie 2 qui est la cloche liée aux disques extérieurs 7.

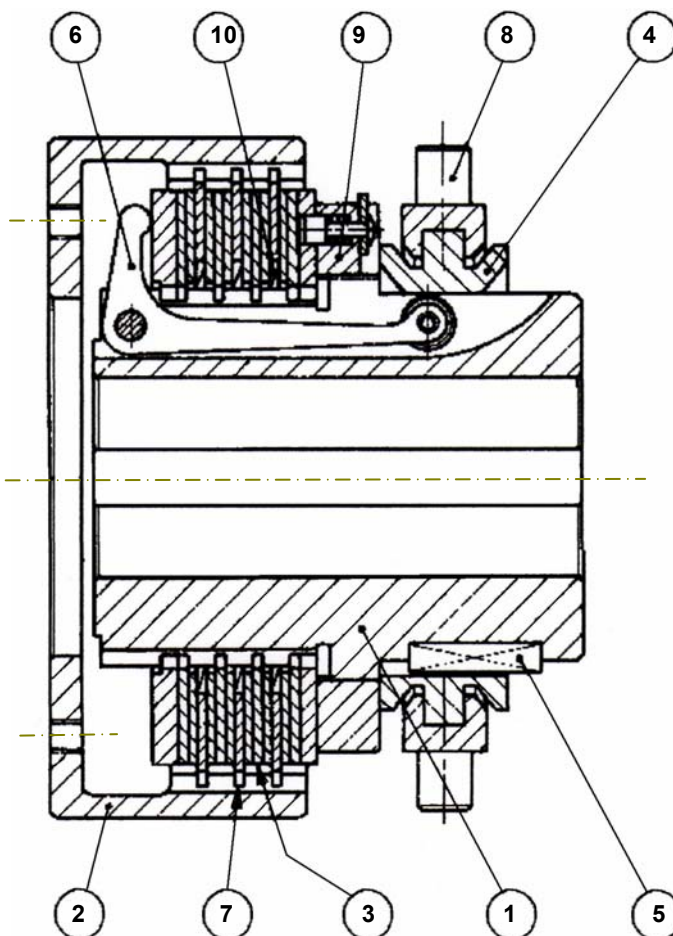


Fig. A3.1.51

Fonctionnement

L'action sur le collier de manoeuvre 8 déplace le manchon de commande 4 vers le jeu de disques. Les trois leviers de commande 6 basculent en comprimant le jeu de disques. En fin de course du manchon de commande 4, les trois leviers de commande 6 sont déformés élastiquement en fonction du positionnement correct de l'écrou de réglage 9. Dans cette position, le manchon de commande 4 et son collier de manoeuvre 8 sont verrouillés. Il n'est plus nécessaire d'exercer une poussée sur le collier de manoeuvre 8. Le couple moteur ou de freinage est transmis. Pour débrayer ou il suffit d'agir sur le collier de manoeuvre 8 dans le sens opposé.

Lorsque le manchon de commande 4 est en « position arrière », les leviers de commande 6 sont basculés complètement, libérant les disques. Les disques sont maintenus écartés par les rondelles -ressorts 10.

➤ Embrayage centrifuge

Principe

Sous l'effet de la force centrifuge les patins se décollent du moyeu M (solidaire de l'organe moteur) sur lequel les ressorts les maintenaient à l'arrêt ou à faible vitesse. Au fur et à mesure que la vitesse augmente, ils embrayent progressivement, par leur garniture de friction, sur la cloche (solidaire de l'organe entraîné).

