FORMATION ifpm

ALIMENTO

MÉCANIQUE GÉNÉRALE

ROULEMENTS - ENGRENAGES RÉDUCTEURS

ÉDITEUR RESPONSABLE : Brigitte REMACLE, Bld Reyers 80, 1030-Bruxelles

ÉDITION SEPTEMBRE 2018

Table des matières

Roulements **1**

1 Roulements 2

1.1 Assemblage d'un roulement 4

1.2 Différents types de roulements 6

1.3 Roulements rigides à billes 8

1.4 Roulements à rotule sur billes 11

1.5 Roulements à billes à contact oblique 13

1.6 Roulements à rouleaux cylindriques 15

1.7 Roulements à rouleaux cylindriques jointifs 16

1.8 Roulements à rotule sur rouleaux 17

1.9 Roulements à aiguilles 19

2 Butées 20

2.1 Butées à billes 20

2.2 Butées à rouleaux cylindriques 21

2.3 Butées à rouleaux coniques 22

2.4 Butées à rotule sur rouleaux 23

3 Paramètres de choix des roulements 24

4 Désignation des roulements 30

5 Disposition des roulements 32

5.1 Ajustement radial des roulements 33

5.2 Roulement à alésage cylindrique 33

5.3 Roulement à alésage conique 34

5.4 Fixation axiale des roulements 35

5.5 Dispositifs d'étanchéité 36

5.6 Lubrification 38

5.7 Roulements et palier à auto-alignement 43

6 Montage et démontage 46

6.1 Stockage des roulements 47

6.2 Préparation du montage 47

6.3 Généralités 48

6.4 Matériel de montage et démontage 50

6.5 Contrôle du jeu 54

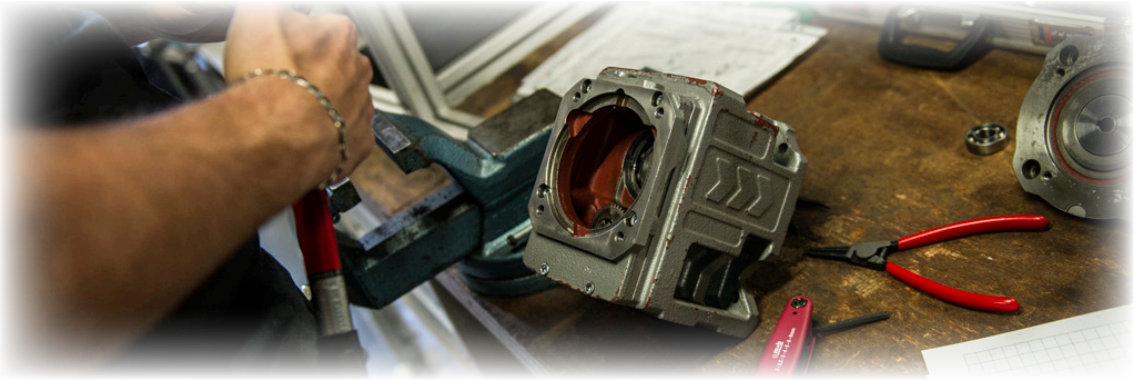
6.6 Jeu interne 55

6.7 Roulements à alésage cylindrique - montage 56

6.8 Roulements à alésage cylindrique - démontage 58
6.9 Roulements à alésage conique – montage 61
6.10 Roulements à alésage conique – démontage 64
6.11 Roulements à alésage conique montés sur manchons de serrage – montage 65
6.12 Roulements à alésage conique montés sur manchons de serrage – démontage 66
6.13 Roulements à alésage conique montés sur manchons de démontage – montage 68
6.14 Roulements à alésage conique montés sur manchons de démontage - démontage 71
7 Avaries 72
Engrenages - Réducteurs 77
8 Généralités 78
8.1 Roue d'engrenage 78
8.2 Engrenage 78
8.3 Train d'engrenage 78
9 Analogie avec des roues à friction 79
10 Terminologie 80
11 Différents types d'engrenages 83
12 Engrenage cylindrique 84
13 Engrenages parallèles 85
13.1 Roue cylindrique à denture droite 85
13.2 Relation entre vitesse de rotation et nombre de dents 87
13.3 Sens de rotation 87
13.4 Développante de cercle 88
13.5 Ligne d'action 89
13.6 Angle de pression 90
13.7 Continuité de l'engrènement 91
13.8 Rapport de la conduite 92
13.9 Module et diamétral pitch 93
13.10 Crémaillère de référence 94
13.11 Interférences 95
13.12 Roue cylindrique à denture hélicoïdale 98
13.13 Caractéristiques de la denture 98
14 Engrenages parallèles hélicoïdaux 99
14.1 Denture à chevrons 100
14.2 Indications figurant sur les plans en vue du taillage 101
14.3 Taillage par outil-crémaillère 102

