

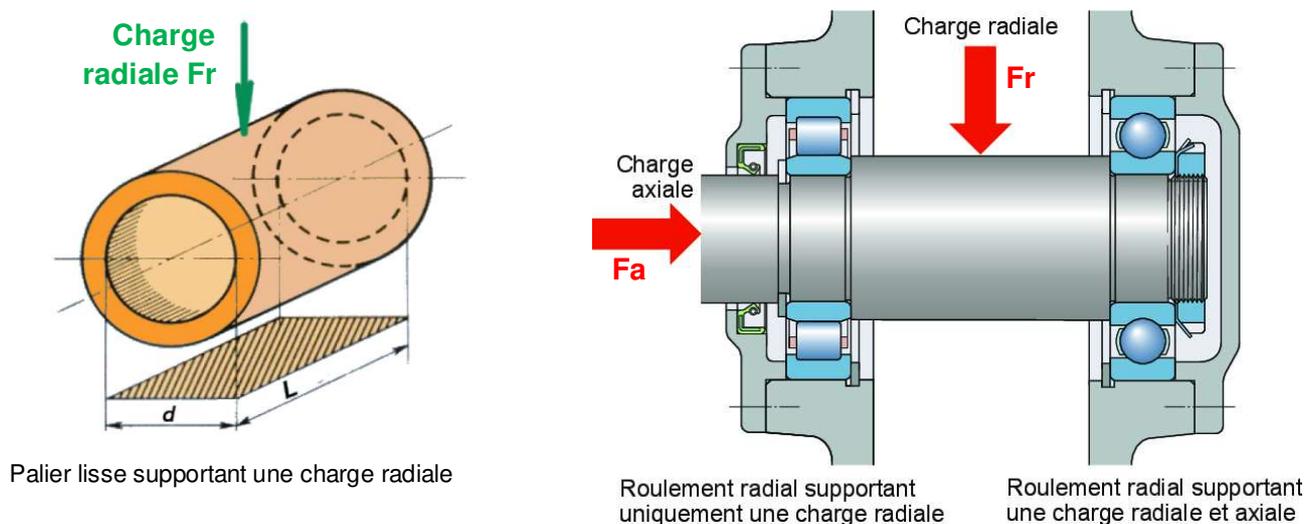
Cours	Cours ST 6	TS11 (Période 5)
	Dimensionnement des guidages	1h
	Cycle 9 : Statique	5 semaines

ANALYSER Comparer qualitativement les caractéristiques physiques des matériaux.
ANALYSER Justifier le choix d'un matériau et/ou d'un procédé.
RESOUDRE Déterminer les actions mécaniques en statique.
CONCEVOIR Dimensionner un composant des chaînes fonctionnelles.

