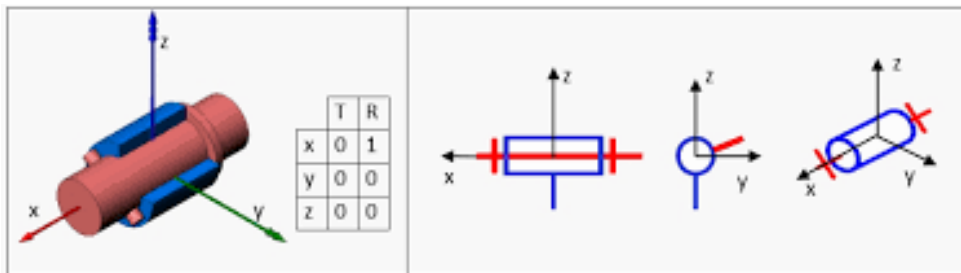




## CONCEPTION DES MÉCANISMES

## CONCEPTION DES GUIDAGES EN ROTATION



## Compétences visées:

- E1-01** Rechercher des informations.
- E1-05** Lire et décoder un document technique.
- F3-02** Concevoir et dimensionner une liaison mécanique.

## Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>3</b>
1.1	Fonctions à assurer . . . . .	3
1.2	Indicateur de qualité . . . . .	3
1.3	Familles de guidages . . . . .	4
1.4	Caractéristiques d'un guidage en rotation . . . . .	4
1.4.1	Précision du guidage . . . . .	4
1.5	Définition des zones de contact . . . . .	4
1.5.1	Efforts transmissibles . . . . .	6
1.5.2	Classification des solutions de guidage en rotation . . . . .	6
<b>2</b>	<b>Guidage par contact direct</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>Guidage par éléments d'antifriction</b>	<b>7</b>
3.1	Les bagues de frottement métalliques . . . . .	8
3.2	Les bagues de frottement en thermoplastique . . . . .	9
3.3	Les bagues de frottement composite . . . . .	9
<b>4</b>	<b>Montage</b>	<b>10</b>
<b>5</b>	<b>Critère de dimensionnement d'un contact frottant</b>	<b>10</b>
<b>6</b>	<b>Étanchéité</b>	<b>11</b>
<b>7</b>	<b>Application - Inverseur de marche</b>	<b>12</b>
<b>8</b>	<b>Annexes</b>	<b>14</b>



# 1 Introduction

D'un point de vue cinématique, la liaison pivot autorise une unique possibilité de mouvement relatif entre ces deux pièces : La rotation autour de l'axe de la liaison.

## Exemple :

Plateau tournant de la capsuleuse, lisse de la barrière Sympact, bras Maxpid par rapport au bâti, arbre à came, vilebrequin ou, pignon de boîte de vitesse par rapport au carter.

On utilise couramment les termes d'arbre et d'alésage (ou logement) pour étudier la réalisation d'un guidage en rotation. On peut avoir :

- Un arbre tournant dans un logement fixe (arbre à came / Carter)
- Un logement tournant autour d'un arbre fixe (roue / axe)
- Un arbre et un logement tournant

## 1.1 Fonctions à assurer

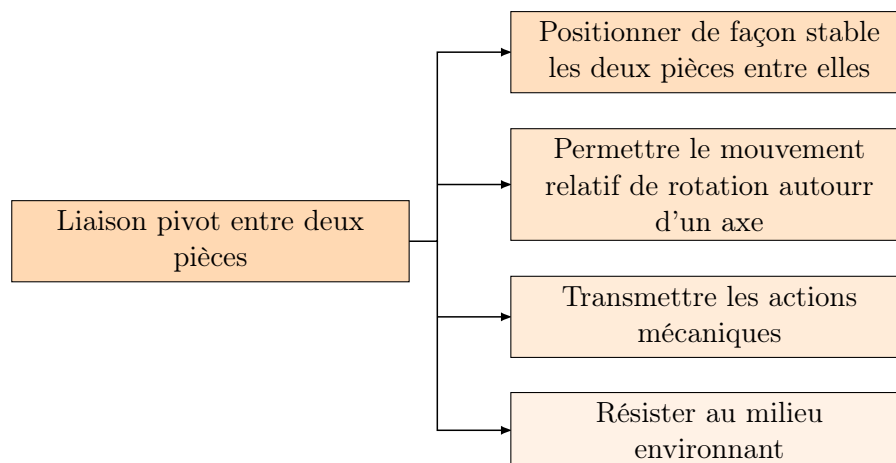


FIGURE 1 – Fonctions que doit assurer un guidage en rotation

## 1.2 Indicateur de qualité

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

- positionner les deux pièces entre elles ;
- précision du guidage ;
- maintenabilité ;
- vitesse de déplacement maximale ;
- encombrement ;
- intensité des actions mécaniques transmissibles ; — esthétique ;
- fiabilité ;
- coût.

### 1.3 Familles de guidages

Pour réaliser un guidage en rotation, on distingue cinq grands principes représentés ci-dessous. Mise à part les guidages en rotation par contact direct, on cherche, dans les autres familles de solutions, à faciliter le mouvement de rotation et ainsi limiter les pertes énergétiques par frottement.