14.4 Rectification de la denture 103
14.5 Précision des engrenages parallèles en développante 104
14.6 Système de tolérances 104
14.7 Tolérances d'épaisseur 104
14.8 Mesure de l'épaisseur des dents des engrenages cylindriques à développante 105
14.9 Mesure sur plusieurs dents (Mesure de Wildhaber) 106
14.10 Contrôle de l'épaisseur des dents 107
14.11 Mesure de l'épaisseur des dents d'une crémaillère 107
14.12 Jeu entre dents 108
14.13 Jeu circulaire 108
14.14 Jeu normal 108
14.15 Contact correct 109
14.16 Contact incorrect 110
15 Denture intérieure 111
15.1 Denture cylindrique intérieure 111
15.2 Denture intérieure 112
15.3 Taillage d'une denture intérieure 113
16 Engrenages coniques 114
16.1 Roues coniques à denture droite 114
16.2 Crémaillère de référence 115
16.3 Défauts de montage de roues coniques 116
16.4 Renvoi d'angle par roues coniques à denture droite 118
16.5 Roues coniques 119
16.6 Roues coniques à dentures spirales 120
17 Engrenages à axes non coplanaires 121
17.1 Roues cylindriques à dentures hélicoïdales à axes non coplanaires 121
17.2 Roue hélicoïdale et vis sans fin 122
18 Roue creuse et vis sans fin 123
18.1 Roue hélicoïdale creuse et vis sans fin à 2 entrées 123
18.2 Roue hélicoïdale creuse et vis sans fin à 8 entrées 124
18.3 Tracé de référence 126
18.4 Montage des roues hélicoïdales et vis-sans-fin 127
18.5 Alignement de la roue 127
18.6 Jeu d'entrée d'huile 127
18.7 Surface de contact des dentures des roues hélicoïdales et vis-sans-fin 128