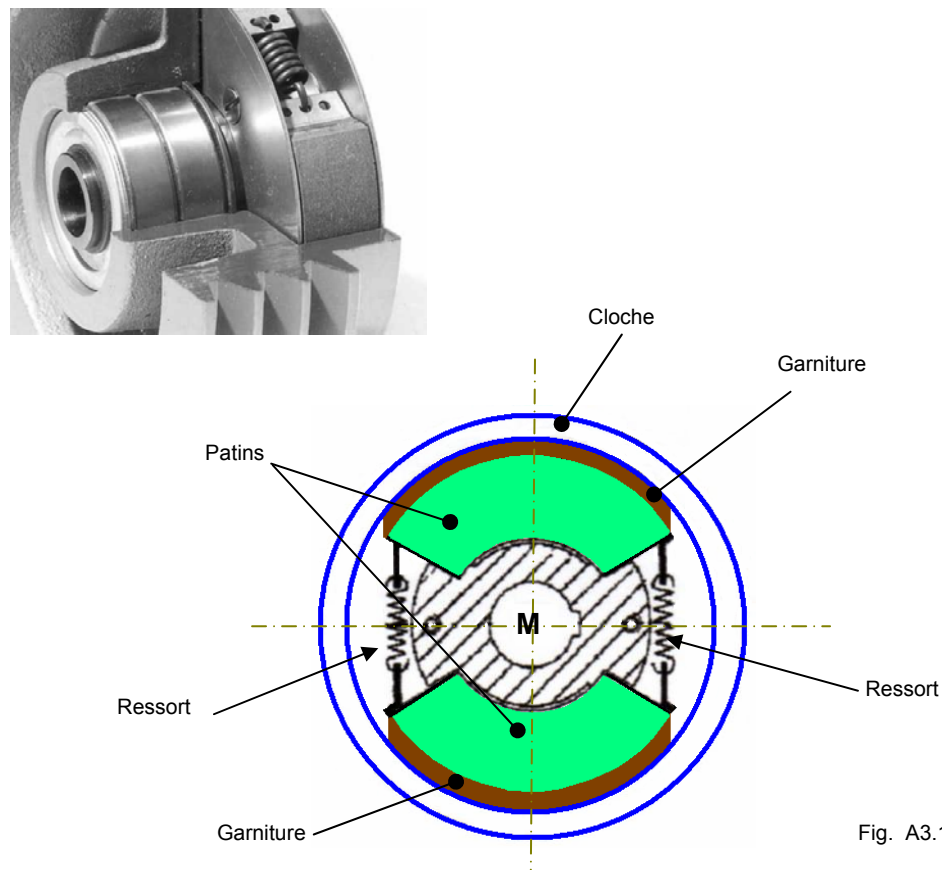


Fig. A3.1.52

Les embrayages centrifuges sont très utiles pour les machines entraînées par des moteurs thermiques car ceux-ci ne peuvent être démarrés qu'à vide.

La machine est ainsi entraînée automatiquement (sans intervention extérieure) lorsque le moteur est accéléré et atteint sa vitesse normale de travail.

Ils sont également recommandés lorsque les machines sont entraînées par des moteurs asynchrones triphasés à cage sans variation de vitesse car la brutalité de démarrage est redoutable et risque de détériorer la machine entraînée ainsi que les organes de transmissions intermédiaires. Autre avantage d'un tel embrayage progressif : la diminution de l'appel de courant au démarrage.

Selon le type de machine entraînée (lourde, légère, ...) ou de la matière travaillée (viscosité, fluidité,...) il peut être désiré que le processus d'embrayage commence plus ou moins tôt. Il se produira d'autant plus vite que la force exercée par les ressorts attirant les patins vers le centre sera plus faible. Pour effectuer ce réglage, il y a deux façons de procéder :

- soit par le nombre des ressorts en action,
- soit en utilisant des ressorts de raideur différente.

A3.1.6. Les limiteurs de couple

Leur fonction est de limiter le couple transmissible entre deux arbres afin de protéger un mécanisme contre les surcharges (couple de démarrage) et les blocages. Ils peuvent être à goupille fusible, à friction ou à déclenchement et réarmement.

Le tarage du couple est obtenu en général par un système presseur à ressorts.

Un capteur peut permettre le contrôle de son fonctionnement pour tout asservissement du moteur d'entraînement.

A3.1.6.1. Les limiteurs de couple à friction

La technologie est la même que celle des embrayages. Il existe de nombreuses variantes monodisques, multidisques, Le couple est transmis par adhérence entre deux surfaces (ou plus) au moyen d'un dispositif presseur.

Une fois le couple maximal atteint, il n'y a pas de désaccouplement, le limiteur patine.

Il faut donc veiller à ce qu'il n'y ait pas surchauffe, en prévoyant par exemple une coupure électrique du moteur d'entraînement.

Dans l'exemple ci-dessous, une bague de réglage permet d'ajuster la valeur maximale du couple transmis (couple de patinage) en comprimant plus ou moins les rondelles ressorts.

