

Cours	Cours TE 2	
	Guidage en translation et rotation	TSI1 (Période 3) 1h
	Cycle 7 : Transmettre l'énergie mécanique	3 semaines

MODELISER : Proposer une modélisation des liaisons avec leurs caractéristiques géométriques.

MODELISER : Simplifier un modèle de mécanisme.

ANALYSER : Justifier le choix des constituants dédiés aux fonctions d'un système.

COMMUNIQUER : Lire et décoder un document technique.

COMMUNIQUER : Utiliser un vocabulaire technique, des symboles et des unités adéquats.

CONCEVOIR : Proposer une architecture fonctionnelle et structurelle.

CONCEVOIR : Choisir la technologie des composants de la chaîne de puissance.

1 Cahier des charges d'une liaison

Exigence	Critère	Valeur	Flexibilité
1.1 Guider le déplacement	amplitude des déplacements autorisés	en translation : course (en m), en rotation : souvent continue	minimum ou maximum requis
	précision du guidage (pour les mobilités bloquées)	jeu J (en m)	valeur maxi ou tolérance maxi
		déformat° : Δd en m, $\Delta \theta$ en rad	
	plage de vitesse admissible	translation : V, rotation : Ω ou N	valeur maxi
1.2 Transmettre les efforts	effort transmissible	F_{\max} (en N): radial ou axial C_{\max} (en Nm)	en pourcentage
	limiter les pertes (pour les mobilités)	rendement η	valeur maximum
		type de lubrifiant indiqué	
	nature des efforts	chocs, vibration,...	
1.3 Être maintenable	démontabilité	faisabilité et durée d'intervention	
	standardisation	outillage et pièce standards	
1.4 Limiter la fréquence des interventions	durée de vie	L_H : de 500h (intermittent) 15 000h (usuel) 200 000h (si 24h/24 et 7jr/7)	
1.5 Être économique	coût	prix d'achat	tarif maximum
		coût d'entretien (pièce détachée et fréquence)	
1.6 Être esthétique	esthétique	forme et couleur (revêtement,...)	options
		tenu au temps (corrosion,...)	
1.7 Être disponible	disponibilité des composants	taille du stock (standard)	nombre mini
		délai de livraison	temps maximum
1.8 S'intégrer à l'environnement	encombrement	- Largeur*hauteur*profondeur - Encombrement radial et axial	valeurs maxi (parfois mini)
	ne pas présenter de danger	formes adaptées (chanfrein,...)	
	étanchéité (éviter les pollutions)	pression à étancher	seuil de pollution tolérée

Figure 1 : détails des critères d'évaluation des exigences d'un guidage

2 Les solutions techniques et leurs limites

2.1 Positionnement radial

2.1.1 Contact direct

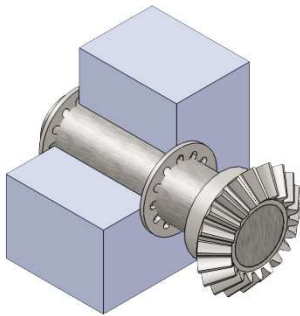


Figure 2 : centrage long par contact direct

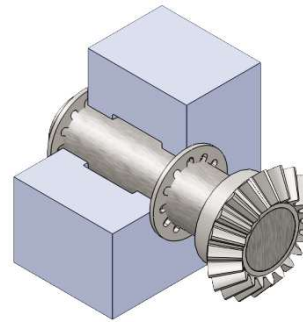


Figure 3 : centrage long par contact direct (fractionné en 2 centrajes courts)

Centrage long : la solution de la Figure 2 semble plus simple à priori mais son inconvénient réside dans la nécessité de réaliser 2 cylindres compatibles cinématiquement.

Cela implique :

- un guidage avec beaucoup de jeu (pas toujours souhaitable),
- un usinage précis donc cher.

Double centrage court : La solution de la Figure 3 résout ces 2 problèmes :

- en réduisant les zones de contact et donc les risques de grippage,
- et en réduisant les surfaces à usiner précisément.

Avantage : **économique** lorsque le jeu de fonctionnement n'est pas un critère décisif.

Inconvénient : dans tous les cas, ces solutions impliquent des frottements importants et donc des **puissances réduites** (vitesses lentes et/ou efforts transmis faibles). Sinon cela entraîne des couples résistants importants d'une part et d'autre part des échauffements préjudiciables à la tenue des matériaux.

Exemples : outillages à main (sans multiplicateur de vitesse), micromécanique.

2.1.2 Bague de guidage ou palier lisse

Usage : dans le cas, où l'on souhaite transmettre des efforts plus importants (en limitant les frottements) et/ou fonctionner à des vitesses plus grandes, on pourra utiliser des paliers lisses (appelés aussi bagues de guidage).

Principes et constitution :

Ces paliers lisses sont souvent autolubrifiés (l'huile migre au contact de l'arbre sous l'effet de la dépression générée par la vitesse au contact). Une ou des rainures souvent axiales contribuent à la formation du film d'huile.

Les paliers lisses disposent éventuellement aussi d'un revêtement antifriction rapporté sur le cylindre intérieur ou constitutif de la bague (ce qui réduit notamment l'adhérence au démarrage lorsque la lubrification est moins opérante).