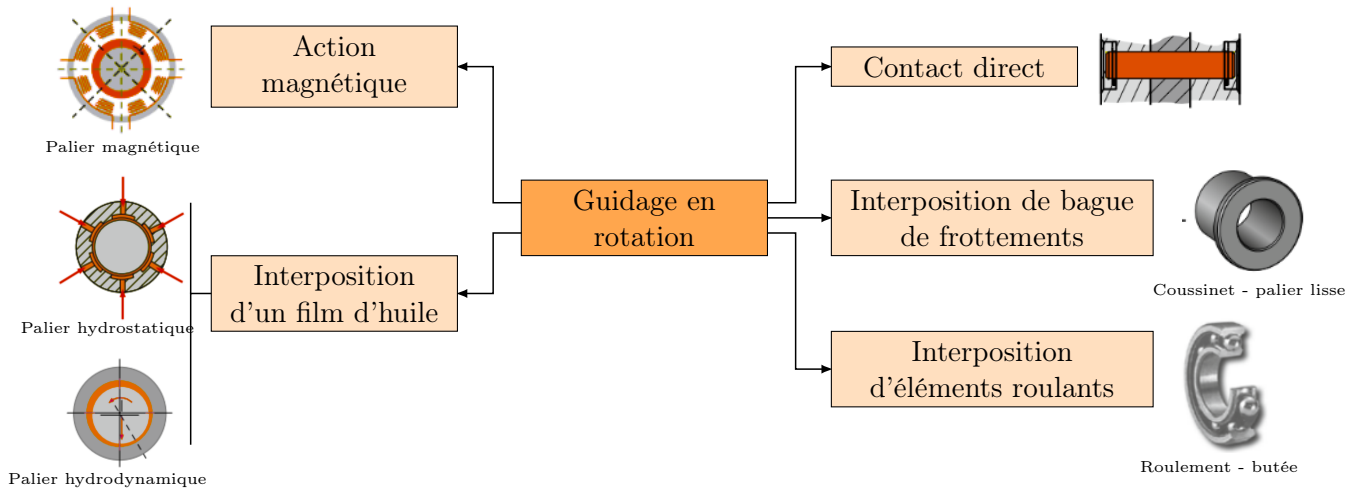
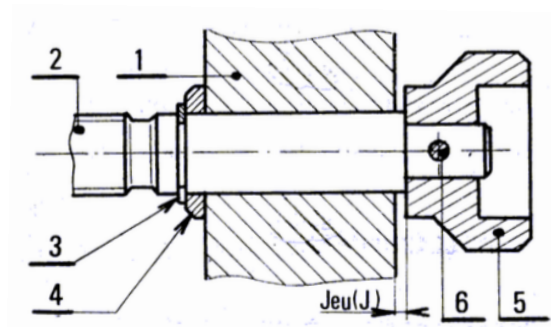
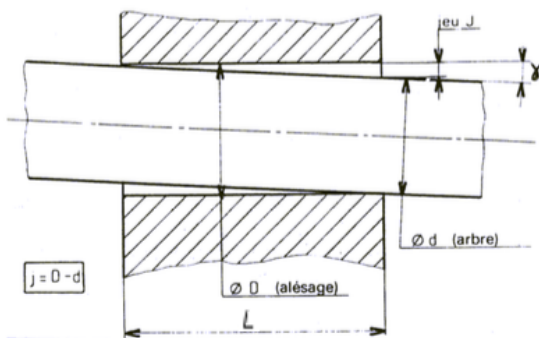


FIGURE 2 – Types de guidages en rotation

### 1.4 Caractéristiques d'un guidage en rotation

#### 1.4.1 Précision du guidage

On caractérise la précision du guidage par les jeux axiaux et radiaux dans la liaison. Des jeux trop grands dégradent la qualité du guidage, son axe de rotation peut être alors modifié ou variable.



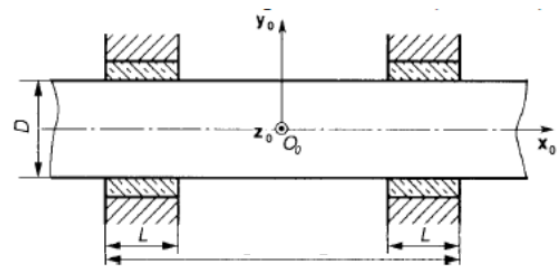
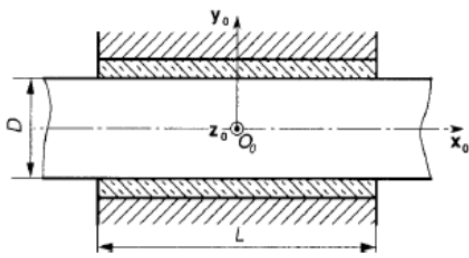
La présence de jeu radial entraîne un phénomène de rotulage (jeu angulaire  $\gamma$ ). On définit alors un ratio  $L/D$  critique pour éviter le rotulage :

- si  $L/D \geq 1,5$  : liaison pivot ou pivot glissant (le rotulage est faible)
- si  $L/D \leq 0,8$  : liaison rotule ou linéaire annulaire (le rotulage est trop important pour pouvoir être négligé)

### 1.5 Définition des zones de contact

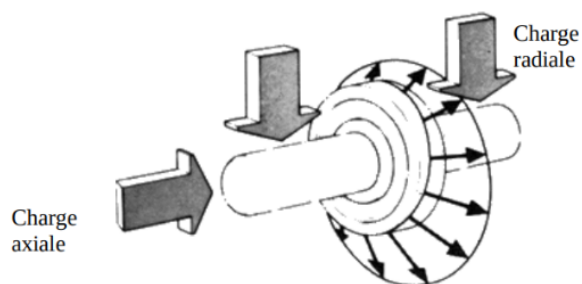
Un guidage en rotation peut être réaliser de deux manières différentes, soit par une seule zone de contact, soit par la combinaison de plusieurs zones. Elle est très souvent composée de 2 zones afin d'éviter des surfaces

de contact trop importantes et de garder un bon guidage même avec une déformation des pièces. Les règles de précisions du guidage s'appliquent, en particulier le rapport  $L/D$ .



