

13. CHAINE D'ENERGIE (2/2)

-transmettre-

1. INTRODUCTION :.....	2
2. REALISATION DES LIAISONS MECANQUES :.....	3
2.1. LIAISON COMPLETE :.....	3
2.2. LA LIAISON GLISSIERE, GUIDAGE EN TRANSLATION :.....	6
2.3. LA LIAISON PIVOT, GUIDAGE EN ROTATION :.....	11
3. TRANSMISSION SANS TRANSFORMATION DE MOUVEMENT :.....	17
3.1. TRANSMISSION AVEC MODIFICATION DE VITESSE :.....	17
3.2. TRANSMISSION SANS MODIFICATION DE VITESSE :.....	27
4. TRANSMISSION AVEC TRANSFORMATION DE MOUVEMENT :.....	30
4.1. SYSTEME BIELLE-MANIVELLE :.....	30
4.2. SYSTEME A EXCENTRIQUE :.....	31
4.3. SYSTEME VIS-ECROU :.....	32
4.4. SYSTEME PIGNON-CREMAILLERE :.....	32
4.5. SYSTEME A CAMES :.....	33

Elaboré par : Youssef RAHOU, juin 2019.

1.Introduction :

Dans le sous-chapitre précédent les fonctions génériques "alimenter", "distribuer" et "convertir" ont été étudiées dans le cas d'une source d'énergie hydraulique ou pneumatique pour ainsi obtenir une énergie mécanique en sortie, cette énergie doit être transmise vers l'actionneur. L'objet de ce sous-chapitre est d'étudier les différentes solutions techniques permettant d'assurer la fonction générique "transmettre" de la chaîne d'énergie :

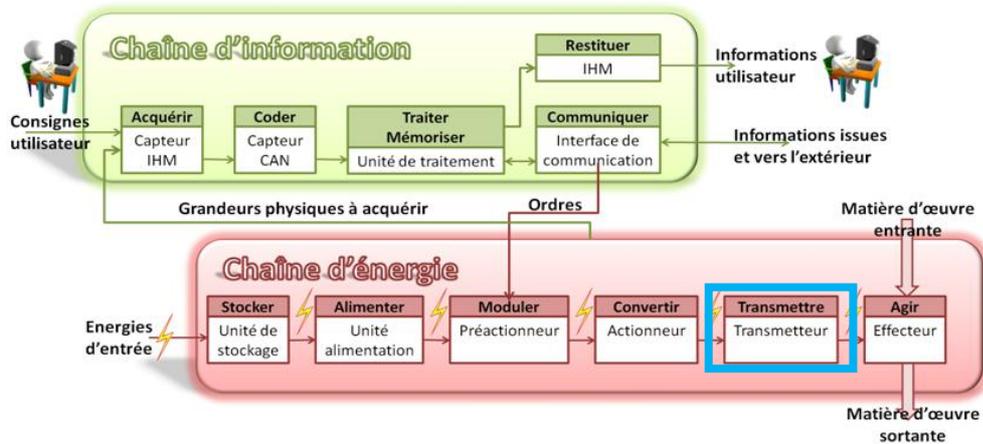


Figure.1. Situation de la fonction "transmettre" au niveau la chaîne d'énergie.

La fonction transmettre n'affecte pas la nature de l'énergie transmise, **en effet, les énergies en entrée et en sortie des composants structurels réalisant cette fonction sont mécaniques, ce qui peut changer, c'est la forme de cette énergie mécanique transmise.**

2. Réalisation des liaisons mécaniques :

2.1. Liaison complète :

Il s'agit de la réalisation de la liaison encastrement entre deux pièces en annulant les six degrés de liberté, deux grandes familles de solutions constructives existent :

- Solutions constructives pour **liaison complète démontable** : démontage possible.
- Solutions constructives pour **liaison complète non démontable** : démontage impossible.

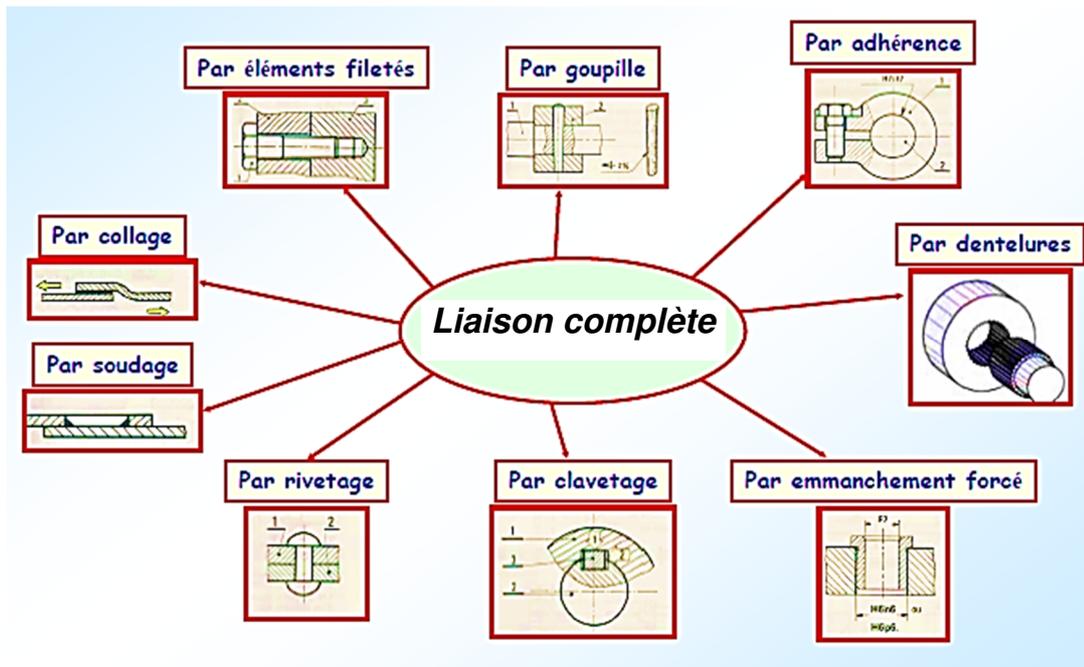


Figure.2. Les différentes solutions constructives pour une liaison complète.

2.1.1. Liaison complète démontable :

Trois configurations sont possibles s'appuyant sur :

- un contact plan/plan : efforts importants supportés suivant la normale.
- un contact cylindre/cylindre : effort radiaux importants supportés (suivant \vec{y} et \vec{z}).
- un contact cône/cône : adapté à supporter un effort quelconque et un couple suivant \vec{z} .