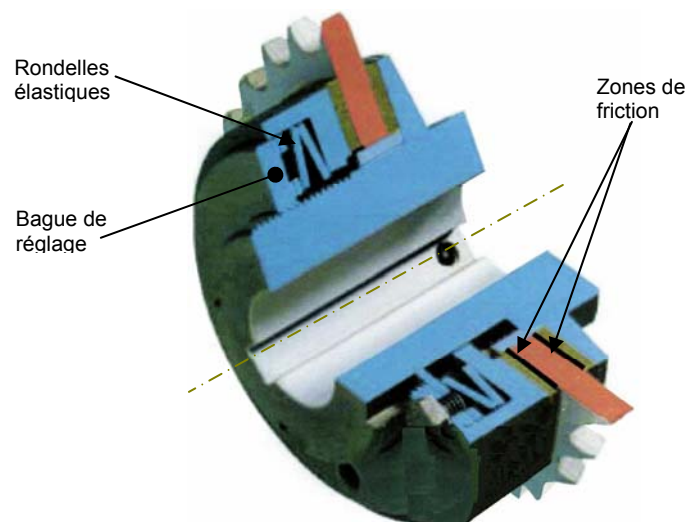


Fig. A3.1.53

L'utilisation de plusieurs disques alternés (les uns liés à l'entrée et les autres à la sortie), permet d'augmenter le couple transmis et/ou de réduire l'effort presseur.

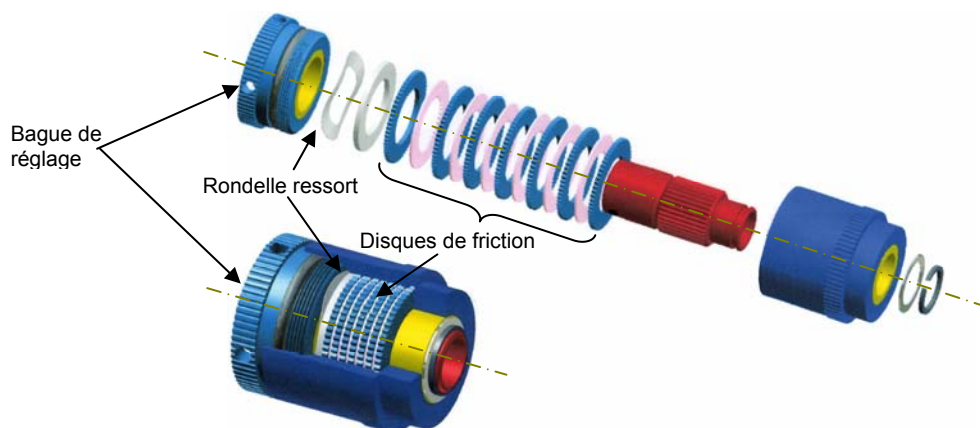


Fig. A3.1.54

Ce genre de limiteur existe aussi avec des surfaces de friction coniques.

Exemple : Limiteur de couple à friction TOURCO série 3.40

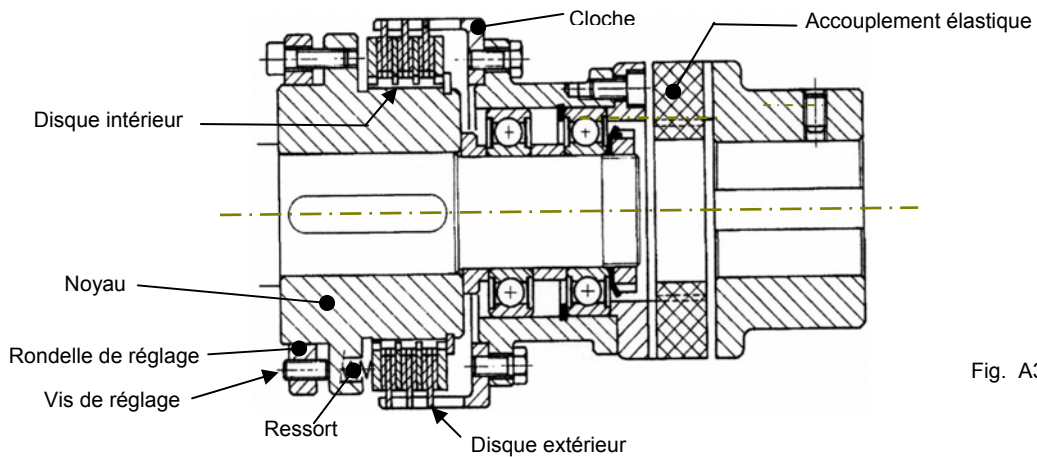


Fig. A3.1.55

Ce limiteur se compose de deux parties principales :

- Le noyau lié aux disques intérieurs, une rondelle de réglage permet de régler la compression des ressorts.
- La cloche, liée aux disques extérieurs est solidaire de l'accouplement élastique.