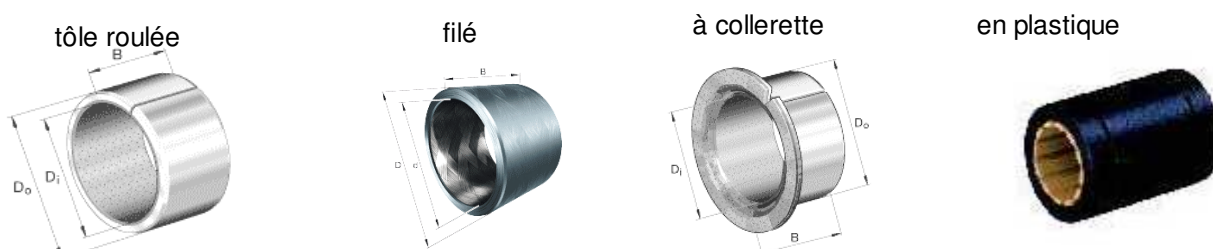


Figure 4 : exemples de paliers lisses

Avantages :

- Le **frottement au contact est donc limité** (jusqu'à $f = 0,01$ à comparer au frottement acier-acier dont l'ordre de grandeur est $f = 0,1$) ce qui permet de réduire l'échauffement au contact et donc d'augmenter les efforts transmis ou/et les vitesses.
- Par ailleurs certains paliers lisses sont susceptibles d'encaisser des **chocs** sans compromettre leur durée de vie,
- **encombrement** radial réduit.

Inconvénients :

- Les **vitesses restent malgré tout limitées** par rapport aux roulements,
- Le **jeu radial** est nécessaire au fonctionnement du palier au détriment de la précision.

Montage :

Les paliers lisses se montent serrés dans le logement et glissants sur l'arbre.

En cas d'effort axial, une collerette permet de réduire également le frottement au niveau du plan de contact.

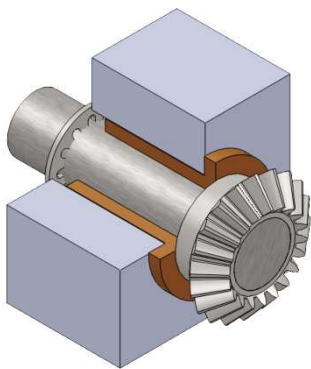


Figure 7 : palier à collerette monté en centrage long

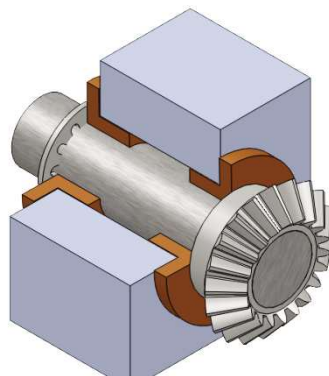


Figure 5 : paliers à collerette sur 2 centrages courts

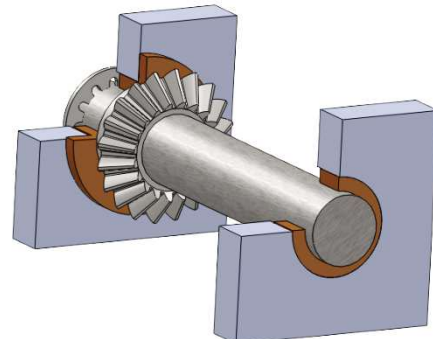


Figure 6 : paliers sur 2 centrages courts avec la charge au centre

Le cas de la Figure 6 est préférable car c'est le cas où les efforts seront les mieux répartis sur les 2 bagues (charge mieux centrée).

Exemple : liaison bielle - vilebrequin sur certains moteurs à explosion, pompe doseuse.

2.2 Positionnement axial (liaison pivot)

Les arrêts axiaux peuvent être regroupés en 3 catégories.

2.2.1 Butée sur un épaulement ou une entretoise

Avantage : Solution à privilégier lorsque les efforts axiaux sont importants et pour l'arrêt notamment des éléments devant être montés à la presse (cas d'un serrage radial).

Inconvénient : Cette solution n'est souvent possible que d'un seul côté (sinon le montage est problématique).

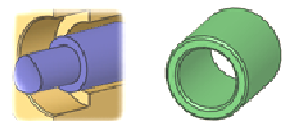


Figure 8 : arrêts axiaux (épaulement et entretoise)

2.2.2 Anneaux élastiques ou goupille :

Cette solution est fréquemment utilisée.

Avantages : usinage facile de la gorge (plus facile qu'un filetage) et le montage est rapide.

Inconvénients :

- l'usinage de la gorge affaiblit l'arbre,
- le montage des anneaux élastiques est délicat et nécessite un jeu axial. Cela nuit donc à la précision du positionnement,
- les efforts axiaux transmissibles sont limités et les vitesses de rotation peuvent être une limite pour les anneaux montés sur l'arbre.



Figure 9 : anneau élastique (circlips)

2.2.3 Solutions vissées :

Il peut s'agir de chapeaux vissés ou filetés ou d'écrou.