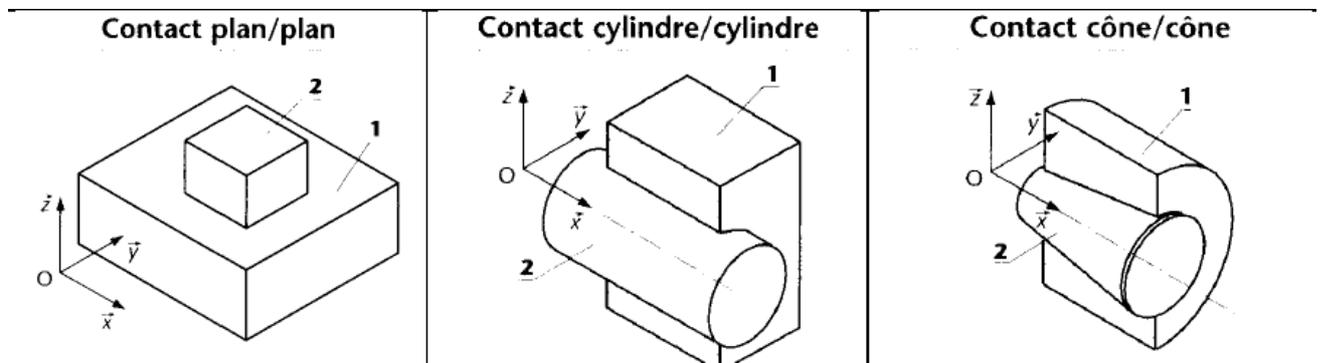


Figure.3. Les trois configurations possibles pour la réalisation d'une liaison complète démontable.

Les degrés de liberté restants sont supprimés par obstacle ou adhérence.

A. Liaison complète par éléments filetés :

Cette solution s'appuie sur l'usage des vis d'assemblage, des boulons, des goujons ou des vis de pression :

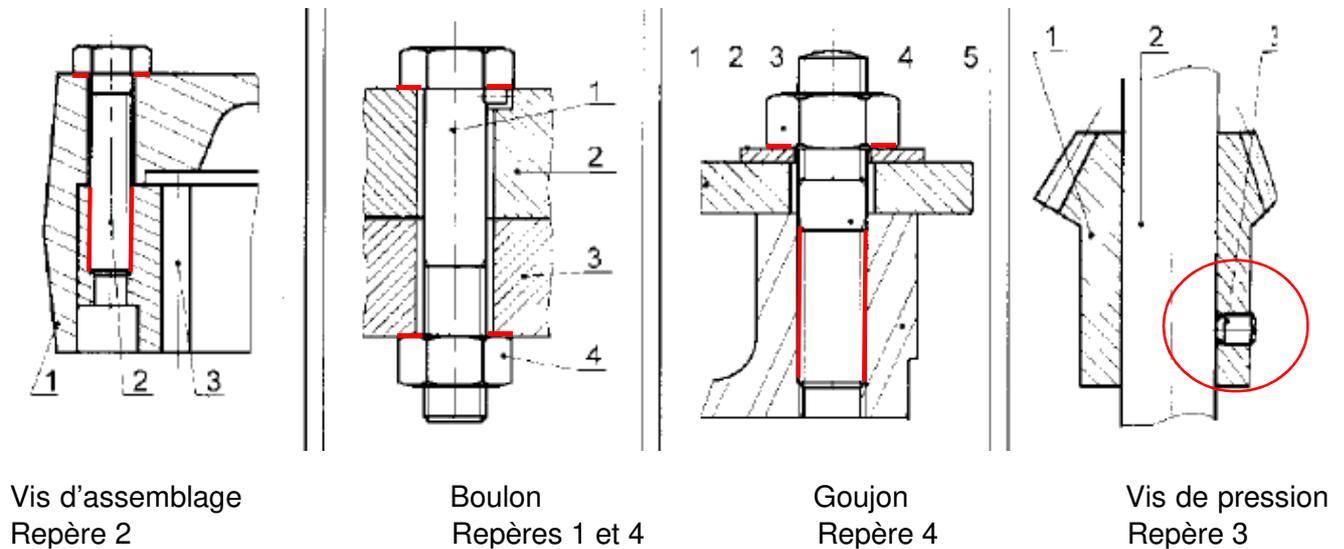


Figure.4. Liaison complète démontable par éléments filetés.

B. Liaison complète par goupille :

L'usage d'une "tige" au niveau d'une liaison pivot glissant permet de supprimer les deux degrés de liberté de translation et de rotation restants.

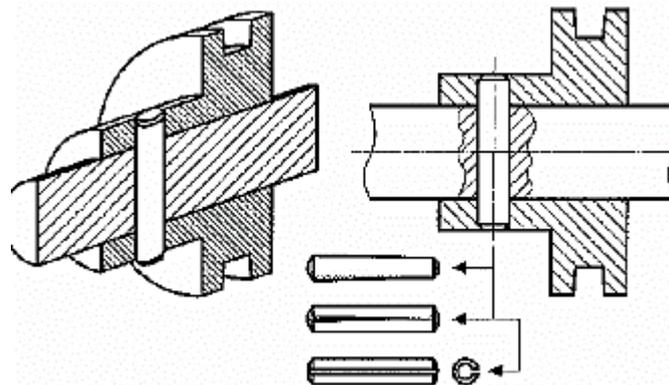


Figure.5. Liaison complète démontable par goupille cylindrique, conique ou élastique.

Cette solution permet de transmettre un effort axial et un couple suivant l'axe qui sont moyens.

C. Liaison complète par cannelures/dentelures :

Cette solution s'appuie une liaison glissière réalisée par **cannelures** ou **dentelures**, le degré de liberté restant est supprimé adhérence en adoptant un montage serré.

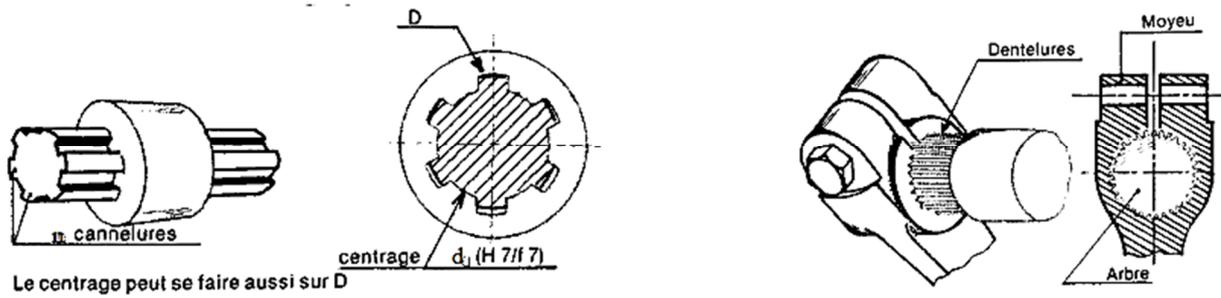


Figure.6. Liaison complète démontable par cannelures ou dentelures et ajustement serré.