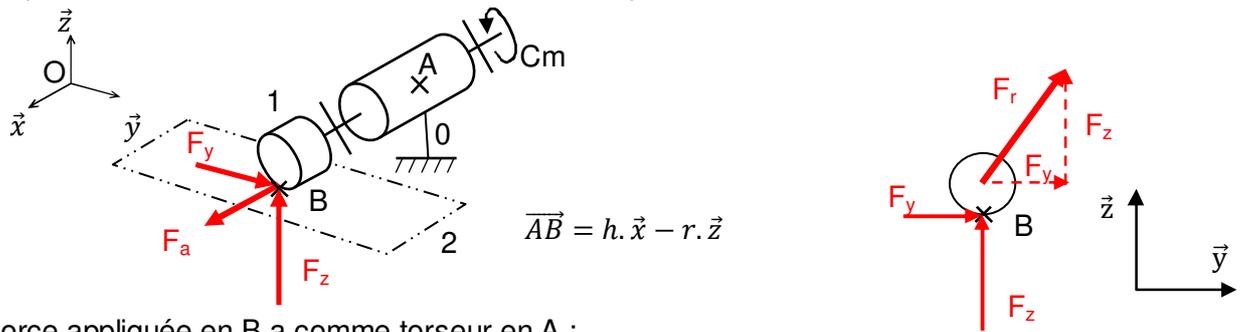
1 Cahier des charges d'une liaison

Exigence	Critère	Valeur	Flexibilité
1.1 Guider le déplacement	plage de vitesse admissible	translation : V , rotation : Ω ou N	valeur maxi
1.2 Transmettre les efforts	effort transmissible	F_{\max} (en N) C_{\max} (en Nm)	en pourcentage
	limiter les pertes (pour les mobilités)	rendement η type de lubrifiant indiqué	valeur maximum
	nature des efforts	chocs, vibration,...	
1.3 Etre 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 Etre économique	coût	prix d'achat	tarif maximum
		coût d'entretien (pièce détachée et fréquence)	
1.6 S'intégrer à l'environnement	encombrement	- Largeur*hauteur*profondeur - Encombrement radial et axial	valeurs maxi (parfois mini)

Figure 1 : extrait du cahier des charges faisant apparaître les critères d'évaluation utilisés dans ce cours



Exemple : roue 1 soumis à une force en B et un couple moteur Cm.



La force appliquée en B a comme torseur en A :

$$\{T_{2 \rightarrow 1}\} = \left\{ \begin{matrix} \vec{R}_{2 \rightarrow 1} \\ \vec{M}_{A,2 \rightarrow 1} \end{matrix} \right\} = \left\{ \begin{matrix} F_a.\vec{x} + F_y.\vec{y} + F_z.\vec{z} \\ r.F_y.\vec{x} - (r.F_a + h.F_z).\vec{y} + h.F_y.\vec{z} \end{matrix} \right\}_A$$

L'essentiel de cette action mécanique est transmise au bâti par la liaison pivot (pas le moment sur \vec{x}):

$$\{T_{1 \rightarrow 0}\} = \left\{ \begin{matrix} \vec{R}_{1 \rightarrow 0} \\ \vec{M}_{A,1 \rightarrow 0} \end{matrix} \right\} = \left\{ \begin{matrix} F_a & rF_y \\ F_y & -(r.F_a + h.F_z) \\ F_z & h.F_y \end{matrix} \right\}_A$$

Fa : composante axiale de la résultante **colinéaire** à l'axe de la liaison pivot

Fr = $\sqrt{F_y^2 + F_z^2}$: **composante radiale** de la résultante **normale** à l'axe de rotation

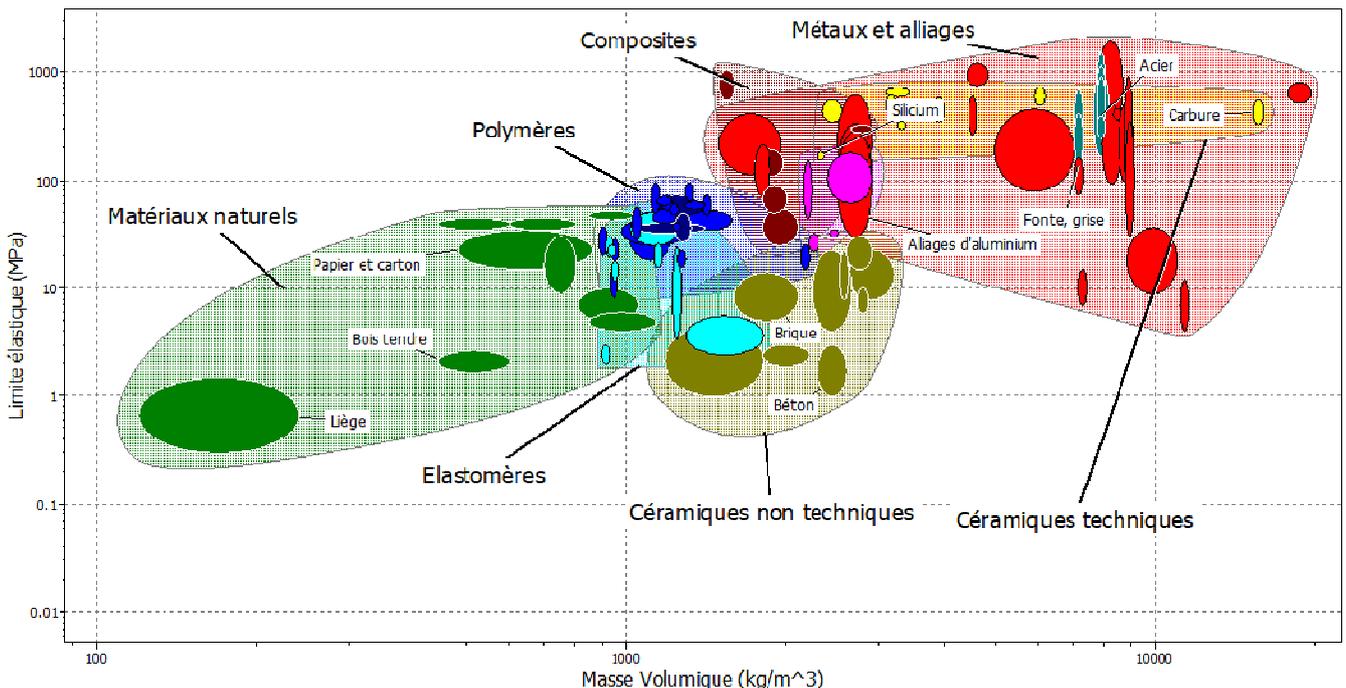
Couples de déversement : moments **normaux** à l'axe de rotation.