Ce limiteur fonctionne par friction à sec, au moyen de disques acier sur disques avec garnitures collées. Le positionnement de la rondelle de réglage assure une compression plus ou moins importante entre les disques extérieurs et intérieurs.

Le couple de patinage peut ainsi être taré à la valeur désirée.

En cas de surcharge, lorsque le couple transmis devient supérieur à la valeur de tarage, il y a glissement des disques extérieurs contre les disques intérieurs.

Lorsque la surcharge disparaît, le phénomène de glissement s'arrête, et le couple est à nouveau transmis à la vitesse de la partie motrice.

A3.1.6.2. Les limiteurs de couple à déclenchement et réarmement

Si les limiteurs de couple à friction ont le double avantage d'être simples et bon marché, nous avons vu qu'ils présentent l'inconvénient de générer un échauffement important en cas de patinage prolongé. Celui-ci provoque non seulement une usure accélérée des surfaces patinant l'une sur l'autre, mais aussi, risque de détériorer les pièces avoisinantes (ressorts, etc...).

Avec les limiteurs à billes, dès le déclenchement opéré, les parties menante et menée n'ont plus aucun contact ou ne l'ont que par l'intermédiaire que des billes. De ce fait il n'y a ni échauffement ni usure.

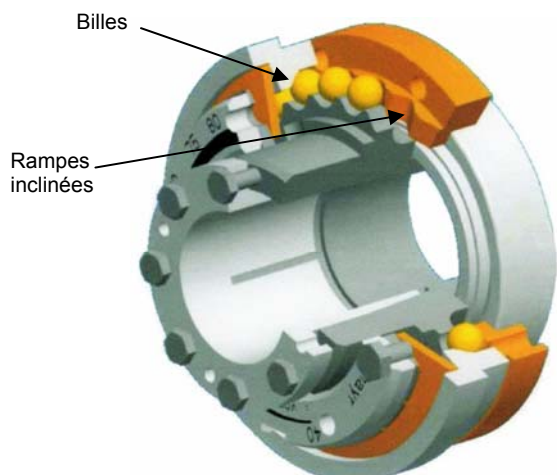


Fig. A3.1.56a

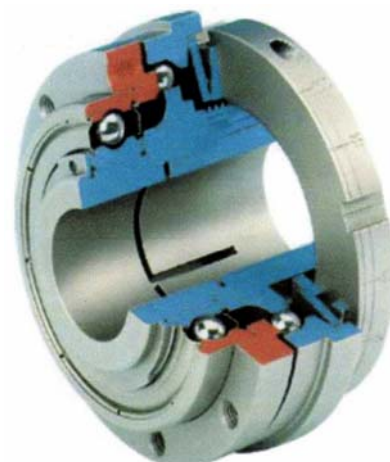


Fig. A3.1.56b

Les billes étant poussées par un ressort, elles ne peuvent transmettre, via des rampes inclinées, qu'un couple limité.

Une fois le couple maximal atteint, il y a désaccouplement entre l'entrée et la sortie. Le couple transmis devient nul. Lors du déclenchement, il se produit un déplacement axial de l'une des parties du limiteur et ce déplacement permet d'actionner un signal optique ou sonore et même d'arrêter le moteur

Le limiteur doit ensuite être réarmé manuellement ou par l'intermédiaire d'une commande mécanique, hydraulique, électromagnétique ou autre pour transmettre à nouveau.

Ce dernier ne peut se faire qu'à l'arrêt après avoir effectué une remise en phase des parties menante et menée (utilisation de repères).

Certains modèles destinés à fonctionner dans des installations difficilement ou dangereusement accessibles disposent d'un réarmement automatique. Au bout d'un tour, ce réarmement se fait automatiquement et exactement "en phase". Si le dérangement persiste, un dispositif annexe provoque l'arrêt de l'ensemble.

Le choix de l'appareil doit s'effectuer en tenant compte, d'une part, du couple de démarrage et, d'autre part, des à-coups normaux survenant pendant le fonctionnement afin d'éviter tout désaccouplement intempestif non désiré (prévoir une marge de sécurité).

Exemple : Limiteur de couple à billes à réenclenchement manuel type LCBM



Fig. A3.1.57

A3.1.7. Les roues libres

Ce sont des accouplements directionnels capables de transmettre un couple dans une direction donnée en autorisant une marche à vide dans l'autre sens. Les roues libres industrielles utilisent rarement des dispositifs à cliquets, mais plus généralement le phénomène d'arc-boutement, c'est-à-dire d'adhérence.