### 1.5.1 Efforts transmissibles

Il existe 2 types d'efforts élémentaires transmissibles : les charges radiales et les charges axiales. Les charges radiales sont celles dirigées perpendiculairement à l'axe du guidage en rotation tandis que les charges axiales sont dirigées selon l'axe du guidage en rotation. Il existe également des charges composées, qui associent les deux types de charges : axiales et radiales.



### 1.5.2 Classification des solutions de guidage en rotation

Type de guidage en rotation	Précision de guidage	Vitesse de rotation	Efforts à transmettre		Avantages	Inconvénients
			Charge radiale	Charge axiale		
Par contact direct	-	--	-	--	Simplicité Encombrement radial réduit	Usure, échauffement et perte de puissance par frottement
Par interposition de bague de frottement (palier lisse ou coussinet)	+	+	+	-	Simplicité Encombrement radial réduit Fonctionnement silencieux	Usure, échauffement et perte de puissance par frottement Chargement axial à proscrire
Par interposition d'éléments roulants (roulement)	++	++	+++	+++ (si à contact oblique ou rouleaux coniques)	Vitesses de rotation élevées Transmission d'efforts importants Fiabilité	Encombrement Lubrification
par interposition d'un film d'huile	+++	+++	++	+	Vitesses de rotation élevées	Étanchéité à mettre en place

## 2 Guidage par contact direct

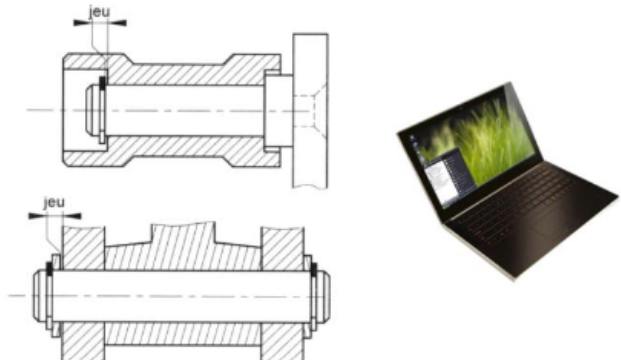
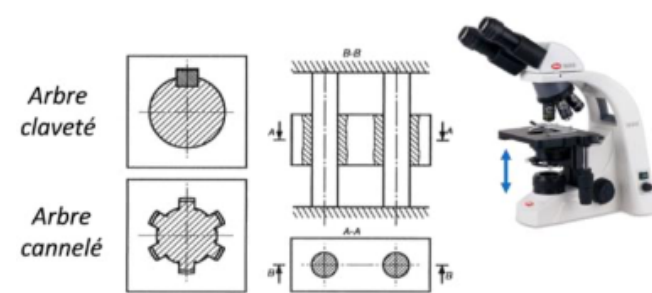
Guidage réalisé directement par contact de surfaces (souvent planes et/ou cylindriques) appartenant aux deux pièces à guider.

**Guidage par contact direct**



Economique  
Faible encombrement

Frottements élevés  
- Usure (mauvaise précision)  
Faible vitesse possible

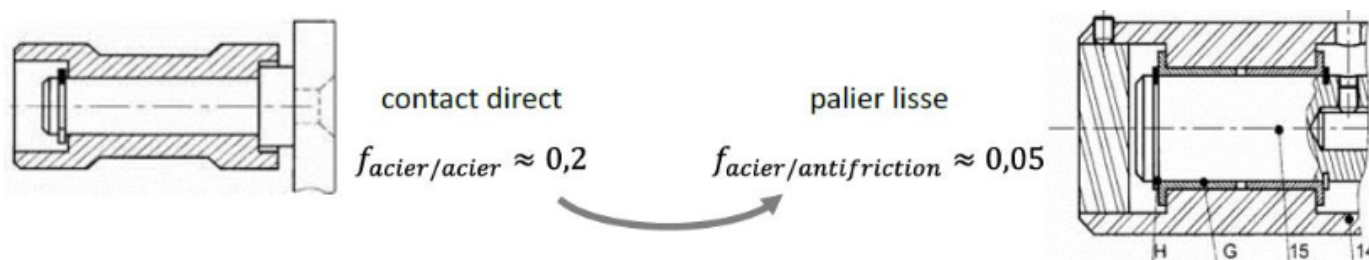
Rotation	Translation
<p>Surface cylindrique + surface plane perpendiculaire à l'axe du cylindre</p> 	<p>Surface cylindrique + surface plane de normale orthogonale à l'axe du cylindre</p>  <p>Arbre claveté</p> <p>Arbre cannelé</p>