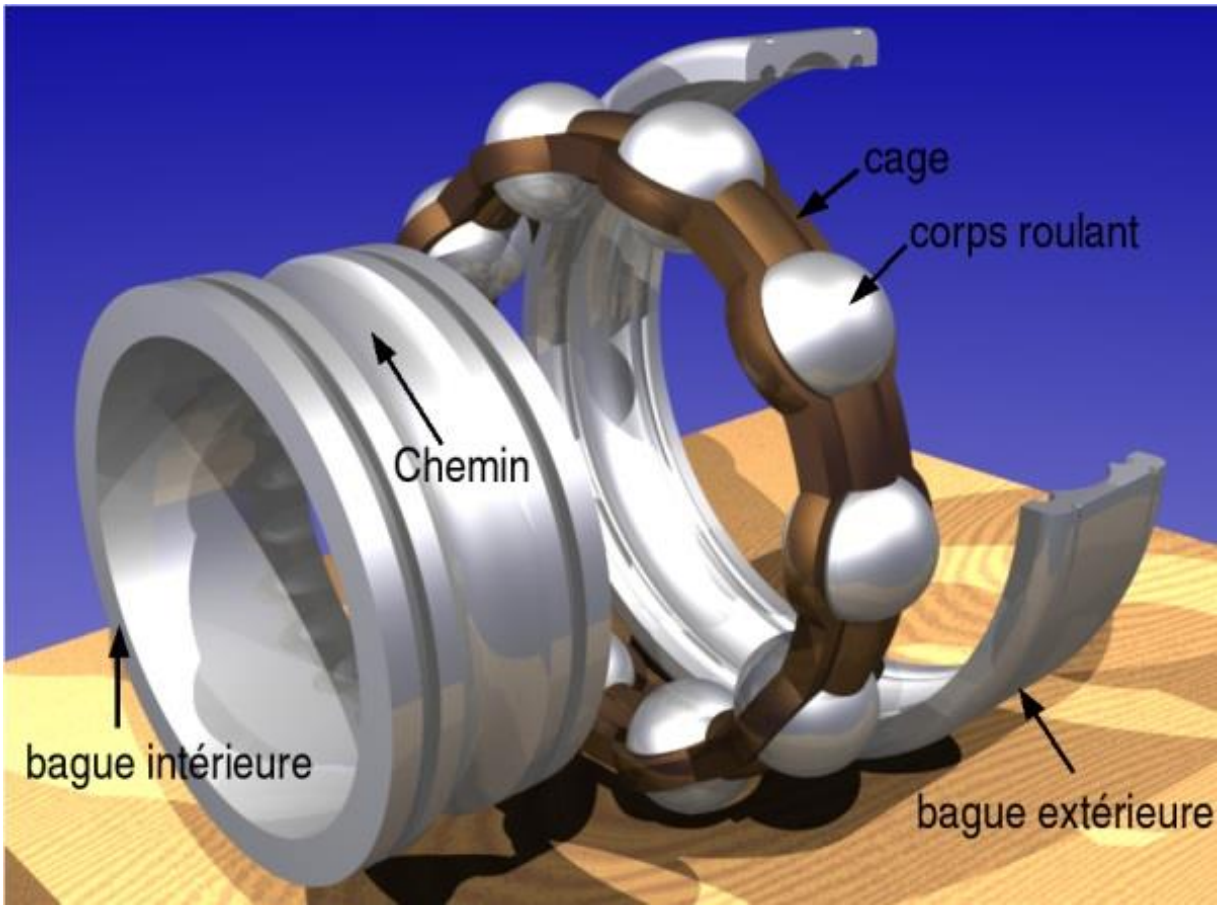
18.8 Réglage du contact 129
18.9 Roue hélicoïdale et vis globique 129
18.10 Roue hélicoïdale et vis de Cavex 130
19 Réducteurs 132
19.1 Réducteurs à engrenages 132
19.2 Installation 132
19.3 Lubrification 132
19.4 Réducteurs à engrenages cylindriques 136
19.5 Réducteur à arbre creux 137
19.6 Bras de réaction et limiteur de couple 138
19.7 Réducteur à arbre creux. Coupe. 139
19.8 Réducteur à arbre creux. Nomenclature des pièces. 140
19.9 Moto-réducteur 141
19.10 Réducteur planétaire 144
19.11 Réducteur à roues coniques à denture spirale 145
19.12 Pompes à engrenage 146
19.13 Réducteur à vis-sans-fin 147
19.14 Réducteur 153
19.15 Renvoi d'angle 154
19.16 Réducteurs à engrenages droits et coniques 155
19.17 Réducteur à vis-sans-fin 156
20 Lubrification 157
20.1 Lubrification des engrenages 157
20.2 But du graissage 157
20.3 Propriétés que doivent posséder les lubrifiants pour engrenages 157
20.4 Modes de lubrification 157
20.5 Elévation de la température 158
20.6 Bruits. Vibrations 158
21 Avaries 159
21.1 Détériorations typiques des dentures d'engrenages 159
22 Bibliographie 163