Avantages :

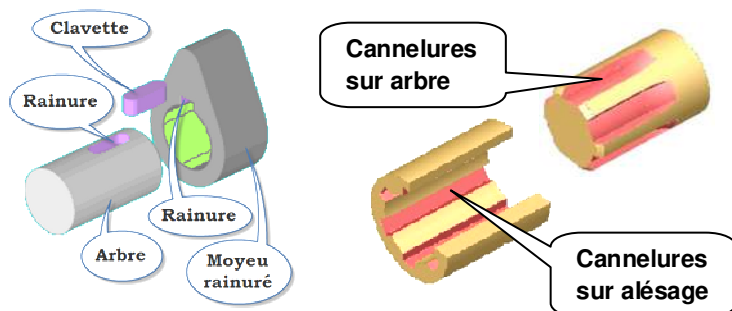
- Effort axial transmissible important (souvent associé à un épaulement),
- Permet le réglage du jeu axial dans la liaison (utilisation notamment de cales ou de rondelles frein type SKF).

Inconvénients : nécessité d'usiner les filetages et taraudages (plus délicat que d'autres usinages).

Figure 10 : Arrêts axiaux vissés



2.3 Positionnement angulaire (liaison glissière)



Butée angulaire par rainures

Une solution compacte pour réaliser la butée angulaire est de prévoir une clavette, des cannelures ou parfois une goupille associée à une rainure.

Figure 11 : Butée angulaire (clavette ou cannelures).

Guidage sur colonnes

Lorsque les efforts en jeu sont importants, on peut être amené à réaliser un guidage à partir de 2 colonnes. Dans ce cas, le parallélisme entre colonnes est indispensable au bon fonctionnement du guidage.

Dans certains cas, afin d'éviter le coincement, on utilise une fourche qui vient se placer sur la 2^{ème} colonne. Cela atténue grandement les inconvénients des défauts de parallélisme.



Figure 12 : Glissière sur colonnes d'un vérin anti-rotatif

Guidage prismatique

Enfin, on rencontre aussi souvent des liaisons glissières qui ne font intervenir que des surfaces prismatiques (2 surfaces planes perpendiculaires suffisent à la mise en position).

Le maintien en position se fait à partir de surfaces planes réglables.



Machine-outil conventionnelle



Outillage manuel (pied à coulisse)

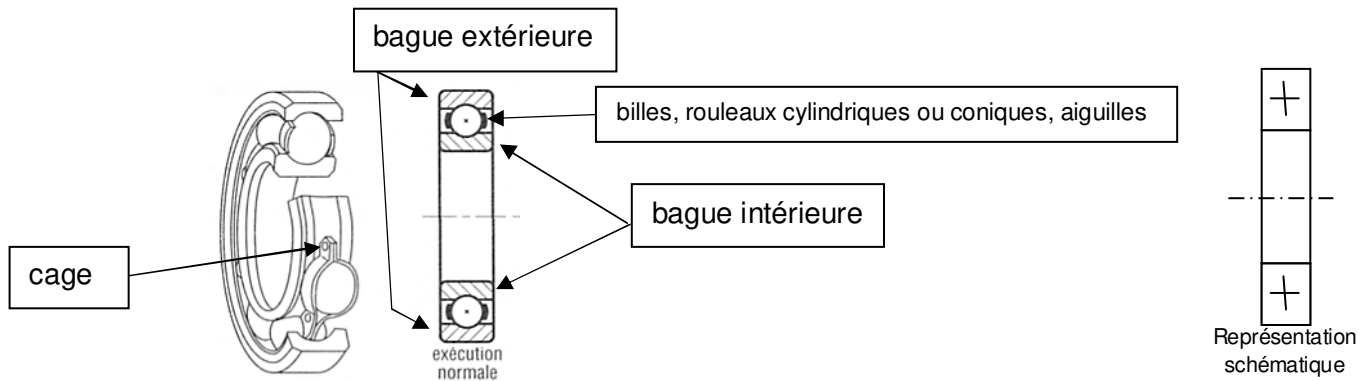
Figure 13 : Glissière par surfaces prismatiques

3 Guidage en rotation

Usage : dans le cas, où l'on souhaite transmettre des efforts importants à grandes vitesses, la solution la plus répandue est d'utiliser des roulements.

3.1 Roulements : principes et constitution

Les roulements sont constitués de 4 éléments :



Les 2 bagues ont pour fonction de rapporter des chemins de roulement résistants et profilés afin d'augmenter les performances.

Afin de gagner en encombrement, il arrive que l'on supprime ces bagues (pour les roulements à aiguilles notamment). L'arbre ou le logement devront alors faire l'objet d'une attention particulière concernant la dureté et l'état de surface.

Les éléments roulants limitent les frottements (jusqu'à une valeur $f=0,001$) ce qui permet d'augmenter les efforts et les vitesses en proportion.

La cage permet de maintenir les distances entre éléments roulants afin de répartir au mieux les efforts entre eux et de donner de la cohésion au roulement.



Figure 144 : différentes formes d'éléments roulants

<https://youtu.be/weQ3z5xHZL0>

3.2 Modélisation cinématique :

La modélisation cinématique des roulements dépend du rotulage autorisé par le constructeur. Ce rotulage varie entre 0 et 5°.