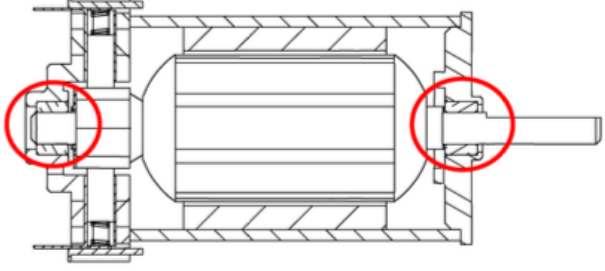
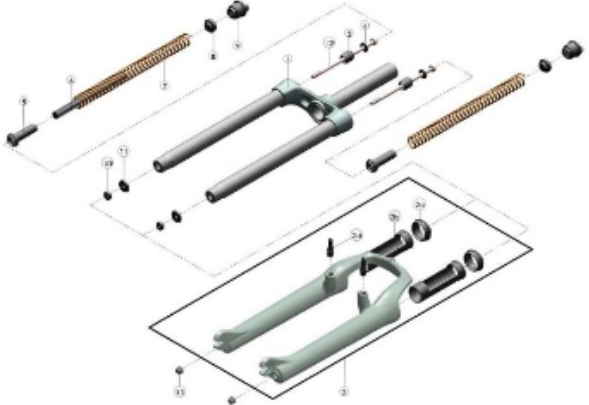
Lors du mouvement de rotation, les surfaces de contact glissent l'une par rapport à l'autre. Il en résulte des frottements et donc des pertes. Afin de réduire ces pertes ou encore que l'arbre puisse supporter des efforts plus importants et tourner plus vite, on intercale souvent entre l'arbre et l'alésage des éléments standards : les paliers lisses.

### 3 Guidage par éléments d'antifriction

<p><b>Guidage par interposition d'éléments d'antifriction</b></p>	<p>+</p>	<p>Coût limité</p>	<p>Encombrement axial important</p>
		<p>Silencieux</p>	<p>Échauffement</p>
		<p>Usure limitée</p>	<p>Frottement existant</p>

L'insertion d'un élément d'antifriction permet de réduire considérablement le frottement entre les pièces.



Rotation	Translation
Surface cylindrique + surface plane perpendiculaire à l'axe du cylindre	Surface cylindrique + surface plane de normale orthogonale à l'axe du cylindre
<p data-bbox="359 421 582 450">Moteur électrique</p> 	<p data-bbox="1066 297 1294 327">Fourche de VTT</p> 

**Terminologie** Dans la pratique, on retrouve souvent les termes de coussinet et de palier lisse pour désigner un même composant ; une bague de frottement ou bague antifriction.

Le terme « coussinet », bien que normalisé, est généralement utilisé pour désigner une bague de frottement en bronze massif ou fritté.

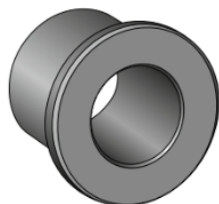
Les paliers lisses quant à eux, désignent une bague de frottement d'encombrement plus réduit que le coussinet. Ils sont réalisés généralement à partir d'une tôle métallique roulée.

Les bagues de frottement de forme tubulaire avec ou sans collerette sont intercalées entre l'arbre et son logement. Ils sont montés avec serrage dans l'alésage et glissant sur l'arbre.

Les bagues de frottement sont réalisées à partir de matériaux comportant de bonnes qualités frottantes (bronze, PTFE, polyamide, . . . ). Leur constitution permet de faire un premier classement.

### 3.1 Les bagues de frottement métalliques

**Coussinets massifs** Ils sont insensibles aux environnements pollués et offrent la particularité de résister aux chocs et aux vibrations à basse vitesse. Les coussinets en bronze massif sont prévus pour être lubrifiés à l'huile ou à la graisse. Ils permettent également de travailler avec une surface d'arbre de basse qualité.



Coussinet avec collerette

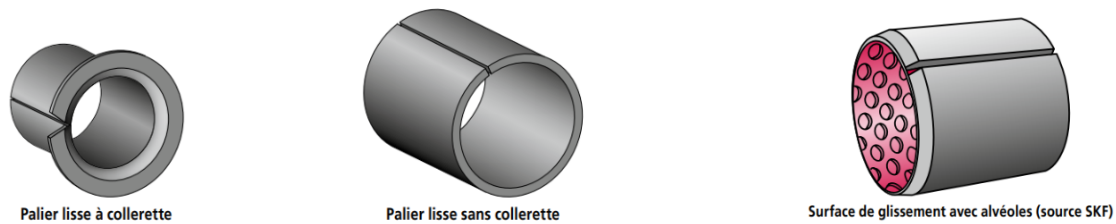


Coussinet sans collerette

**Coussinets autolubrifiés** Les coussinets autolubrifiants sont réalisés en métal fritté. Poreux, ils sont imprégnés d'huile ou de lubrifiant solide. Dans le cas de l'huile, le principe de fonctionnement est comparable à celui d'une éponge. Lors de la rotation de l'arbre, l'huile est aspirée et forme un film d'huile entre l'arbre et le coussinet. Au repos, l'huile est absorbée par le coussinet. Les coussinets autolubrifiants sont de fabrication standard. Ils possèdent une grande résistance mécanique et thermique. Ils conviennent à des applications à vitesse de glissement très élevée et ne nécessitent aucune lubrification externe et fonctionnent sans entretien.



**Bague en tôle roulée** Les bagues en tôle roulée sont des coussinets fabriqués en bronze à partir de bandes qui sont ensuite calibrées et roulées. Ils conviennent bien dans des environnements poussiéreux avec des chocs et des vibrations. Ils nécessitent une lubrification à la graisse ou à l'huile.



La surface de glissement est dotée d'alvéoles qui retiennent la graisse de lubrification.

### 3.2 Les bagues de frottement en thermoplastique

Les coussinets en polymère (POM, PTFE, PEEK, PA, . . . ) sont moulés par injection. Ils permettent d'éviter toute lubrification et de réduire l'entretien. Ils sont économiques et polyvalents. Ils sont particulièrement recommandés pour des applications à charge moyenne à élevée, dont les vitesses de glissement et les températures sont moyennes.