La fonction "**élément de couplage**" permet de transformer un mouvement oscillant en rotation intermittente.

La fonction "**antidévireur**" permet d'éviter un mouvement arrière sous la charge.

La fonction "**débrayage**" permet de laisser continuer le mouvement de sortie (par inertie) en cas de mouvement retour de l'entraînement ou pour passer d'une première vitesse lente à une seconde vitesse plus rapide.

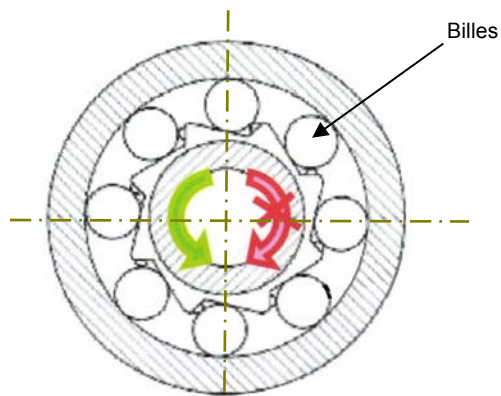


Fig. A3.1.58a

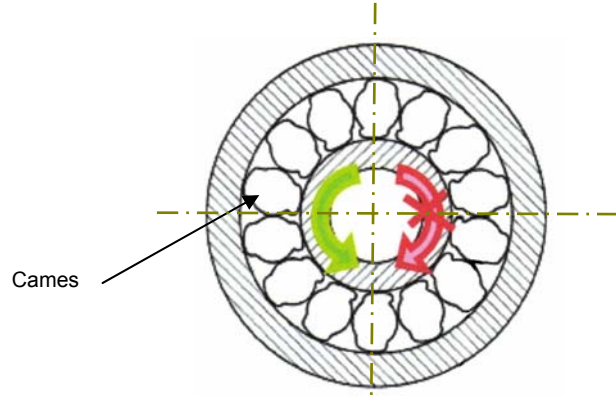


Fig. A3.1.58b

Les figures ci-dessus illustrent le phénomène d'arc-boutement autorisant la rotation dans un seul sens.

Pour chaque cas d'utilisation, il existe différents types de roues libres dont les dimensions dépendent du couple à transmettre, de la fréquence de couplage et de la vitesse de rotation à vide.

Les roues libres sont livrées avec ou sans roulements intégrés; dans le second cas, une liaison pivot est à prévoir.

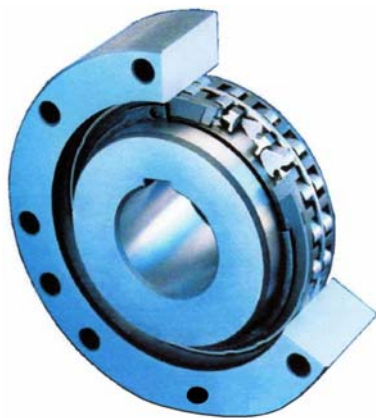


Fig. A3.1.59a



Fig. A3.1.59b

A3.1.8. Les coupleurs

Un coupleur est un dispositif d'accouplement progressif entre deux arbres tournants coaxiaux. Il occupe la même position qu'un embrayage dans la chaîne cinématique d'une transmission de mouvement, mais son rôle essentiel est fondamentalement différent. C'est un organe de démarrage dont le rôle est d'amener le mécanisme mené à sa vitesse de régime dans des conditions qui permettent la mise en route optimale du mécanisme menant (moteur) et limitent la valeur des contraintes appliquées à l'ensemble. La valeur et l'évolution du couple transmissible par un coupleur donné sont déterminées par sa vitesse et son glissement (écart relatif entre les vitesses menante et menée) indépendamment de toute intervention extérieure.

Il existe plusieurs grandes familles de coupleurs :

- Les coupleurs hydrauliques,
- Les coupleurs à poudre,
- Les convertisseurs.

A3.1.8.1. Les coupleurs hydrocinétiques

Un coupleur hydraulique est un dispositif d'accouplement progressif entre deux arbres tournants coaxiaux mettant en oeuvre la variation d'énergie cinétique d'un liquide circulant entre sa partie menante et sa partie menée sans lien ni contact solide. Sauf usage d'artifices complexes, on ne peut pas intervenir sur ses caractéristiques intrinsèques sinon, une fois pour toutes, par son calibrage (taille et remplissage). La contrepartie de cette rigidité fonctionnelle est la simplicité d'installation puisque, dans sa version la plus courante, il se monte à la même place et sans plus de complication qu'un banal accouplement.