On admet en général que les roulements dont le rotulage est inférieur à 5' réalise une liaison pivot-glissant (avant mise en place des arrêts axiaux) :

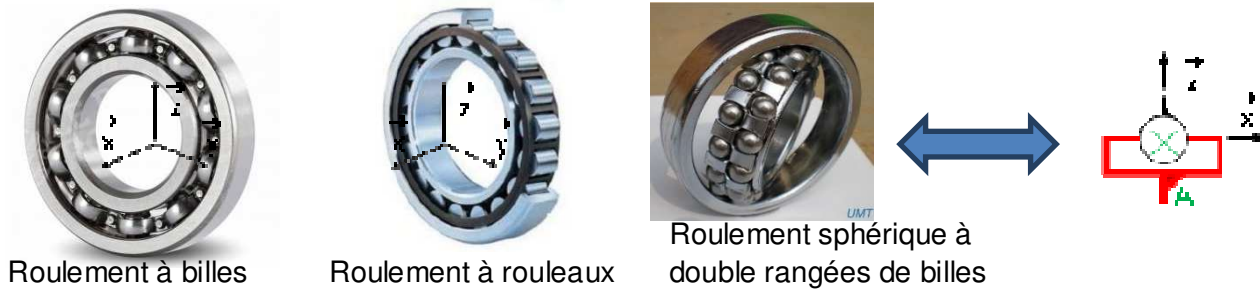
- **liaison pivot-glissant** : il s'agit communément des roulements à aiguilles et à 2 rangées de billes (si non arrêté en translation et en absence de l'appellation "rotule" liés à la forme du chemin de roulement qui autoriserait alors des angles de rotation de plusieurs degrés autour de x et z) et.



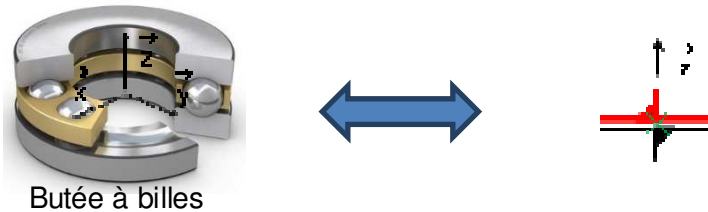
Roulement à 2 rangées de billes

Roulement à aiguilles

- **liaison sphère-cylindre** : sont ainsi couramment modélisés les roulements à une rangée de billes ou de rouleaux, les roulements à "rotule",



- **liaison appui-plan** : les butées (à billes, rouleaux ou aiguilles) parfois pivot pour certaines versions.



3.3 Avantage et limites

Avantages :

- vitesses importantes,
- frottement réduit,
- possibilité de supprimer les jeux de fonctionnement par réglage des butées axiales.

Inconvénients :

- chargement statique parfois problématique,
- sensibles aux chocs.

3.4 Montage :

Les roulements sont généralement montés par paires afin d'assurer le guidage radial attendu.

La bague mobile par rapport à la direction de la charge se monte avec un serrage radial.

L'autre bague se monte avec du jeu radial.

Si les 2 bagues sont mobiles par rapport à la charge, les 2 bagues peuvent être montées serrées. Cela a pour but d'éviter la détérioration de la portée de roulement correspondante.

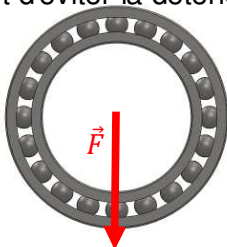


Figure 15 : charge fixe (engrenage simple, ...)

Dans ce cas la bague mobile est montée serrée.

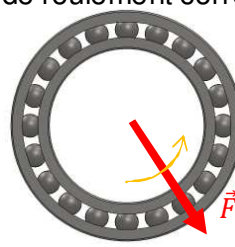


Figure 16 : charge mobile (balourd de machine à laver,....)

Dans ce cas la bague fixe est montée serrée.

Le contrôle du jeu dans la liaison se fait par le réglage des butées axiales. On règle en général la position axiale des bagues montées avec du jeu radial.

Exemple : moteur électrique, roues de voitures.

4 Guidage en translation par douille à billes

Le guidage en translation se décompose en 2 grandes familles :

- le guidage sur colonne qui fait intervenir un cylindre de contact,
- le guidage sur formes prismatiques qui fait intervenir des contacts sur 2 plans sécants.

4.1 Douille à circulation de billes

Usage : Les douilles à circulation de billes sont adaptées au guidage sur colonne.

Principe : des billes en contact avec l'arbre qui arrivent en "fin" de douille reviennent au départ en suivant une goulotte réalisée dans l'épaisseur de la douille.

4.2 Modélisation :

Généralement la longueur L de la douille de diamètre intérieur D respecte la condition

$1,5.D < L < 5.D$ caractéristique d'un **centrage long**.

Cela correspond à une liaison **pivot-glissant**.