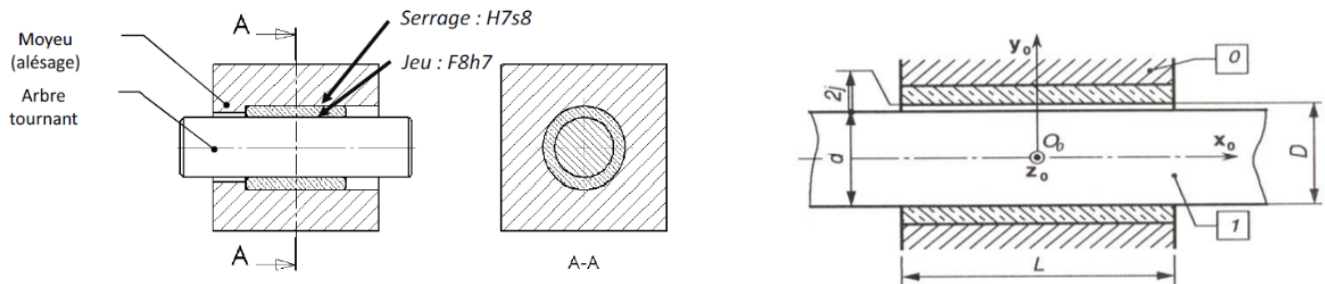
### 3.3 Les bagues de frottement composite

Les bagues composites sont constituées de trois couches liées : une bague en acier recouverte en bronze poreux imprégné et revêtu d'un revêtement antifrottement (PTFE, POM. . . ). Cette association de matières leur confère des propriétés de glissement à faible usure. Tout comme les coussinets autolubrifiants, le fonctionnement peut se faire à sec (entretien) ou avec lubrification (entretien réduit).



## 4 Montage

Un coussinet / palier est toujours monté serré dans l'alésage, afin de minimiser la vitesse de glissement.



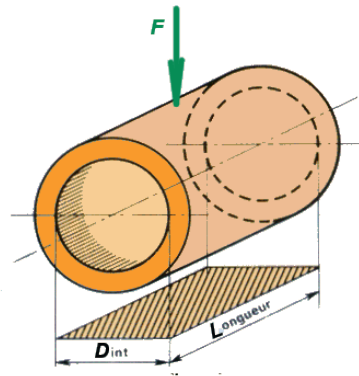
## 5 Critère de dimensionnement d'un contact frottant

Pour dimensionner un palier lisse/coussinet, il est nécessaire de respecter à la fois les trois critères suivants.

### Pression maximale au contact

Avec :

- $F$  Charge radiale sur le palier ( $N$ )
- $D$  diamètre intérieur du coussinet ( $mm$ )
- $L$  longueur du coussinet ( $mm$ )
- $p$  pression diamétrale ( $N/mm^2$ )



### Vitesse maximale de glissement

$$V = \omega \cdot \frac{d}{2}$$

avec  $\omega$  la vitesse de rotation ( $rad/s$ )

### Produit $p.V$ maximal

Le produit  $p.V$  est lié à une puissance dissipée par unité de surface au niveau du contact où il y a glissement. Cette puissance ne peut dépasser une valeur limite  $(p.V)_{max}$ , sous peine d'endommager le palier.

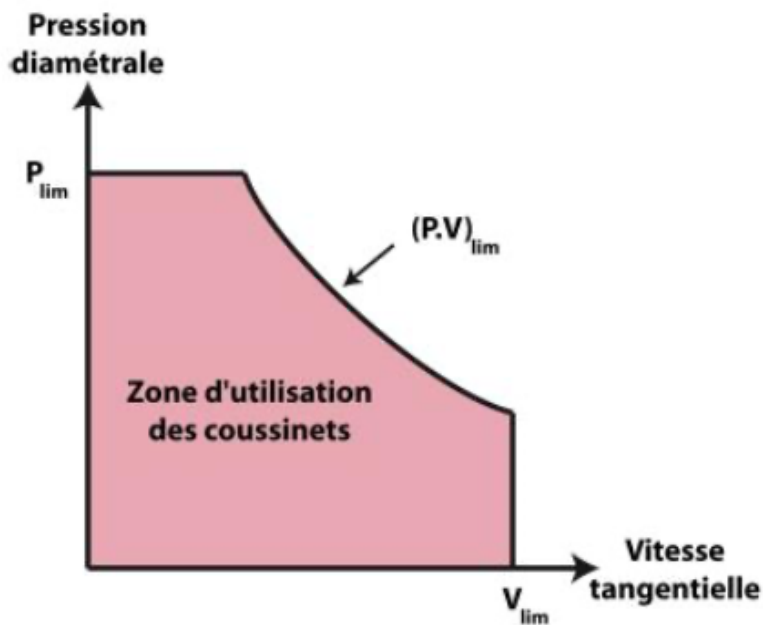
$$(p.V \equiv \left[ \frac{N}{mm^2} \cdot \frac{m}{s} \right] = \left[ \frac{W}{mm^2} \right])$$

$(p.V)_{max}$  est une caractéristique d'un matériau ou d'un palier donné.