Les intensités des composantes axiales et radiales de la résultante et des couples de déversement va conditionner les dimensions et le choix des solutions constructives.

2 Performances attendues en fonction des familles de matériaux

La pression admissible au contact est sensiblement proportionnelle à la limite élastique des matériaux (valeur de pression pour laquelle le matériau subit une déformation permanente).

Diagramme d'Ashby utile pour un classement multicritère **résistance/masse** :



Source : logiciel CesEduPack

Figure 2 : limite élastique / masse volumique

Le comportement des familles de matériaux est donc le suivant :

- **Résistance élevée** (jusqu'à $Re=1000$ MPa) : **métaux**, **composites** et céramiques techniques (diamants synthétiques...),
- **Moins résistant** (maximum $Re=100$ MPa):
 - mais moins denses et plus économiques : **matériaux organiques** (matériaux naturels issus des plantes, les polymères ou les élastomères),
 - mais rigide et disponible partout : **céramiques** (béton, plâtre, terre cuite...) incontournables dans la construction des habitats.

3 Dimensionnement des paliers lisses

Les paliers lisses peuvent être dimensionnés par 2 critères principaux

3.1 Critère statique

Hypothèse : la répartition de pression est uniforme et répartie sur un demi-cylindre :

- la composante radiale F_r de la résultante sur le palier est supposée se situer au centre du palier. C'est le cas notamment lorsque le montage fait intervenir deux paliers distants.
- le jeu radial dans le contact cylindrique est supposé nul (contact sur un demi-cylindre).

$$\text{Critère de tenue à la charge statique : } p_{adm} \geq p = \frac{F_r}{L.D}$$

p_{adm} : pression admissible par le matériau dimensionné (en Pa avec $1\text{MPa}=10^6\text{Pa}$),

p : pression spécifique (répartition de pression supposée uniforme sur le palier) (en Pa)

F_r : effort radial (en N),

L : longueur du cylindre de contact (en m)

D : diamètre du cylindre de contact (en m)

$L.D$: "surface projetée" du cylindre de contact.

Exemple de valeurs : Nylon < 6MPa Bronze (= Cuivre + Etain): jusqu'à 100MPa.

3.2 Critère dynamique

Hypothèse: la répartition de pression est celle du critère de pression statique.