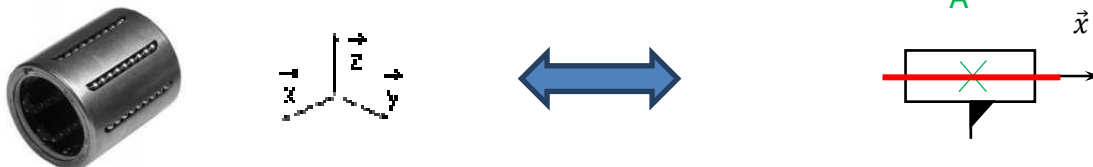


Figure 17 : douille à billes

En cas de couple de déversement important, on pourra associer une deuxième douille sur la même colonne :



Figure 18 : Association de 2 douilles sur la même colonne

Par contre, on associe toujours cette douille avec une butée angulaire qui peut être réalisée par une autre douille sur une colonne parallèle.

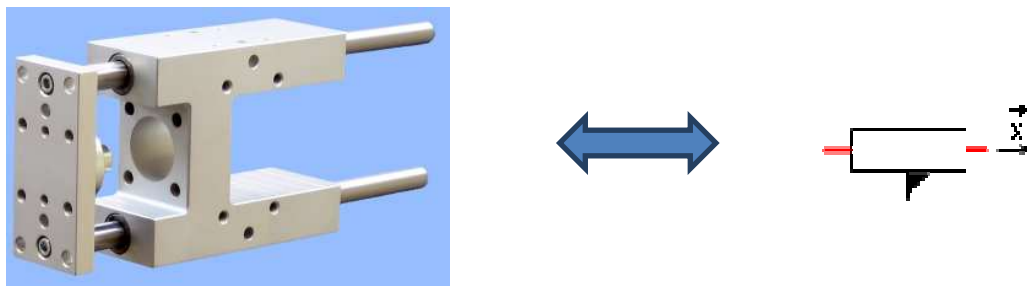


Figure 19 : Guidage classique sur 2 colonnes

4.3 Avantages et limites

Avantages :

- les billes réduisent grandement les frottements dans la liaison glissière,
- la course n'est limitée que par la longueur de la colonne.

Inconvénients :

- les charges sont limitées par la nature du contact ponctuel entre les billes et la colonne (pour la même raison la tenue au choc est limitée),
- le réglage du jeu n'est pas possible il dépend directement du diamètre de la colonne (sauf pour les modèles prévus spécifiquement à cet effet : douille fendue axialement),

4.4 Montage :

La douille est montée serrée dans son logement (diamètre extérieur de la douille plus grande que le diamètre du logement).

5 Guidage en translation par systèmes linéaires**Usage :**

Les systèmes de guidage à billes ou à galets fonctionnent sur le principe du guidage sur colonne (souvent les colonnes sont creuses et les galets roulent à l'intérieur : voir figure 17).

Les systèmes de guidage à rouleaux cylindriques utilisent des surfaces planes sécantes.

5.1 Présentation des composants de guidage

Les systèmes linéaires sont généralement équipés de 2 ou 3 pistes de roulements assurant la mise en position et de pistes supplémentaires généralement réglables assurant le maintien en position (contact bilatéral). Une recirculation des billes est souvent prévue.

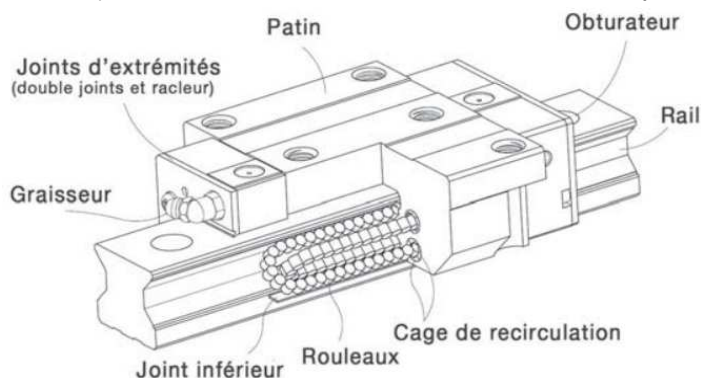
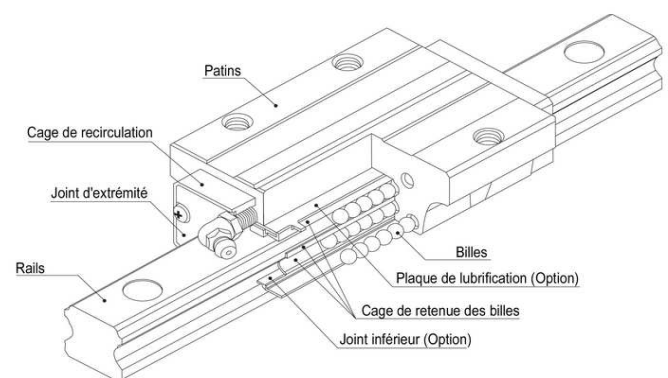


Figure 20 : Principe des guidages sur rouleaux



Principe des guidages sur billes

Sur le schéma précédent du guidage à rouleaux, les 2 plans inclinés inférieurs assurent la mise en position, les 2 plans supérieurs assurent le maintien en position. La qualité de fabrication peut permettre de ne pas avoir de réglage à réaliser.