Les critères ci-dessus font intervenir des valeurs maximales qui sont propres à chaque type matériau constituant la surface frottante du palier. Le tableau ci-dessous regroupe quelques-unes des caractéristiques des paliers classiques :

	V (m/s)	p(N/mm <sup>2</sup> )	p.V(W/mm <sup>2</sup> )
Coussinet en bronze au plomb avec une lubrification continue	15 à 25	15 à 60	20 à 35
Coussinet en bronze à l'étain avec une lubrification continue	15 à 25	3 à 100	20 à 35
Coussinet fritté à base de bronze autolubrifié	6 à 12	7 à 20	1 à 1,8
Coussinet en polyamide	2	6	0,04

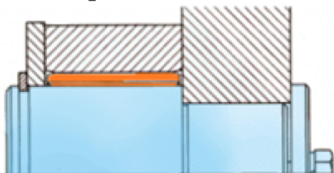
Ainsi, la courbe suivante définit la zone d'utilisation d'un palier lisse :



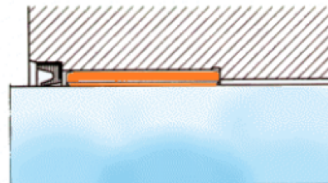
## 6 Étanchéité

Les paliers sont généralement peu sensibles aux impuretés. Lorsque l'environnement est pollué, on peut avoir recours aux solutions suivantes :

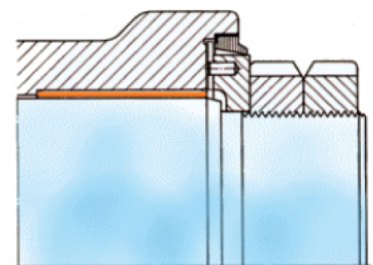
Protection par les éléments voisins



Joint à lèvres



Joint spéciaux



## 7 Application - Inverseur de marche

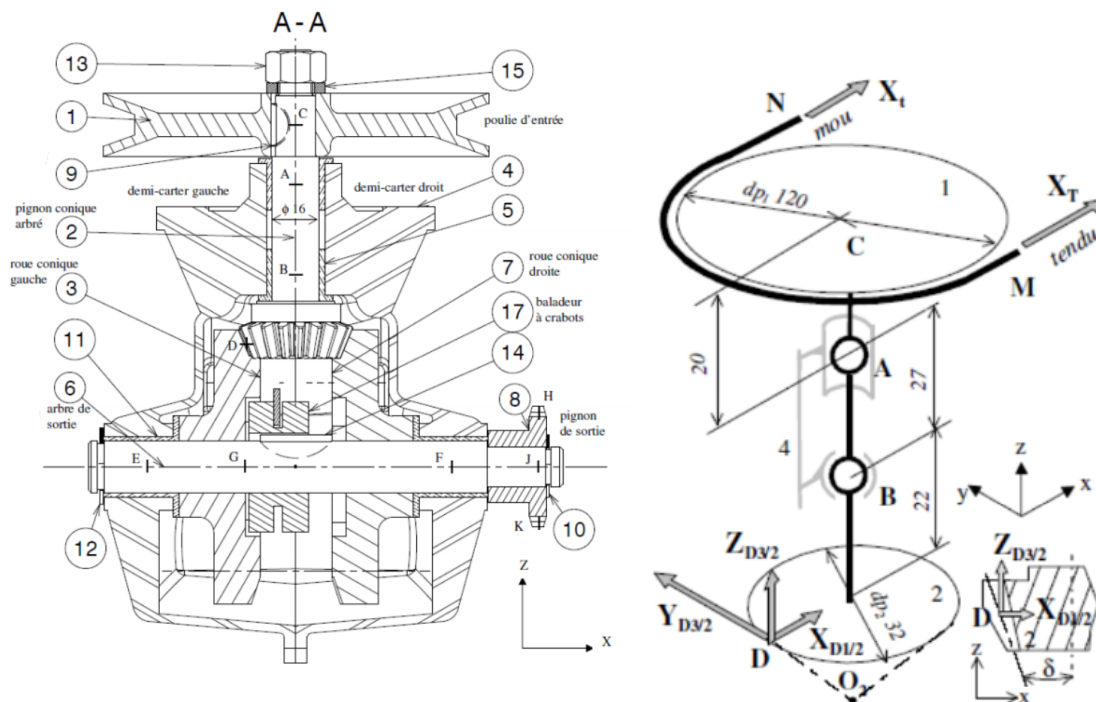
On s'intéresse au système de selection marche avant / marche arrière d'une tondeuse à gazon autoportée. On cherche à vérifier le dimensionnement les palier lisses utilisés.

Une étude mécanique permet de calculer les efforts radiaux au niveau des paliers en A et B, à partir du couple fourni par le moteur.

On supposera les valeurs suivantes :

- Longueur du guidage :  $L = 20 \text{ mm}$
- Diamètre de l'arbre :  $D = 16 \text{ mm}$
- Vitesse de rotation du moteur :  $N = 3820 \text{ tr/min}$

En A, les efforts radiaux sont de norme  $F_A = 673 \text{ N}$  et en B, les efforts radiaux sont de norme  $F_B = 875 \text{ N}$