Le critère utilisé pour le dimensionnement dynamique est un critère basé sur la valeur maximum de l'échauffement au niveau du contact. Ce critère dépend des matériaux en contact (chaleur dissipée par frottement et conduction de la chaleur).

$$\text{Critère thermique "pV" : } (p.V)_{adm} \geq p.V$$

$(p.V)_{adm}$: valeur admissible du matériau dimensionné (en W/m^2),

p : pression spécifique (répartition de pression supposée uniforme sur le palier) (en Pa),

V : vitesse au contact (en m/s).

Exemple de valeurs : Nylon : $(pV)_{adm} \approx 0,4\text{W}/\text{mm}^2$

Bronze : $(pV)_{adm} \approx 1,8\text{W}/\text{mm}^2$ à $3,5\text{W}/\text{mm}^2$

4 Dimensionnement des roulements

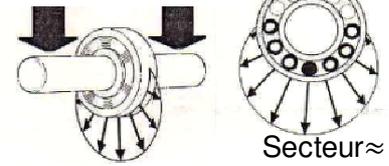
Lorsque la charge est radiale peu de billes la transmettent en même temps.

Lorsque la charge est axiale, toutes les billes participent à sa transmission (en même temps).

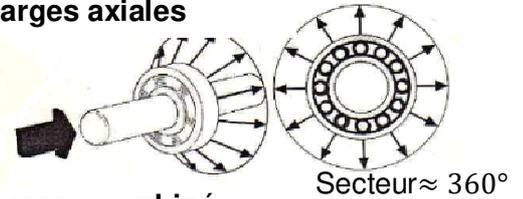
Un roulement à billes à contact radial résiste mieux s'il est soumis à **une charge comportant une composante axiale non prépondérante**.

Les constructeurs proposent 2 critères basés sur la charge radiale équivalente P qui conduirait à la même durée de vie que la charge combinée.

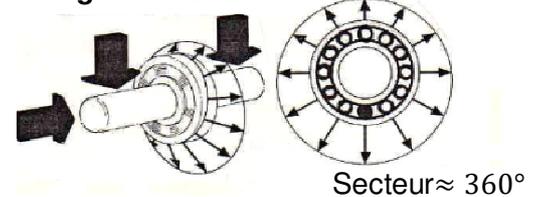
Charges radiales



Charges axiales



Charges combinées



4.1 Charge radiale équivalente P

La charge radiale équivalente P est la charge supportée sans dommage par une grande majorité des composants.

Si la charge est essentiellement radiale : $\frac{F_a}{F_r} \leq e$ alors $P = F_r$

Si la charge est combinée : $\frac{F_a}{F_r} > e$ alors $P = X.F_r + Y.F_a$

avec F_a : charge axiale sur le roulement (en N),
 F_r : charge radiale sur le roulement (en N),
 e, X, Y : des coefficients fournis par le constructeur et fonction du critère utilisé,
 P : charge radiale équivalente (en N).

4.2 Critère statique

Critère de tenue à la charge statique : $C_0 \geq P$

avec C_0 : capacité statique de charge du roulement (en N),
 P : charge radiale équivalente P (en N).

Le roulement est bien dimensionné si sa capacité statique C_0 (en N) est supérieure à la charge radiale équivalente P .

Ce critère est utilisé lorsque les vitesses relatives sont faibles ou dans les mécanismes soumis à des chocs.

4.3 Critère de la durée de vie

$$\text{Critère de la durée de vie } L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^n \quad \text{avec } L_h = L_{10} \cdot \frac{10^6}{60 \cdot N}$$

- avec
- L_{10} : durée de vie en million de tour (en Mtr),
 - C : capacité dynamique de charge du roulement (en N),
 - P : charge radiale équivalente P (en N),
 - n : coefficient qui dépend des éléments roulants (billes : $n=3$, rouleaux ou aiguilles $n=10/3$),
 - L_h : durée de vie en heures (en h),
 - N : vitesse de rotation de l'arbre (en tr/min).

Le roulement est correctement dimensionné si sa charge dynamique C est supérieure à celle calculée par la formule de durée de vie.

Exemple de valeurs : dans les cas courants, la durée de vie est $L_h = 15000h$.