MÉCANIQUE GÉNÉRALE

ROULEMENTS
BUTÉES
ROULEMENTS ET PALIERS
MONTAGE ET DÉMONTAGE
AVARIES

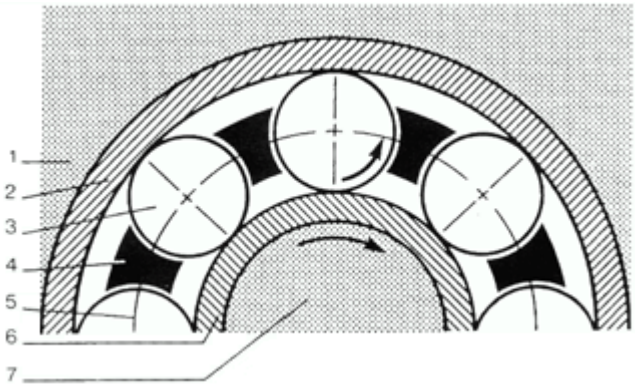
1 Roulements

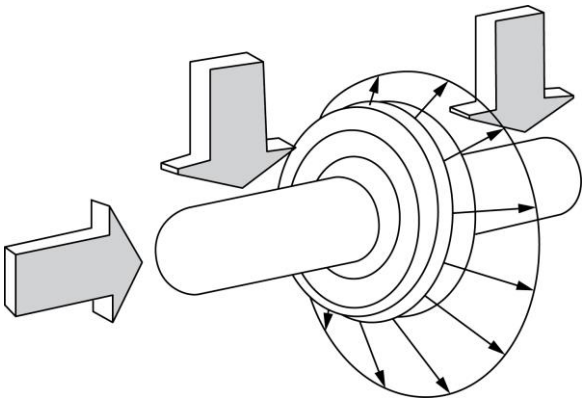


Définition du roulement :

L'origine du mot roulement vient en fait des corps roulants (billes, rouleaux ou aiguilles) qui sont placés entre les deux éléments en rotation et qui permettent le roulement et non plus le frottement. La traduction de roulement en anglais est " bearing ", qui signifie supporter, ce qui est une des fonctions principales du roulement : supporter les charges.

Un roulement est composé de 4 parties principales : la bague extérieure (2), placée dans le logement (1), la bague intérieure (6) fixée à l'axe en rotation (7), les billes ou rouleaux (3) ainsi que la cage (4), partie qui sert à maintenir entre eux les éléments roulants. Le diamètre primitif (5) est l'axe de rotation des billes.

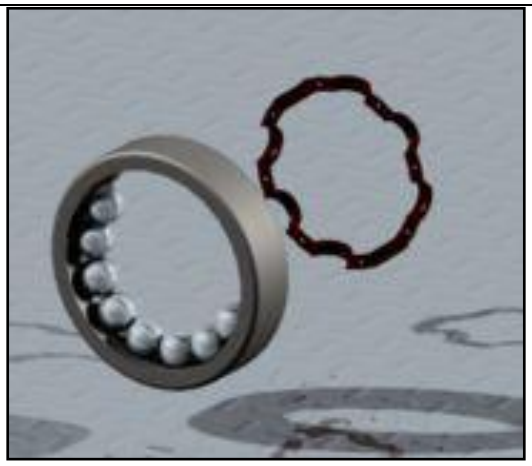




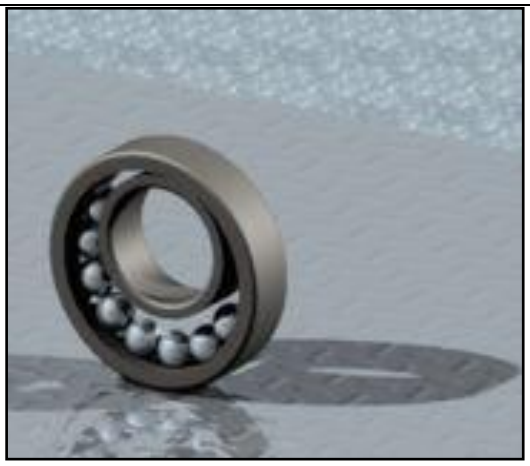
Répartition des charges :

L'une des fonctions essentielles du roulement est de supporter les charges qui lui sont imposées. Il existe 2 types de charges : les charges radiales et les charges axiales. Les charges radiales sont celles dirigées perpendiculairement à l'axe de roulement tandis que les charges axiales sont dirigées selon l'axe de roulement. Il existe également des charges composées, qui associent les deux types de charges : axiales et radiales. On peut donc classer les roulements en 2 catégories : roulements radiaux ou portants pour les roulements ne supportant que des charges radiales, et roulements axiaux ou butées pour ceux ne supportant que des charges axiales. Les roulements supportant les 2 types de charge sont dits obliques. (http://guidageenrotation.free.fr)