Le principe de base consiste à transmettre un couple par frottement d'un fluide (généralement de l'huile minérale) sur les parois du coupleur (roue pompe en entrée, roue turbine en sortie). Lors de la mise en rotation de la **roue pompe** par un moteur, celle-ci travaille comme une pompe centrifuge et assure la circulation de l'huile qui est accélérée et acquiert ainsi de l'énergie cinétique. La **roue turbine**, par les frottements de l'huile sur les parois, est entraînée progressivement.

En quelques secondes, on en arrive à l'équilibre entre le couple moteur et le couple résistant mais il existe toujours un léger glissement (2 à 5%) entre la vitesse de sortie et la vitesse d'entrée.

L'entraînement ainsi obtenu est souple et progressif, les à-coups et les oscillations de torsion sont amortis grâce à l'inertie du fluide. Le couple transmis au démarrage est très faible et augmente progressivement avec le carré de la vitesse ce qui permet de limiter le moteur. Le coupleur fait office de limiteur de couple.

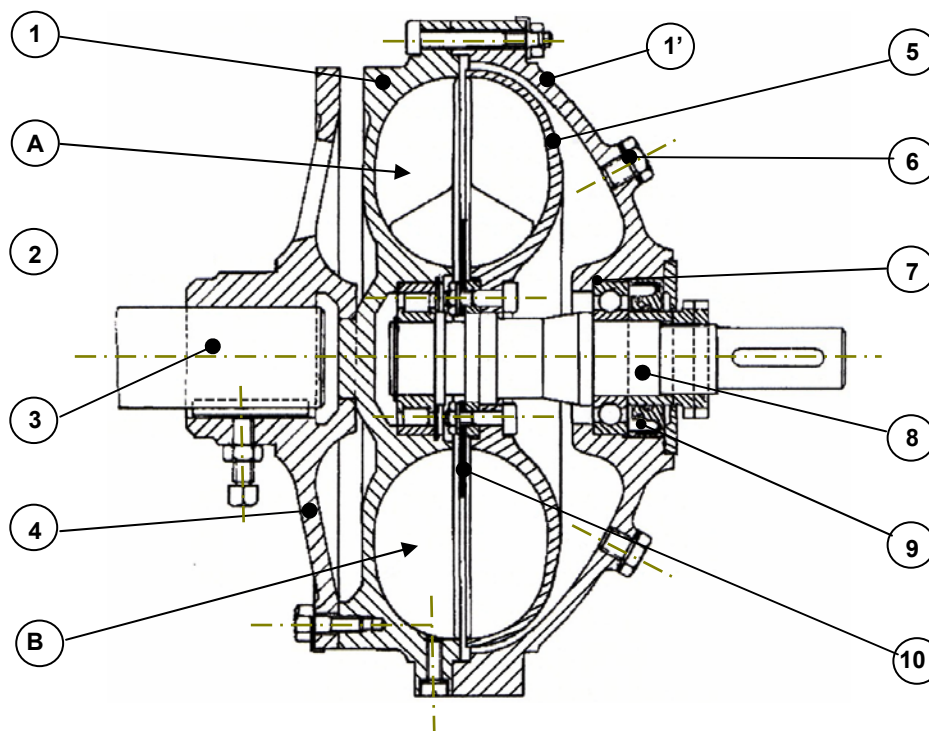


Fig. A3.1.60

Le coupleur représenté ci-dessus comprend deux éléments essentiels ayant chacun la forme d'un demi-tore l'élément moteur **1** et l'élément récepteur **5**. Chacun de ces éléments est muni d'ailettes : 18 ailettes complètes **B** et 36 ailettes incomplètes **A**. Entre les deux éléments se trouve le déflecteur **10**. Le carter **1'**, solidaire de **1**, forme avec lui le réservoir de liquide (huile minérale spéciale) rempli à environ 30 %. C'est ce liquide qui assure la liaison avec glissement entre les deux éléments.

La simplicité de mise en œuvre, jointe à la robustesse qui résulte de la simplicité de sa réalisation, en fait un appareil parfaitement bien adapté aux installations qui doivent fonctionner avec une surveillance réduite ou nulle. Une autre de ses particularités est de pouvoir transmettre des puissances très élevées avec un volume très limité. Cela lui donne un avantage économique par rapport à d'autres solutions - électroniques notamment - d'autant plus net que les équipements sont puissants. S'agissant d'un organe de transmission, il importe de préciser qu'il diffère fondamentalement d'un embrayage car il n'est pas un organe de connexion ; en particulier, il ne permet pas (sauf artifice) de faire tourner l'un des mécanismes menant ou mené sans entraîner l'autre.