Figure 22 : système de guidage à billes



Figure 21 : guidage à galets

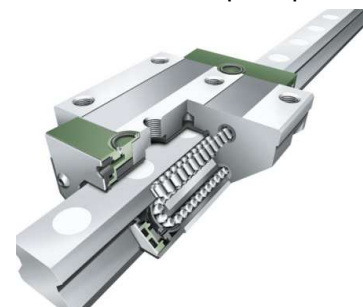


Figure 23 : Système de guidage à rouleaux

5.2 Modélisation cinématique

Les systèmes de guidage sont modélisables par des liaisons **glissières** car ils font intervenir 2 pistes différentes (2 surfaces planes sécantes pour les rouleaux, 2 surfaces cylindriques pour les rouleaux).

Un guidage seul (une seule piste de roulement) est modélisable :

- par une liaison **pivot glissant** si la surface est cylindrique,
- un **appui-plan** si la surface est plane.

Les guidages sont toujours associés à un autre guidage et fera alors l'objet d'un réglage (parallélisme des pivots glissants notamment).

5.3 Avantages et limites

Avantages :

- les efforts peuvent être importants surtout dans le cas des rouleaux,
- le réglage du jeu est souvent possible par le déplacement des rails ou des éléments roulants participant au maintien en position.

Inconvénients :

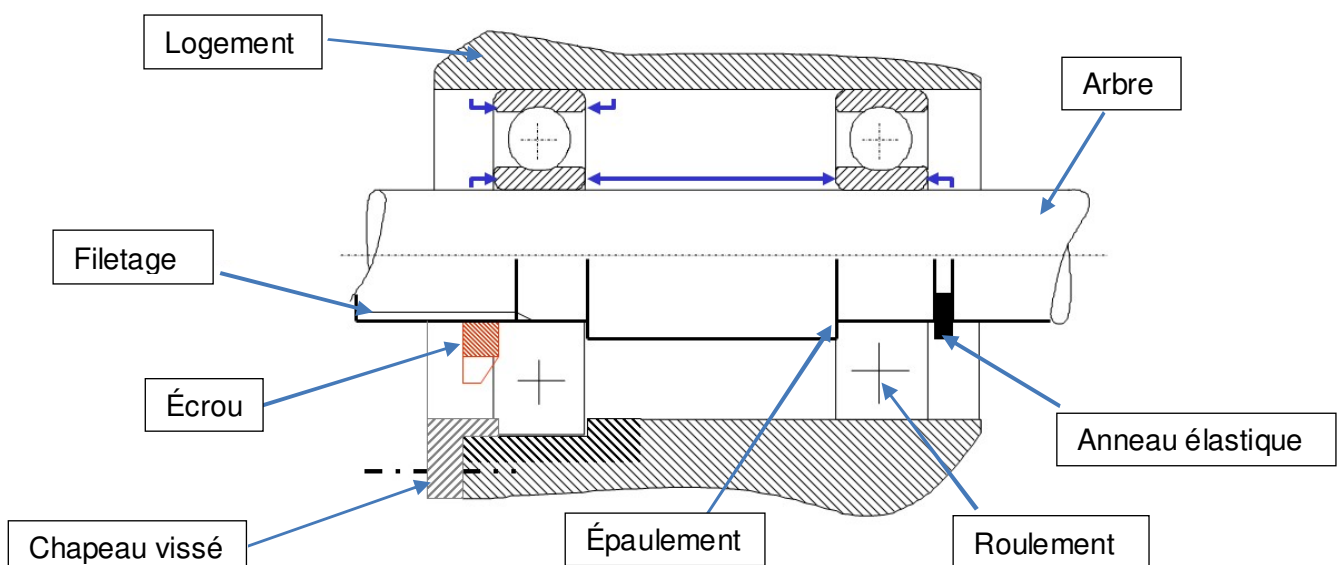
- les courses peuvent être limitées dans les cas où n'est pas prévue la circulation des éléments roulants,
- coût élevé des composants moins répandus que les roulements à billes.