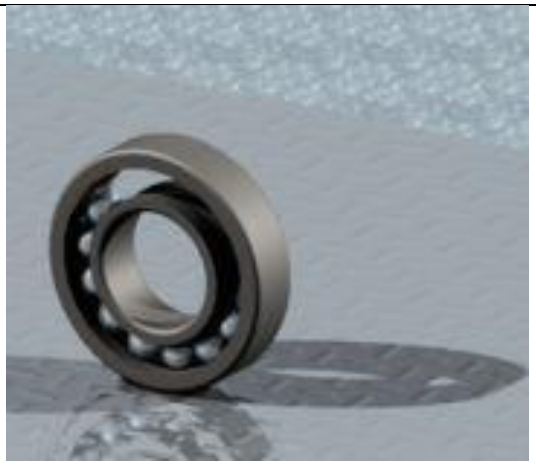
1.1 Assemblage d'un roulement



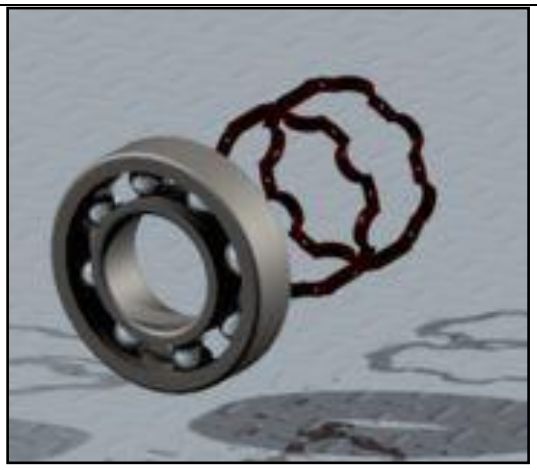
Placement dans la bague extérieure du nombre de billes correspondant au nombre de logements de la cage



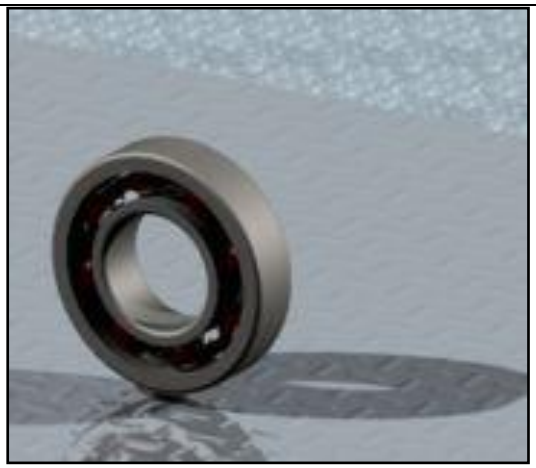
Placement de la bague intérieure



Répartition des billes

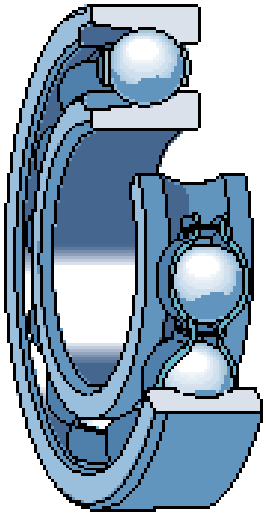
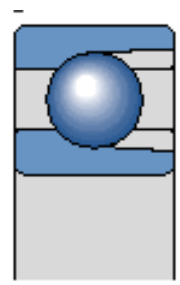
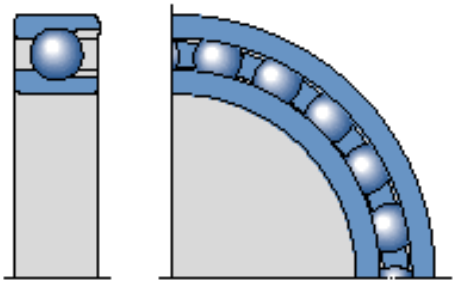
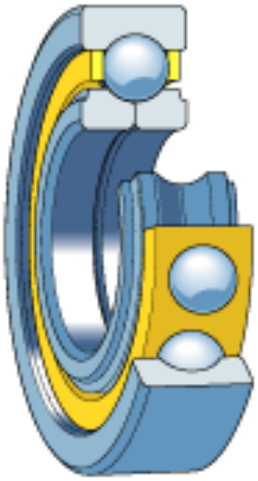


Mise en place de la cage.