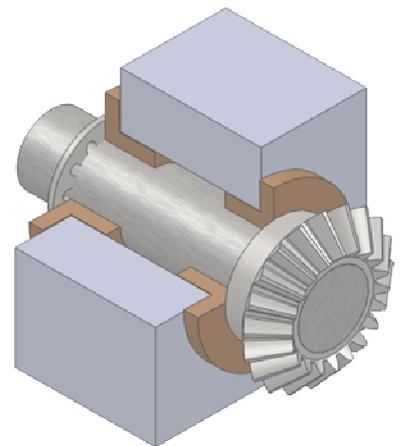
5 Performances des différents composants de guidage

5.1 Exemples constructifs de liaisons pivots

Mouvements suffisamment lents ou/et efforts limités

Liaison pivot par paliers lisses ou des contacts directs.

Exemple : outillage manuel, micromécanique (imprimante, montre...)...



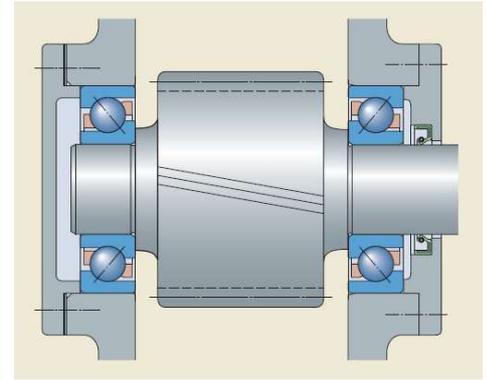
Montage classique en X

- ☺ Montage économique (peu de pièces rapportées et moins d'usinage)
- ☺ Facile à monter si arbre tournant par rapport à la charge (serrage radial des bagues intérieures de roulement sur l'arbre)

- ☹ Réglage du jeu nécessaire (cale ou butée réglable)

Plus économique avec des roulements rigides à billes
Plus rigide avec des roulements à rouleaux coniques

Exemple : petit moteur à courant continu, réducteur à engrenages coniques ou cylindriques à dentures hélicoïdales...

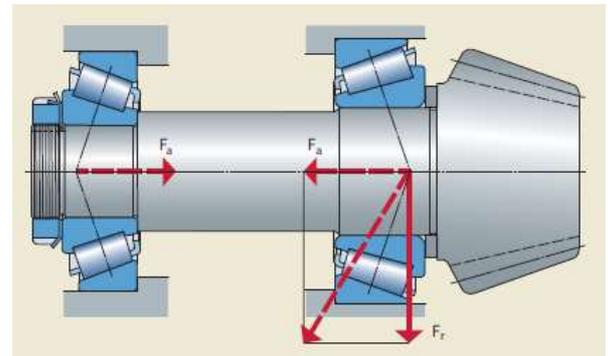


Montage en O

- ☺ Supporte un couple de déversement plus important car les centres de poussés sont éloignés.
- ☺ Facile à monter si le logement tourne par rapport à la charge (serrage radial des bagues extérieures de roulement)

- ☹ Réglage du jeu nécessaire (cale ou butée réglable)

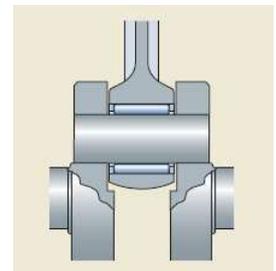
Exemple : roues de véhicules, réducteurs à engrenages mais avec des boîtiers vissés pour permettre le montage ...



Efforts radiaux importants (en présence de chocs ou de contraintes d'encombrement réduit) : roulements à aiguilles (+ contact direct axialement)

- ☹ Contact linéique

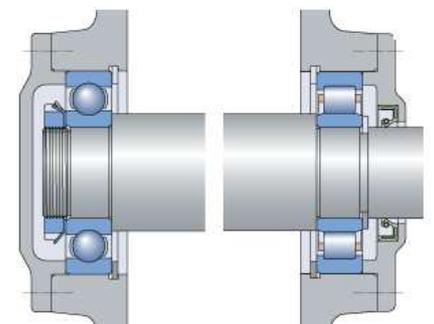
Exemple : excentrique, galets, Winch...