5.4 Montage :

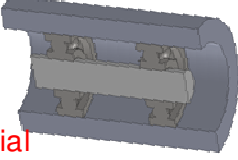
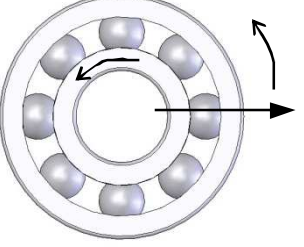
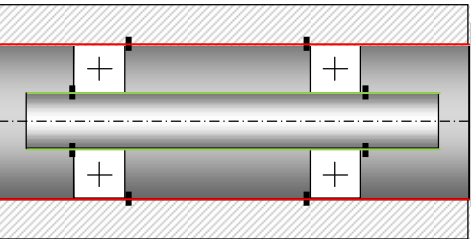
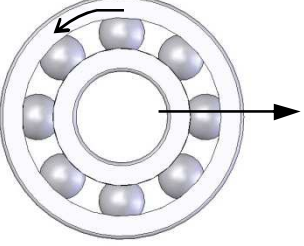
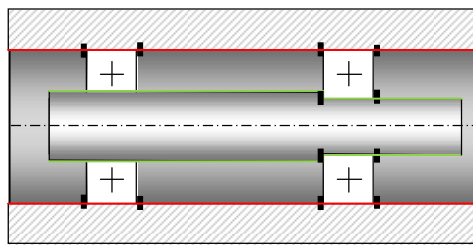
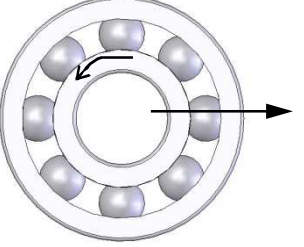
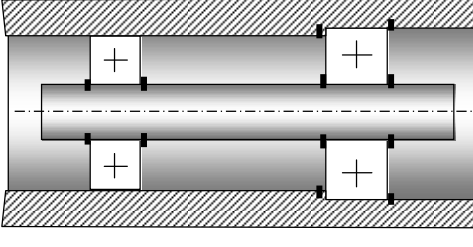
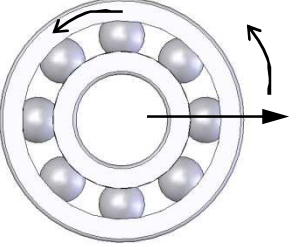
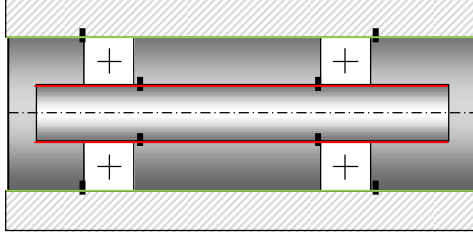
Le bon fonctionnement des systèmes de guidage nécessite un réglage minutieux des rails souvent par paire ou une qualité de fabrication évitant les réglages pour les systèmes de guidage.

6 Vocabulaire associé aux montages de roulement

Arbre tournant / direction de la charge



Annexe 1 : Montages de roulements classés en fonction des arrêts axiaux.

Mouvement de la charge	Guidage radial et axial  vert : jeu radial rouge : serrage radial	Avantages et inconvénients
		Montage type O : <ul style="list-style-type: none"> - montage en O seulement si contacts obliques (les centres de poussée sont alors plus espacés que les centres des roulements), - facile à monter dans le cas d'une bague extérieure serrée radialement, - possibilité de régler le jeu axial mais augmentation du jeu si l'arbre se dilate.
		Montage palier fixe/ palier libre : <ul style="list-style-type: none"> - permet d'équilibrer la taille des roulements en transmettant l'effort axial par le roulement le moins chargé radialement, - jeu insensible à la dilatation des pièces (montage utilisé pour les arbres longs) mais qui dépend du jeu dans le palier fixe.
		
		Montage type X : <ul style="list-style-type: none"> - montage en X seulement si contacts obliques (les centres de poussée sont alors moins espacés que les centres des roulements), - facile à monter dans le cas d'une bague intérieure serrée radialement, - possibilité de régler le jeu axial mais diminution du jeu si l'arbre se dilate.