Cette solution permet de transmettre **un couple important** suivant l'axe.

D. Liaison complète par adhérence :

Cette solution s'appuie sur la déformation d'une des deux pièces à lier, on parle de **pincement**, une autre solution s'appuie sur le coincement par l'intermédiaire d'un contact conique.

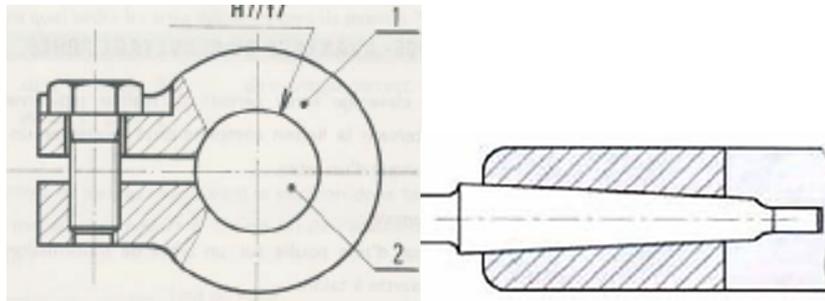


Figure.7. Liaison complète démontable par adhérence par pincement ou coincement.

E. Liaison complète par clavetage :

Cette solution s'appuie sur une clavette dont la moitié est logée dans une rainure dans l'arbre et l'autre moitié occupe une rainure dans le moyeu.

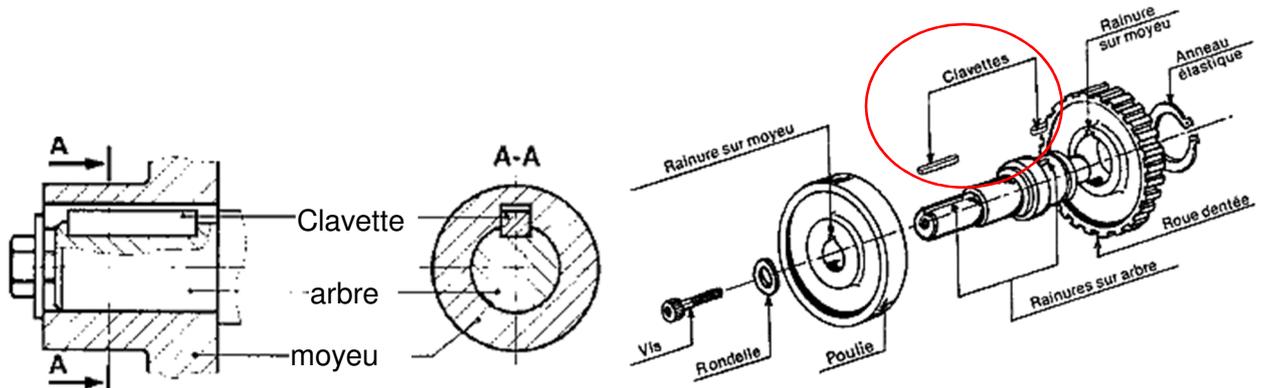


Figure.8. Liaison complète démontable par clavetage.

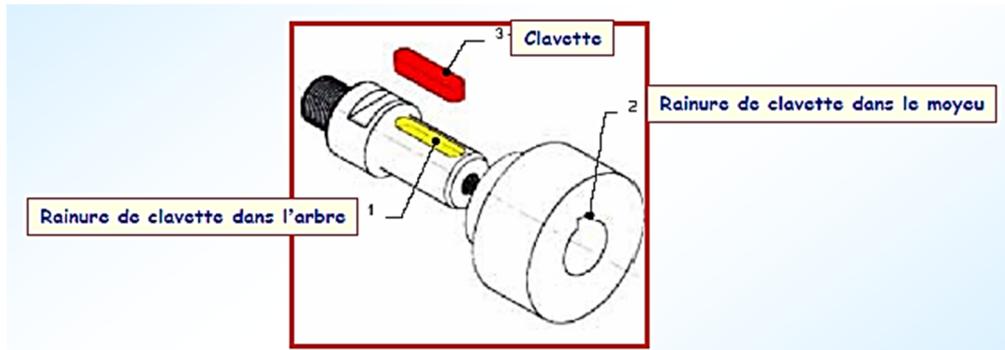


Figure.9. Description locale de la solution constructive par clavetage.

Cette solution est assez utilisée, le couple transmis est plus important que pour les goupilles mais reste limité.

2.1.2. Liaison complète non démontable :

Cela consiste à réaliser une liaison encastrement permanente entre deux pièces, trois solutions constructives sont réponsues :

- Le soudage : La liaison complète est réalisée par apport de matière assurant la continuité de celle-ci entre les deux pièces à assembler.
- Le rivetage : l'assemblage est réalisé par obstacle en utilisant de rivets.
- Le collage : solution utilisant une colle pour assurer une liaison complète entre deux pièces.

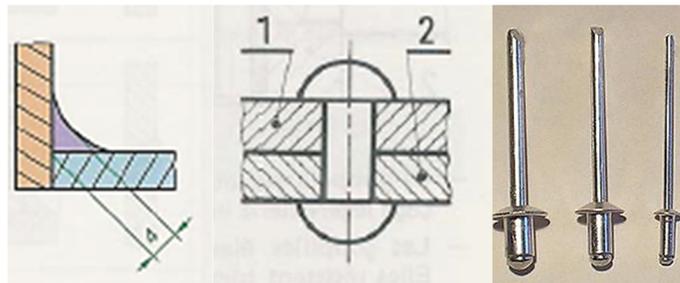


Figure.10. Illustration des solutions adoptées pour réaliser une liaison complète non démontable.

2.2. La liaison glissière, guidage en translation :

Le guidage en translation consiste à réaliser une liaison glissière entre deux pièces, deux familles de guidage en translation existent :

- Guidage en translation **par glissement**.
- Guidage en translation **par roulement**.