Il diffère aussi fondamentalement du convertisseur hydraulique de couple car il transmet l'énergie à couples (mené, menant) identiques et vitesses variables alors que le convertisseur fonctionne à puissances identiques : le produit couple x vitesse est le même du côté menant et du côté mené. On peut ainsi utiliser, à couple élevé et très faible vitesse, la puissance d'un moteur à grande vitesse et faible couple. Le convertisseur hydraulique constitue un véritable transformateur de puissance.

A3.1.8.2. Les coupleurs à poudre

On distingue :

- Les coupleurs à poudre à effet par champ magnétique

Dans ce cas, on établit un courant électrique dans une bobine. Sous l'effet du champ magnétique ainsi créé, la poudre magnétique contenue dans un carter s'oriente suivant les lignes de champ et devient compacte : il y a alors entraînement. Sans courant, la poudre est maintenue par la force centrifuge.

- Les coupleurs à poudre à effet centrifuge

Le rotor, solidaire de la machine entraînée tourne à l'intérieur du carter solidaire de l'arbre menant. A l'intérieur de ce carter, est emprisonnée une certaine quantité de grenaille (billes < 1 mm).

Au démarrage, cette grenaille est brassée par le rotor, puis au fur et à mesure que la vitesse augmente, la force centrifuge la colle à la périphérie. Lorsque la vitesse de marche est atteinte, cette grenaille assure une liaison rigide entre les deux parties du coupleur. L'accouplement est alors en phase bloquée.

Il y a la possibilité de régler la rapidité d'action (seuil de vitesse) de cet embrayage en variant la quantité de poudre contenue dans le carter.

En cas de surcharge momentanée, ce coupleur agit également comme limiteur de couple par patinage.

Exemple : Le coupleur à poudre type GRANULOCK



Fig. A3.1.61a

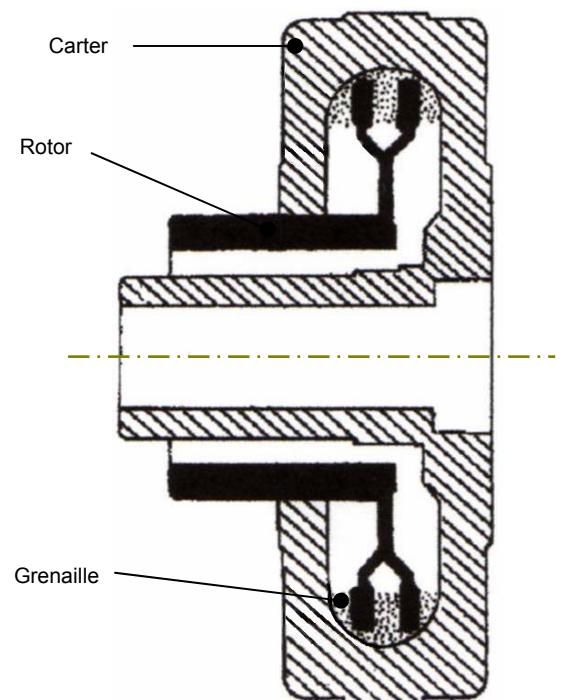


Fig. A3.1.61b

A3.1.8.3. Les convertisseurs

Basés sur le principe des coupleurs, ils disposent d'un aubage ou ailette de réaction permettant de modifier le sens de circulation du fluide et de faire varier le couple. Ils sont utilisés avec des boîtes de vitesses automatiques sur les véhicules routiers (A3.1.62a) ou sur des grosses installations (fonction égalisatrice pour les servomoteurs), (A3.1.62b).