Annexe 2 : Performances des différents composants de guidage

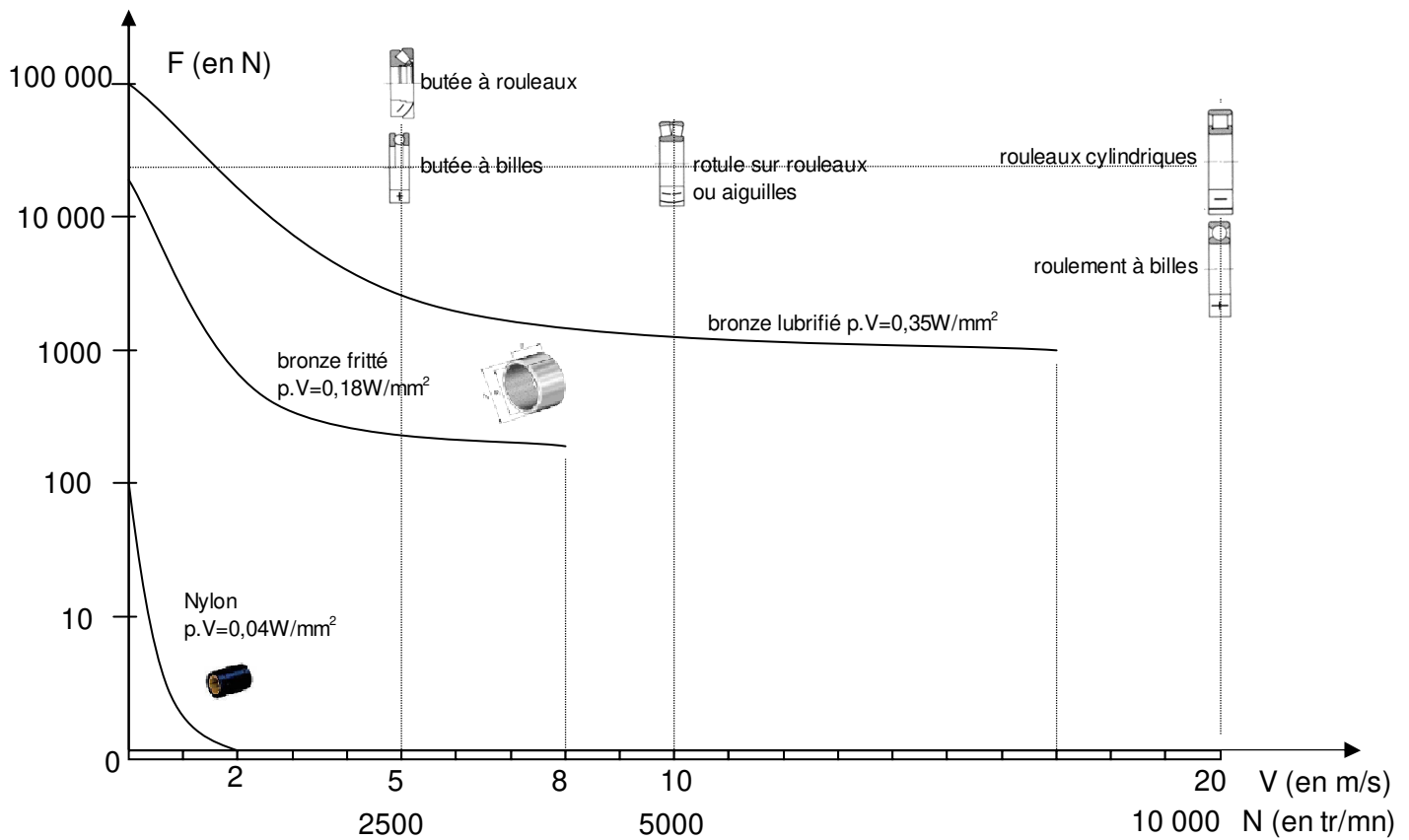


Figure 24 : Comparaison des performances des différents composants de guidage (arbre de diamètre 20mm)

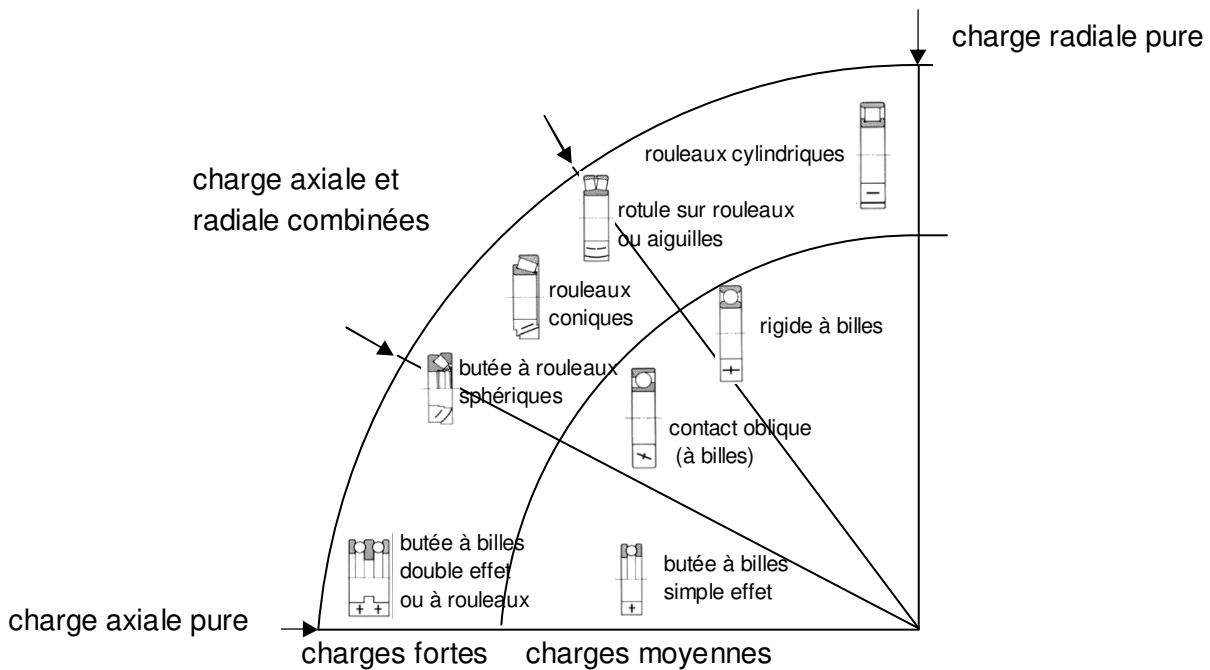


Figure 25 : choix des roulements en fonction de la charge axiale et de la charge radiale

Bibliographie: Catalogues de roulements : SKF et FAG/INA
 Guidage linéaire <http://www.fli-industrie.fr>
 Logiciel PyVot de Cédric Faury
 Mémotech Productique (Conception et dessin) de C.Carlier chez Casteilla
 Systèmes mécaniques (Théorie et dimensionnement) de M.Aublin chez Dunod
 Construction mécanique de M.Aublin chez Dunod
<http://www.ecligne.net> (puis technologie, fonction du produit, les liaisons mécanique, guidage en rotation).