2.2.1. Guidage en translation par glissement :

Le mouvement de translation est obtenu par simple glissement d'une pièce par rapport à l'autre, différentes configurations de réalisation sont possibles :

A. Association de cinq liaisons ponctuelles :

Cette solution consiste à supprimer cinq degré de liberté par cinq contacts ponctuels et ne maintenir que la translation suivant l'axe de la liaison glissière :

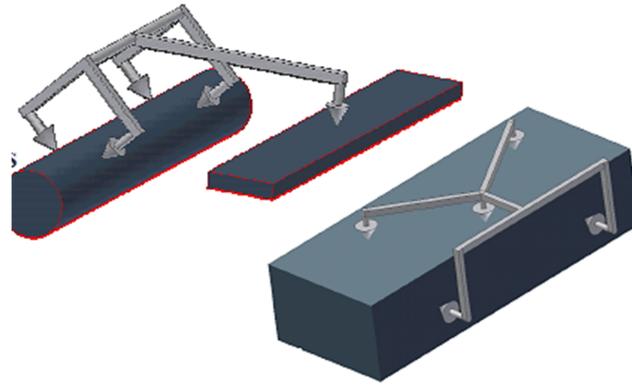


Figure11. Liaison glissière avec association de cinq liaisons ponctuelles.

Cette solution reste théorique à cause des efforts supportés qui sont limités, d'autres solutions pratiques sont adoptées.

B. Association d'une liaison pivot glissant et d'une liaison ponctuelle :

Cette solution consiste est obtenue à partir d'une liaison pivot glissant (contact cylindre-cylindre) contrainte en rotation par une liaison ponctuelle, **ceci est réalisé en pratique par une vis ou un ergot et un arbre rainuré** :

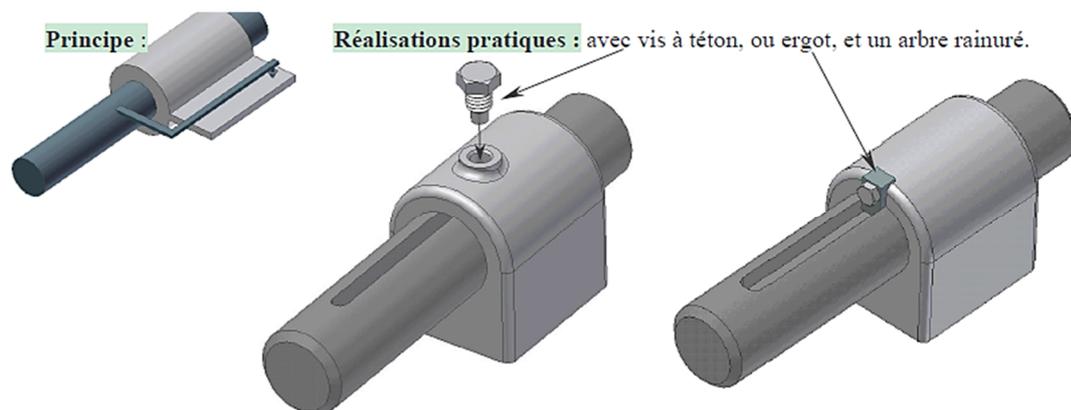


Figure.12. Liaison glissière avec association d'une liaison pivot glissant et d'une ponctuelle.

C. Association d'une liaison pivot glissant et d'une liaison ponctuelle :

Cette solution consiste est obtenue à partir d'une liaison pivot glissant (contact cylindre-cylindre) contrainte en rotation par une liaison linéaire rectiligne, **ceci est réalisé en pratique par une clavette ou des cannelures** :

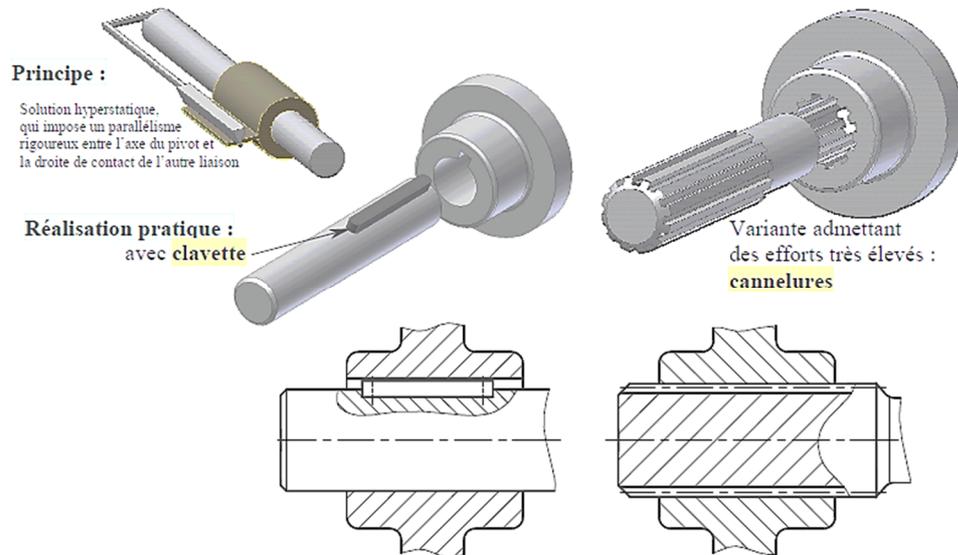


Figure.13. Liaison glissière avec association d'une liaison pivot glissant et d'une linéaire rectiligne.

D. Association de deux liaisons pivot glissant :

Cette solution consiste est obtenue par deux liaisons pivot glissant dont les axes sont parallèles, la liaison équivalente est une glissière :

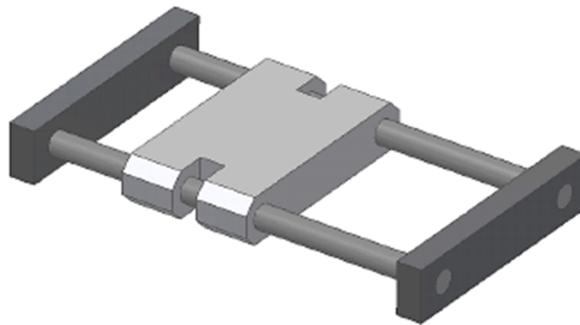
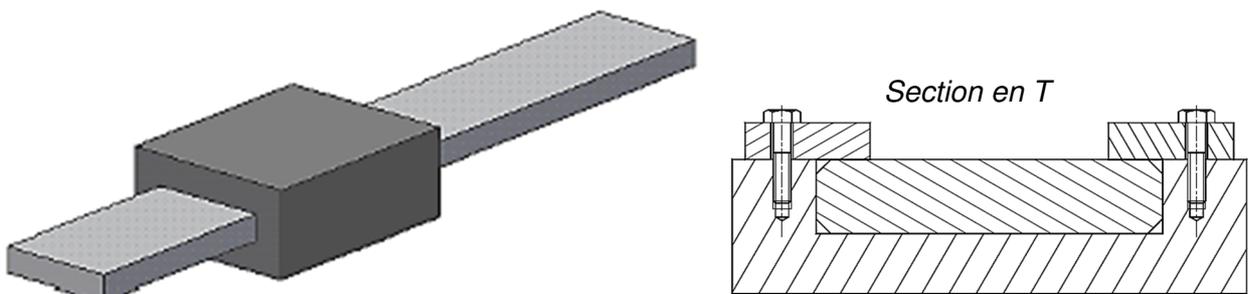


Figure.14. Liaison glissière avec association de deux liaisons pivot glissant.