Arbre long : montage palier fixe- palier libre

- ☺ Aucun réglage de jeu nécessaire
- ☹ Jeu axial non supprimable : dépend du jeu dans le roulement à billes.

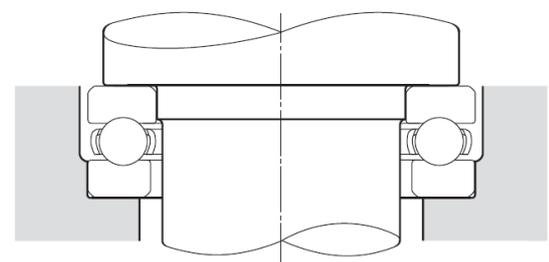
Exemple : tambour de presse, vis d'entraînement de machine outil...



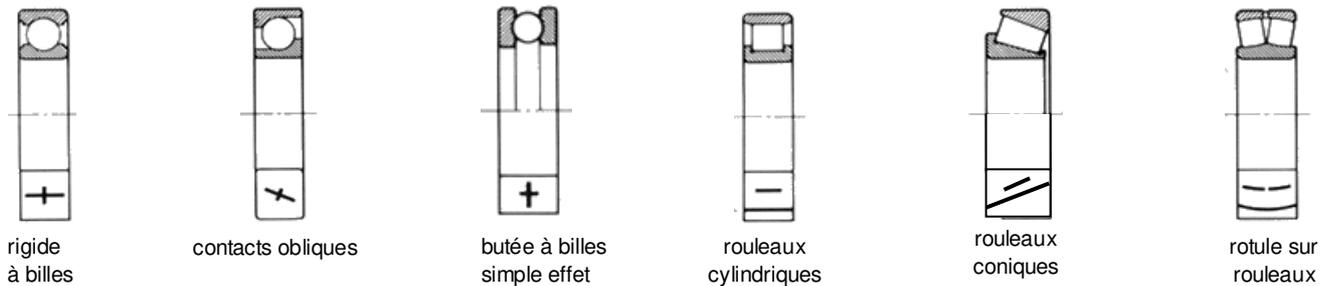
Effort axial pur : butée à billes (ou à rouleaux ou à aiguilles)

- ☺ Adapté à des charges radiales pures importantes.

Exemple : rotation vertical d'un robot massif, vis d'entraînement...



Les roulements peuvent être dessinés sous forme schématique. Les schémas suivants présentent la schématisation (moitié inférieure) associée à la vue en coupe (moitié supérieure).



Le grand trait schématise la direction de la tangente au contact et le petit trait la nature des éléments roulants (petit trait perpendiculaire pour les billes et parallèle pour les rouleaux ou aiguilles).

Il est recommandé de connaître les schémas des roulements les plus fréquents :

- roulement rigide à billes,
- éventuellement roulement à rouleaux coniques.

5.2 Synthèses des performances des éléments de guidage

Sur le schéma suivant on observe :

- ① des paliers lisses pour des valeurs de vitesse et d'effort réduits,
- ② la vitesse réduite des butées dont les éléments roulants sont éjectés par les forces centrifuges,
- ③ la limitation des vitesses pour les éléments roulants longs,
- ④ l'effort limité des roulements à billes.