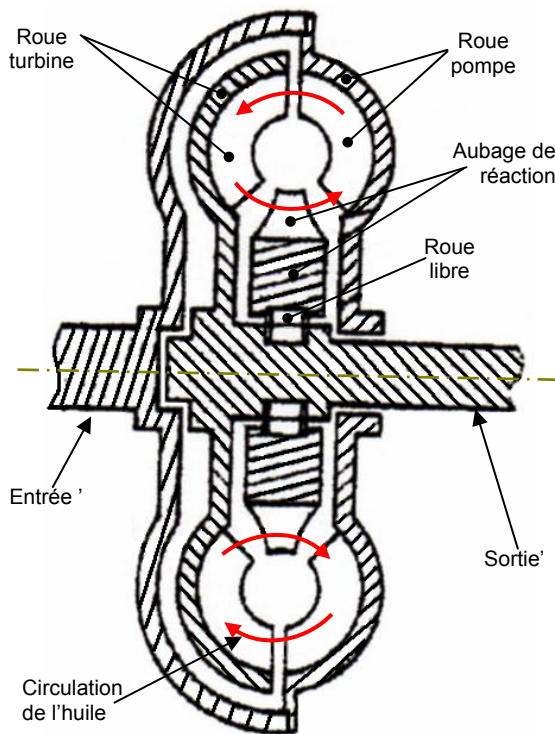


Fig. A3.1.62a

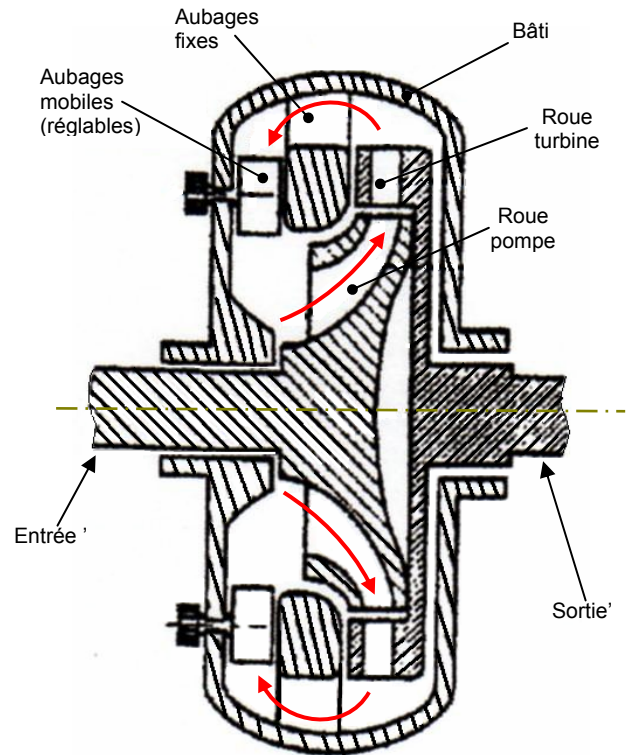


Fig. A3.1.62b

A3.1.9. Les critères de choix d'un accouplement

Les critères de choix d'un accouplement sont nombreux. Nous citerons en particulier :

➤ **Le type de motorisation**

Un moteur thermique, surtout monocylindre, est source de vibrations de torsion. Un accouplement à élastomère amortira les fluctuations de couple.

➤ **Le type de charge**

Un compresseur à piston nécessite aussi d'amortir les vibrations. A l'inverse, une machine rotative d'imprimerie exige un parfait synchronisme entre les rouleaux, donc une grande rigidité en torsion des accouplements. Sur les machines dangereuses, il faudra mettre en œuvre des accouplements de sécurité.

➤ **Le couple à transmettre**

L'accouplement doit être non seulement capable de supporter le couple nominal de fonctionnement de la machine, mais également celui correspondant aux surcharges transitoires normales voir exceptionnelles que la machine doit supporter (cahier des charges) et évidemment les couples transitoires liés aux accélérations et décélérations. Si il y a un risque de surcharge destructive, il est nécessaire de prévoir des dispositifs limiteurs insérés dans la chaîne cinématique.

➤ **Le niveau de vitesse**

Il s'agit non seulement de la vitesse nominale de fonctionnement, mais également du niveau maximum de vitesse qui peut être atteint en cas d'anomalie de fonctionnement de la machine.

➤ **Les défauts prévisibles d'alignement des arbres.**

Il ne suffit pas que l'accouplement autorise certains défauts. Il faut voir aussi quels efforts il génère lorsqu'il est déformé car ces contraintes se répercuteront sur les guidages des arbres et en affecteront leur durée de vie.

➤ **Les mobilités éventuellement nécessaires entre les arbres**

Par exemple des joints de cardan pour compenser les mouvements des roues par rapport à l'axe du moteur d'entraînement.

➤ **Des contraintes d'environnement**

Telles que températures extrêmes, atmosphère corrosive ou explosive, ...

➤ **Autres contraintes**

Encombrement, poids, inertie, bruit, sens de montage, démontage rapide...