E. Association de liaisons appui plan :

Cette solution consiste est obtenue en associant plusieurs liaisons appui plan, on distingue deux types de section entre pièces mâle et femelle, la section rectangulaire et la section prismatique :



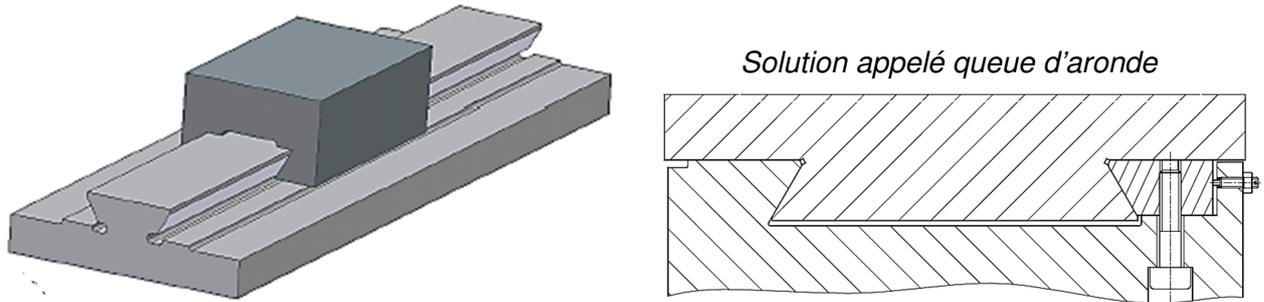


Figure.15. Liaison glissière avec association de liaisons appui plan, section

2.2.2. Guidage en translation par roulement :

A. Utilisation des galets :

La rotation des galets est assurée par des roulements, cependant il existe des roulements spéciaux dont la bague extérieure est adaptée pour constituer la surface fonctionnelle.

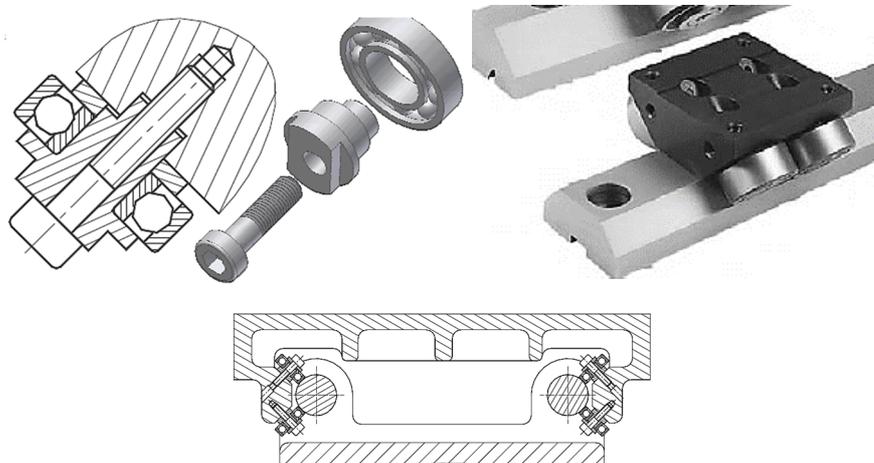


Figure.16. Liaison glissière avec utilisation de galets.

B. Utilisation de cages linéaires :

Ce sont des cages de forme "linéaire" comportant des éléments roulants (rouleaux), chaque cage est liée à une des deux pièces :

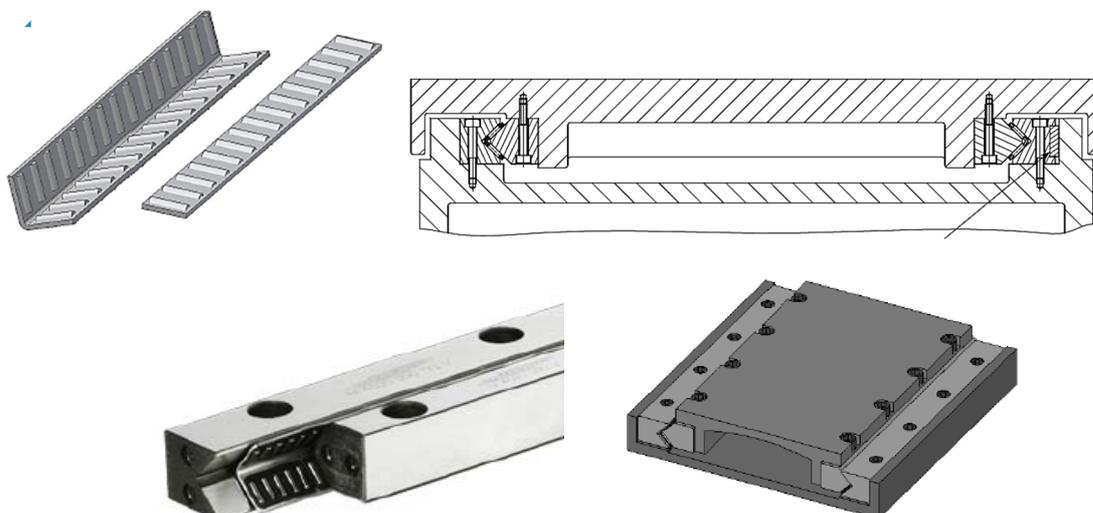


Figure.17. Liaison glissière avec utilisation de cages linéaires.

C. Utilisation de patins à circulation d'éléments roulants :

Ces éléments roulants (rouleaux ou billes) sont disposés sous forme de chaîne dans un circuit fermé, le roulement est localisé au niveau de ceux qui sont sous charge :

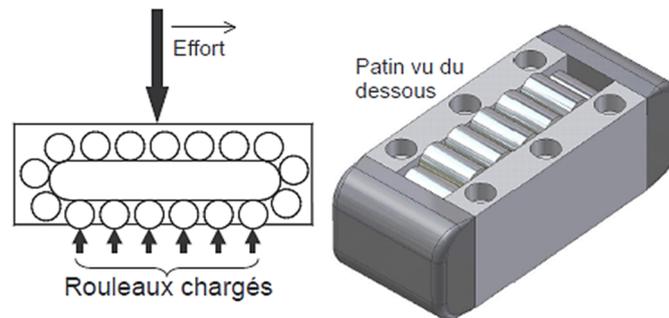


Figure.18. Liaison glissière avec utilisation de patins à circulation d'éléments roulants.