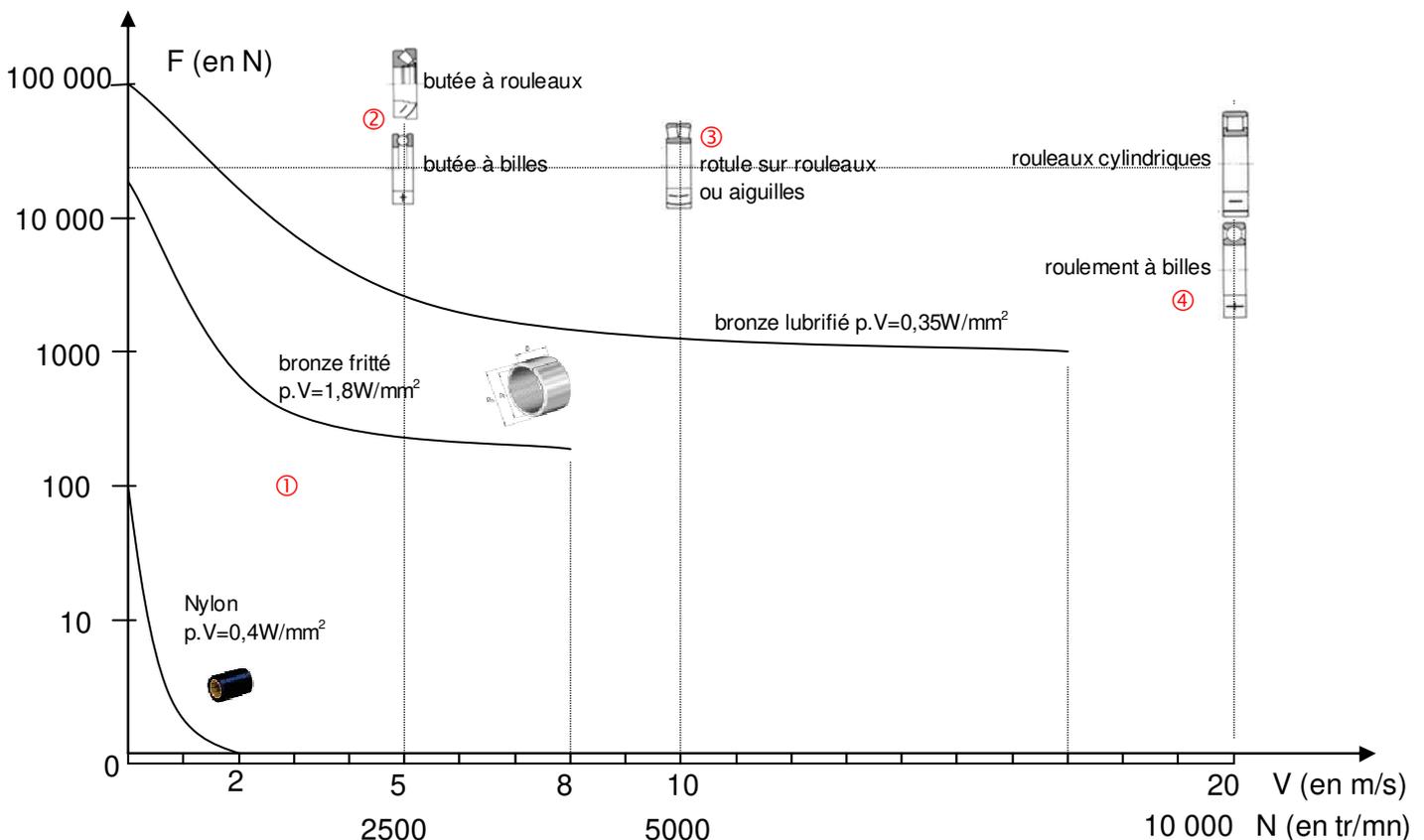


Figure 3 : Comparaison des performances des différents composants de guidage (arbre de diamètre 20mm)

Sur le schéma suivant on note :

- la polyvalence des roulements rigides à billes pour des charges moyennes,
- la présence de rouleaux ou d'aiguilles lorsque la charge augmente,
- l'inclinaison des tangentes aux contacts :
 - o horizontale pour une charge radiale pur,
 - o verticale pour une charge axiale pure,
 - o inclinée pour des charges combinées.