**Calcul de la pression de contact maximale** La pression de définit avec la formule démontrée précédemment :

$$p = \frac{F}{D.L}$$

Soit

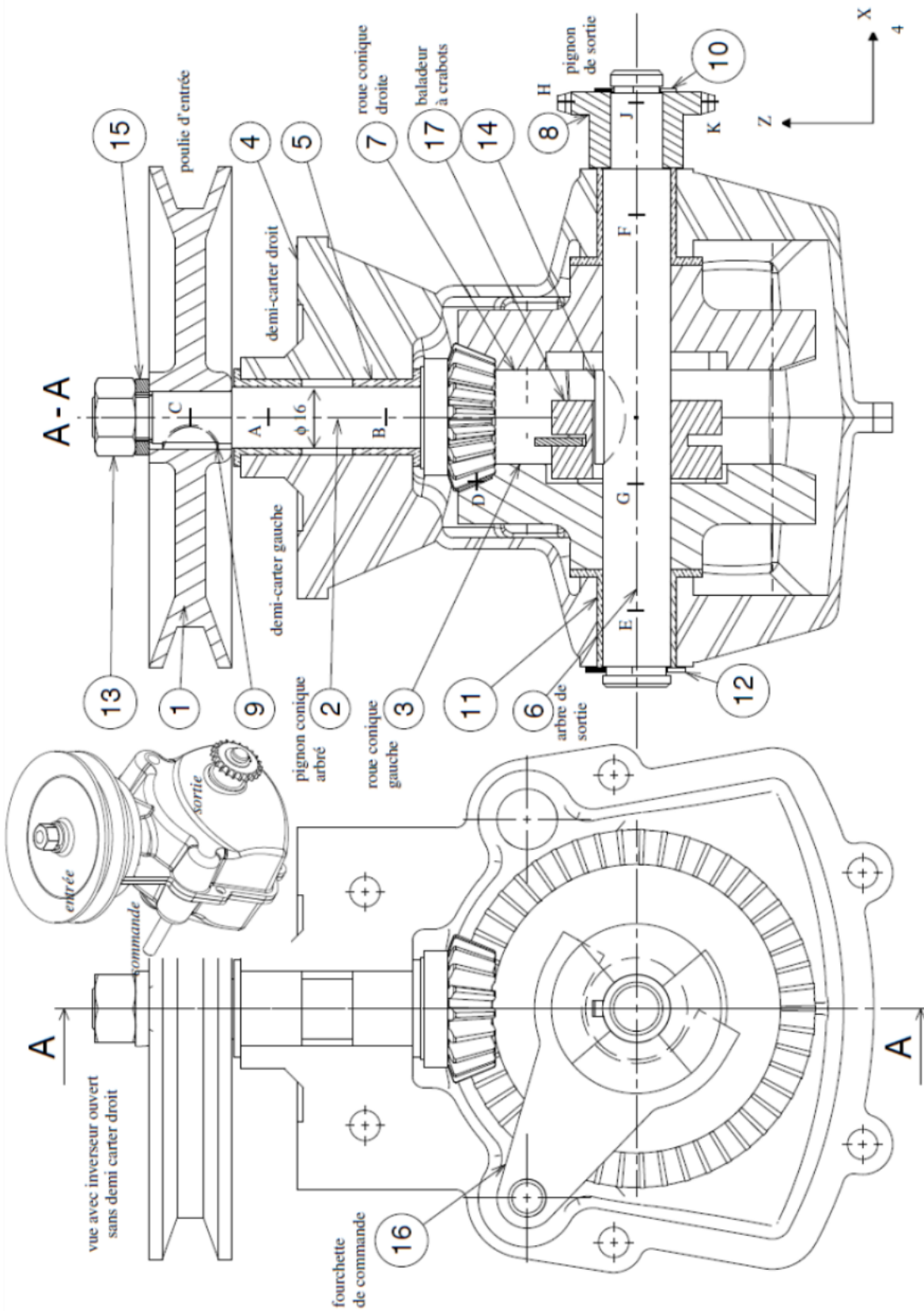
**Calcul de la vitesse périphérique de glissement**

$$V = R.\omega$$

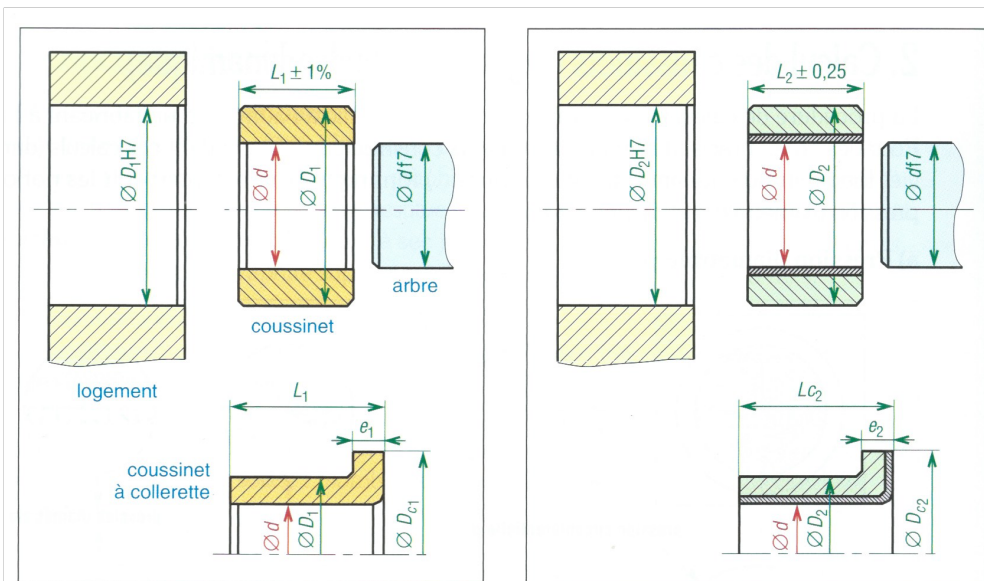
Soit

**Calcul du produit pV** Le produit pV est alors facile à calculer, attention aux unités :

**Conclusion : choix du matériau pour les coussinets** Il peut être intéressant d'utiliser du bronze fritté, car ce dernier ne nécessite pas de graisseur.