A. Utilisation de douilles à billes :

Des billes circulent dans un circuit fermé assurant le roulement sur des rails de section circulaire :

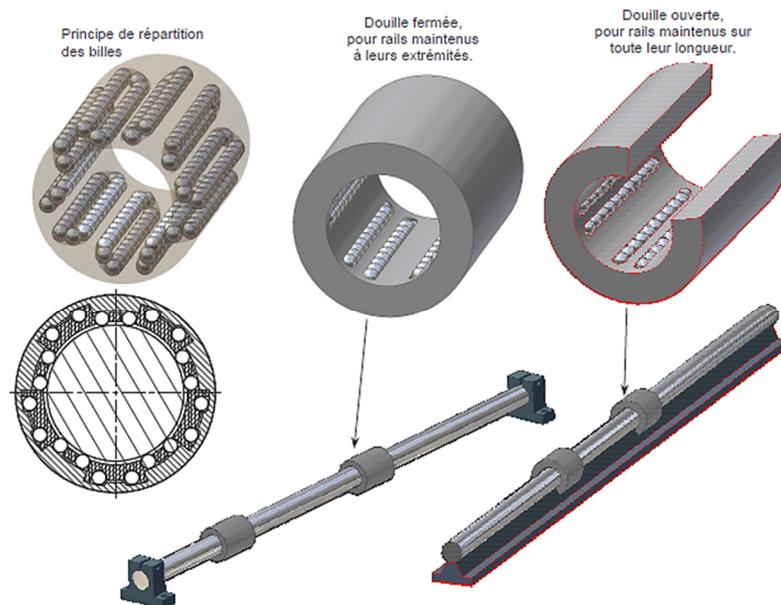


Figure.19. Liaison glissière avec utilisation de douilles à billes.

Il est à noter que les solutions de guidage en translation utilisant des éléments roulants sont adaptées pour des cas d'utilisation nécessitant **de réduire les frottements**, ces solutions supportent **des efforts importants** et **permettent des vitesses élevées et une bonne précision** de mouvement, cependant **le coût reste important**.

2.3. La liaison pivot, guidage en rotation :

Le guidage en rotation s'appuie sur l'utilisation d'une ou plusieurs portées (on obtient la liaison pivot glissant) et des arrêts axiaux (on supprime le mouvement de translation de la liaison pivot glissant).

- Concernant la **liaison pivot glissant**, deux configurations sont possibles :
 - Un seul palier long, modélisé par une liaison pivot glissant, tant que $L/D > 1,5$.
 - Deux paliers courts, modélisés par une liaison linéaire annulaire (sphère-cylindre), est ce, pour les cas où : $L/D < 0,8$.

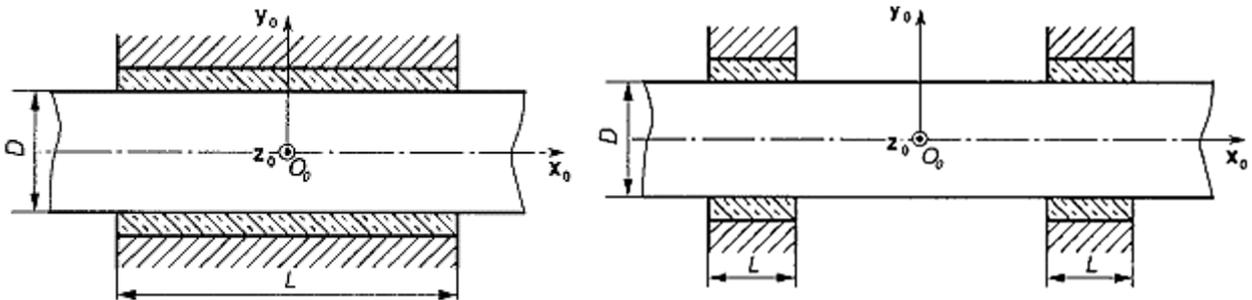


Figure.20. Les deux configurations possibles pour un guidage en rotation.

- A partir de cette liaison pivot glissant, on obtient la liaison pivot en supprimant la translation par l'intermédiaire d'**arrêts axiaux**, différentes configurations sont possibles :

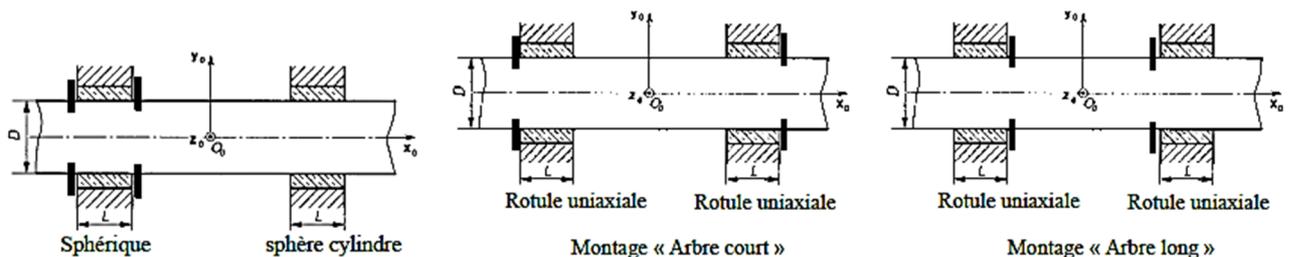


Figure.21. Guidage en rotation à deux paliers courts, disposition des arrêts axiaux.

- Concernant les solutions constructives permettant de réaliser la liaison pivot, trois solutions principales existent :
 - Par **contact direct** entre arbre et moyeu.
 - En utilisant des **paliers lisses**.
 - Par utilisation de **roulements**.

2.3.1. Guidage en rotation par contact direct :

Le guidage en rotation est obtenu par contact direct entre surfaces cylindriques, deux arrêts axiaux suppriment le mouvement de translation.

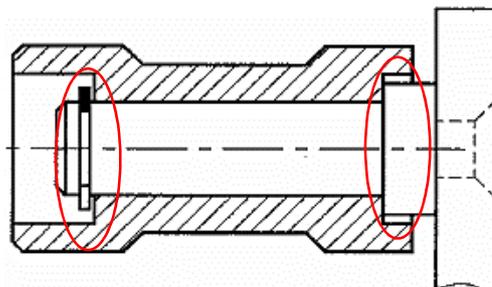


Figure.22. Guidage en rotation par contact direct, arrêts axiaux : épaulement et anneaux élastiques.