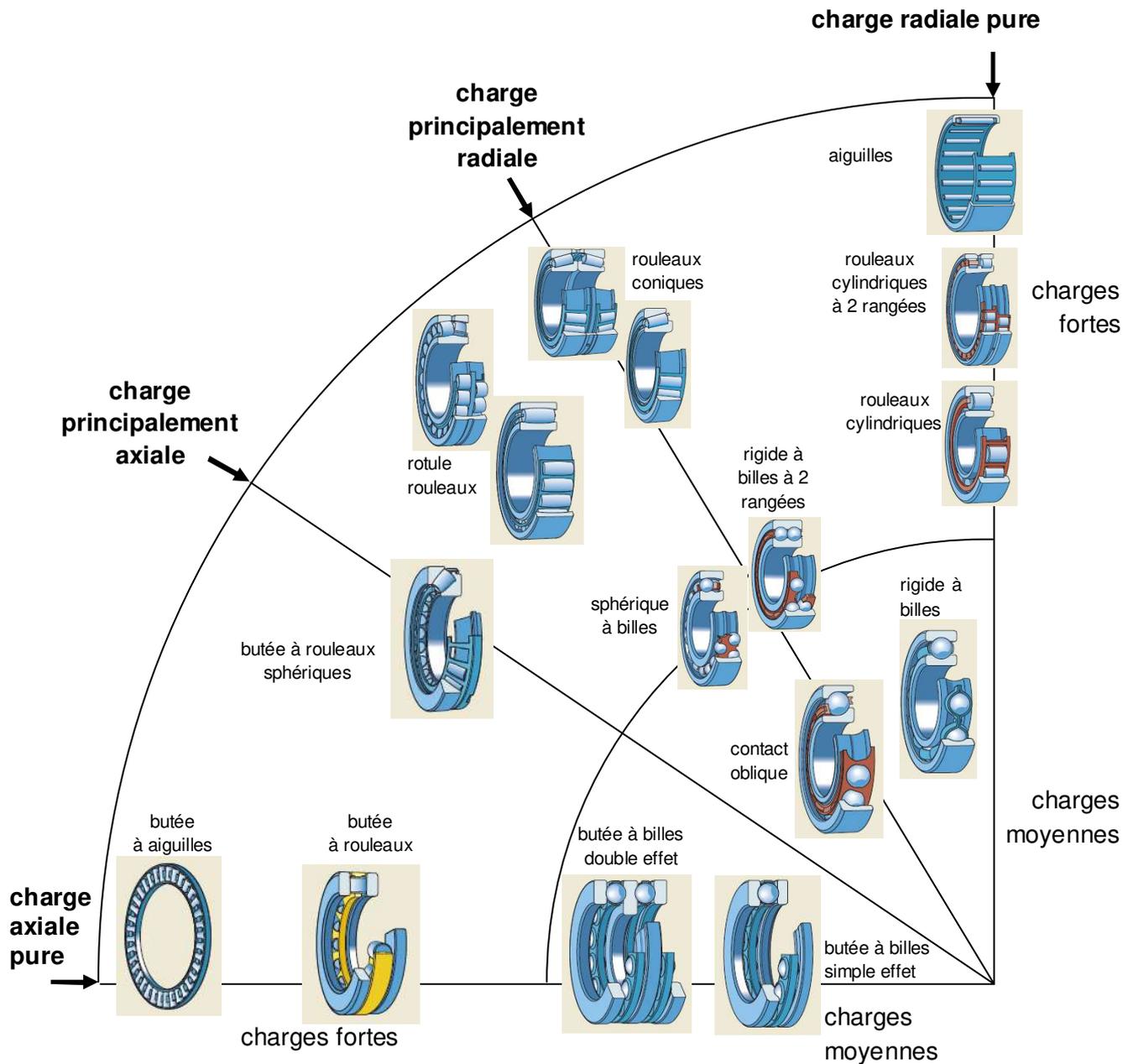


Figure 4 : choix des roulements en fonction de la charge axiale et de la charge radiale

Références: Catalogue SKF
 logiciel [PyVot](#) de Cédric Faury
 Mémotech Productique (Conception et dessin) de C.Carlier chez Casteilla