8 Annexes



5. Coussinets frittés autolubrifiants (Métafram...)

6. Coussinets glacières (INA, SIC, SKF...)

Coussinets – extrait de dimensions normalisées (mm)															
Frittés autolubrifiants NFE 22-510					Massifs en alliages cuivre NF ISO 4379					Coussinets glacier (dimensions INA, SIC, SKF...)					
d	D <sub>1</sub>	D <sub>c1</sub>	e <sub>1</sub>	L <sub>1</sub>	d	D <sub>1</sub>	D <sub>c1</sub>	e <sub>1</sub>	L <sub>1</sub>	d	D <sub>2</sub>	L <sub>2</sub>	D <sub>c2</sub>	e <sub>2</sub>	L <sub>c2</sub>
3	6	9	1,5	4	6	12	14	3	6-10	3	4,5	3-5-6			
4	8	12	2	3-4-6	8	14	18	3	6-10	4	5,5	3-4-6-10			
5	9	13	2	4-5-8	10	16	20	3	6-10	5	7	5-8-10			
6	10	14	2	4-6-10	12	18	22	3	10-15-20	6	8	6-8-10	12	1	4-8
8	12	16	2	6-8-12	14	20	25	3	10-15-20	8	10	6-8-10-12	15	1	5,5-7,5-9,5
9	14	19	2,5	6-10-14	15	21	27	3	10-15-20	10	12	8-10-12-15-20	18	1	7-9-12-17
10	16	22	3	8-10-16	16	22	28	3	12-15-20	12	14	8-10-12-15-20	20	1	7-9-12-17
12	18	24	3	8-12-20	18	24	30	3	12-20-30	14	16	8-10-12-15-20	22	1	12-17
14	20	26	3	10-14-20	20	26	32	3	15-20-30	15	17	10-12-15-20-25	23	1	9-12-17
15	21	27	3	10-15-25	22	28	34	3	15-20-30	16	18	10-12-15-20-25	24	1	12-17
16	22	28	3	12-16-25	25	32	38	4	20-30-40	18	20	15-20-25	26	1	12-17-22
18	24	30	3	12-18-30	28	36	42	4	20-30-40	20	23	10-15-20-25-30	30	1,5	12-17-22
20	26	32	3	15-20-25	30	38	44	4	20-30-40	22	25	15-20-25-30	35	1,5	11,5-16,5-21,5
22	28	34	3	15-20-25	32	40	46	4	20-30-40	25	28	15-20-25-30-40			11,5-16,5-21,5
25	32	39	3,5	20-25-30	35	45	50	5	30-40-50	28	32	15-20-25-30			
28	36	44	4	20-25-30	38	48	54	5	30-40-50	30	34	15-20-25-30-40	42	2	16-26
30	38	46	4	20-25-30	40	50	58	5	30-40-60	35	39	20-30-35-40-50	47	2	16-26
32	40	48	4	20-25-30	42	52	60	5	30-40-60	40	44	20-30-40-50	52	2	16-26
35	45	55	5	25-35-40	45	55	63	5	30-40-60	45	50	20-30-40-45-50			
38	48	58	5	25-35-45	48	58	66	5	40-50-60	50	55	20-30-40-50-60			
40	50	60	5	30-40-50	50	60	68	5	40-50-60	55	60	20-25-30-40-50			
45	55	65	5	35-45-55	55	65	73	5	40-50-70	60	65	20-30-40-60-70			
50	60	70	5	35-50	60	75	83	7,5	40-60-60	65	70	30-50-70			
55	65	75	5	40-55	65	80	88	7,5	50-60-80	70	75	40-50-70			
60	72	84	6	50-60-70	70	85	95	7,5	50-70-90	75	80	60-80			
					75	90	100	7,5	50-70-90	80	85	60-100			
					80	95	105	7,5	60-80-100	85	90	30-60-100			

Tolérance : D logement : H7 ; après emmanchement, D bague : H7 ou H8 si D ≥ 50 ; D<sub>c</sub>, ac et L : js13 ; concentricité d/D IT9 ; chanfreins à 45°

Tolérance : D logement H7 ; D bague : s6 et d : E6 (H8 après emmanchement) ; D<sub>c</sub> : d11 ; L : h13 ; concentricité d/D : IT8 ; chanfreins à 45° ; Ra, d et D : 1,6 μm

Tolérance : D logement H7 ; longueur L ± 0,25 ; d arbre : f7 avec Ra ≤ 0,4 μm

Coussinets glacier usuels : performances indicatives						
Type fonctionnement	Composition	Températures d'utilisation	Pression statique admissible	Vitesse maximale admissible	Produit pv maxi N/mm <sup>2</sup> · m/s	Exemple
Glacier PTFE : sans entretien à sec	PTFE + Pb + bronze...	- 200 à 280° C	250 N/mm <sup>2</sup>	2 à 3 m/s	p <sub>v continu</sub> : 1,8 p <sub>v temporaire</sub> : 3,6 (p < 140 N/mm <sup>2</sup> )	INA : permaglilide P1 SIC : DU SKF : glycodur F...
Glacier acétal : entretien réduit, avec lubrification	résine acétal, PVDF, PTFE, Pb, bronze...	- 40 à 110° C	250 N/mm <sup>2</sup>	2 à 3 m/s	p <sub>v continu</sub> : 3 (p < 140 N/mm <sup>2</sup> )	INA : permaglilide P2 SIC : DX SKF : glycodur A...

Les coussinets ci-dessus existent en plusieurs matériaux avec des performances différentes.