Cette solution est simple à réaliser, peu coûteuse mais dissipe beaucoup d'énergie par frottement. Les vitesses autorisées par cette solution sont faibles, les efforts transmissibles sont peu élevés.

2.3.2. Guidage en rotation par paliers lisses :

La solution précédente est améliorée en interposant des bagues de frottement qui permettent de diminuer le coefficient de frottement, mais aussi de supporter l'usure causé par le frottement au lieu des pièces.

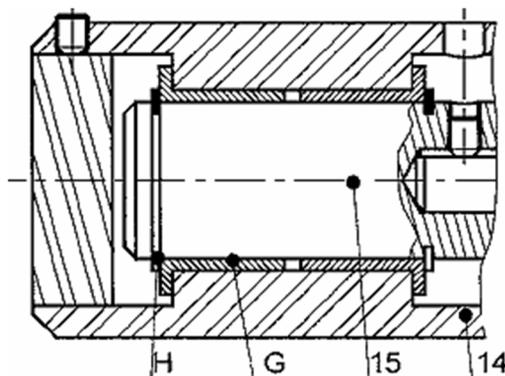


Figure.23. Guidage en rotation par paliers lisses, arrêts axiaux : anneaux élastiques.

Une solution d'usage courant **les coussinets**, qui sont des bagues cylindriques en bronze ou en matière plastique.



Figure.24. Coussinets simple (à droite) et épaulé (à gauche).

2.3.3. Guidage en rotation par roulements :

Le principe du guidage en rotation n'est plus par frottement, comme pour les deux solutions précédentes, mais il devient par roulement en interposant des roulements.

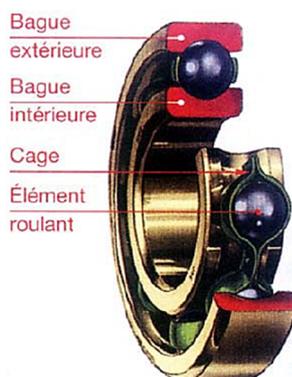


Figure.25. Constituants d'un roulement à billes.

Le frottement est diminué et le rendement est bien meilleur que les solutions précédentes.

L'exemple suivant représente un cas d'utilisation des roulements à billes :

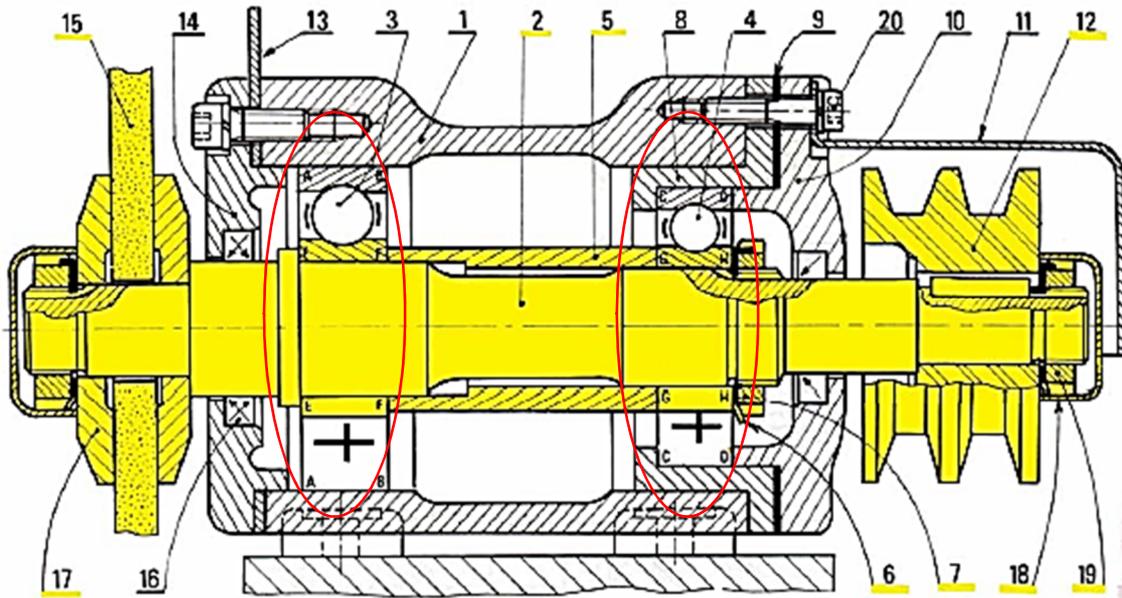
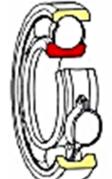
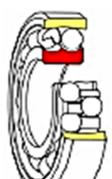


Figure.26. Guidage en rotation par roulements, exemple d'un touret à meuler.

A. Classification des roulements :

Le tableau suivant synthétise les différents types de roulements ainsi que leurs caractéristiques :

Type de roulement	Représentation		Aptitude à la charge		Aptitude à la vitesse	Remarques Utilisations	
	Normale	Conventionnelle	Radiale ↓	Axiale →			
Roulement à billes à contact radial				Élevé	Modéré	Élevé	Le plus utilisé. Très économique. Existe en plusieurs variantes (Étanche, avec rainure et segment d'arrêt ...)
Roulement à une de billes à contact oblique				Élevé	Élevé	Modéré	Les roulements à une rangée de billes doivent être montés par paire. Avec une rangée de billes, la charge ne peut être appliquée que d'un côté.
Roulement à deux rangées de billes à rotule				Élevé	Passable	Modéré	Il se monte par paire. Il est utilisé lorsque l'alignement des paliers est difficile ou dans le cas d'arbre de grande longueur pouvant fléchir sensiblement.

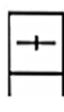
Type de roulement	Représentation		Aptitude à la charge		Aptitude à la vitesse	Remarques Utilisations	
	Normale	Conventionnelle	Radiale ↓	Axiale →			
Roulement à rouleaux cylindriques				Très élevé	Nul	Élevé	Il supporte des grandes charges radiales. Les bagues sont séparables, facilitant le montage.
Roulement à rouleaux coniques				Très élevé	élevé	Modéré	Il se monte par paire et en opposition. Les bagues sont séparables, facilitant le montage.

Figure.27. Roulements, types et caractéristiques.

B. Montage des roulements :

En général, pour assurer le guidage en rotation, on utilise une paire de roulements, les deux conditions de montage sont :

- La bague qui tourne par rapport à la direction de la charge doit être **montée serrée**.
- La bague immobile par rapport à la direction de la charge doit être **montée glissante**.

L'exemple suivant permet d'illustrer ceci :

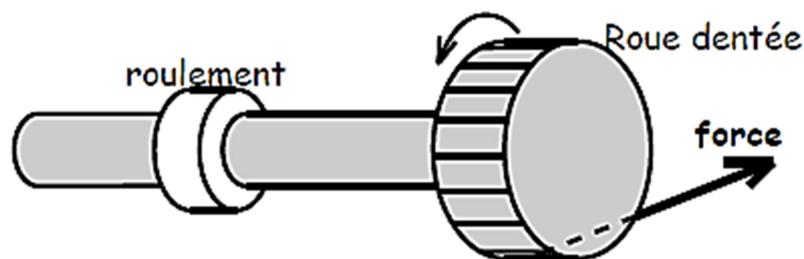


Figure.28. exemple d'arbre sous charge guidé par des roulements.

La charge est modélisée par une force s'exerçant sur la roue dentée solidaire avec l'arbre, la bague intérieure du roulement est solidaire avec l'arbre, elle est tournante par rapport à la direction de la force, **par conséquent la bague intérieure est montée serrée par rapport à l'arbre. La bague extérieure est fixe par rapport à la direction de la force, elle est montée glissante par rapport au moyeu.**

- Concernant les arrêts axiaux, la règle est d'imposer des arrêts axiaux sur la bague qui est montée serrée **des deux côtés**, et d'un seul côté pour les bagues montées glissantes (avec jeu).

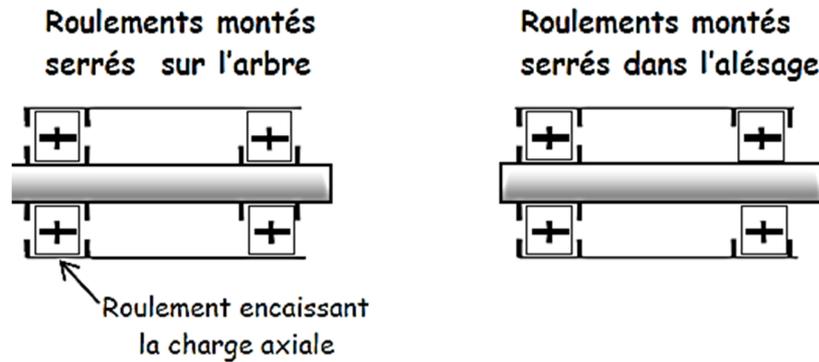


Figure.29. disposition des arrêts axiaux.

C. Dimensionnement des roulements :

Pour dimensionner un roulement, on utilise couramment le critère de tenue à la charge dynamique, la démarche consiste à évaluer la durée de vie à partir de la charge équivalente P (voir figure ci-dessous), mais on peut opter pour la démarche inverse en imposant la durée de vie du roulement qui nous mène à choisir le roulement convenable, on parle dans ce cas de dimensionnement de roulement.

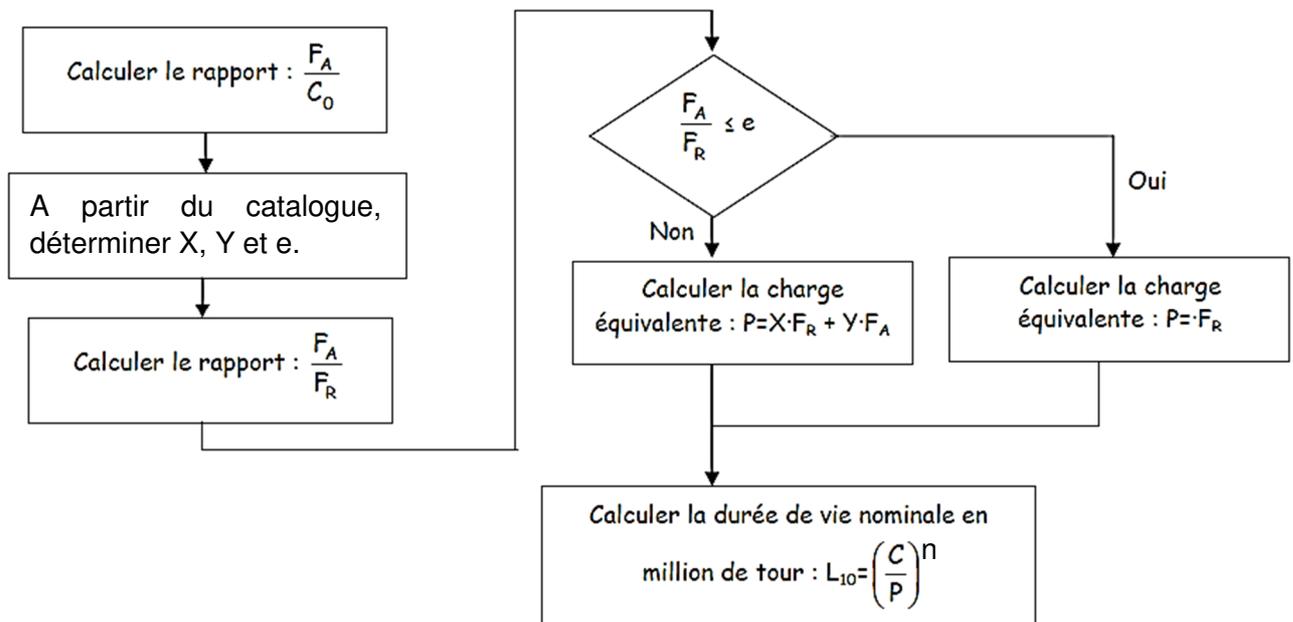


Figure.30. Les différentes étapes de calcul de la durée de vie d'un roulement.

Avec :

- C_0 : Charge statique admissible par le roulement, propre au roulement et fourni dans les catalogues.
- C : charge dynamique.
- L_{10} est la durée de vie du roulement en millions de tour.
- F_A est la charge axiale supportée par le roulement.
- F_R est la charge radiale supportée par le roulement.
- n : coefficient qui dépend des éléments roulants: 3 pour les billes, 10/3 pour les rouleaux et aiguilles.

Remarque :

- Un autre critère de dimensionnement appelé **critère de tenue à la charge statique** consiste simplement à vérifier la relation : $P \leq C_0$

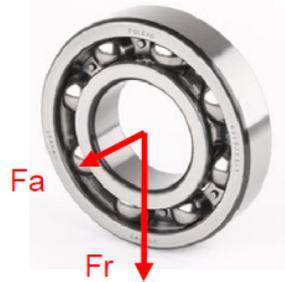


Figure.31. Schématisation des efforts radial et axial au niveau d'un roulement.