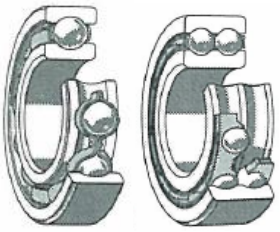


Les deux éléments de la cage sont placés de chaque côté du roulement et sont rivetés à la presse. Puis, on place les protections sur les côtés du roulement. Il peut s'agir de joints d'étanchéité ou de déflecteurs de protection, suivant les roulements. Enfin, les roulements sont lavés et contrôlés

La technique précédente est valable jusqu'à un certain nombre de billes, en effet si on souhaite introduire plus de billes il faut :

	Soit une encoche de remplissage  	Soit une bague intérieure en 2 pièces 

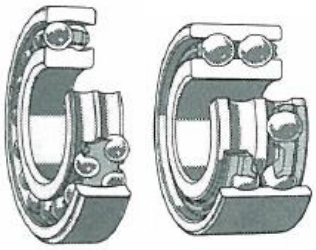
1.2 Différents types de roulements



Roulements rigides à billes :

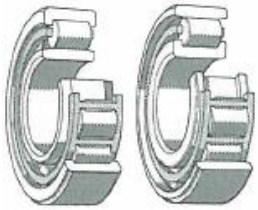
- ✓ À une rangée,
- ✓ À deux rangées.

Roulements à rotule sur deux rangées de billes.

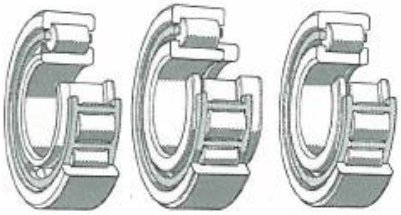


Roulements à billes à contact oblique :

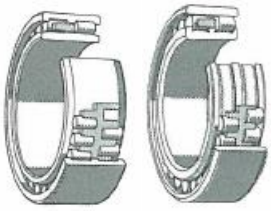
- ✓ À une rangée,
- ✓ À deux rangées.



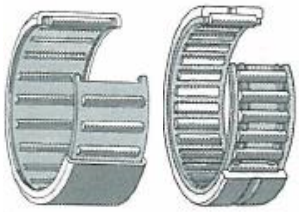
Roulements à rouleaux cylindriques avec cage, à une rangée.



Roulements à rouleaux cylindriques avec bague d'épaulement.

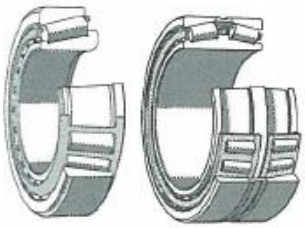


Roulements à rouleaux cylindriques avec cage, à deux rangées.



Roulements à aiguilles, cage à aiguilles.

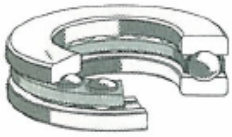
Roulements à rotule sur rouleaux.



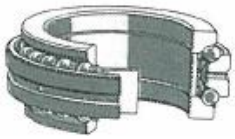
Roulements à rouleaux coniques :

À une rangée,

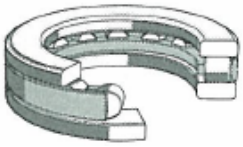
Appariées.



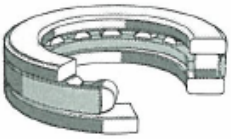
Butées à billes à simple effet.



Butées à billes à double effet.

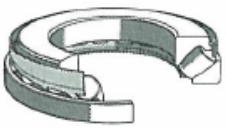


Butées à billes à contact oblique.



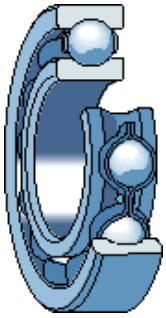
Butées à rouleaux cylindriques.

Butées à aiguilles.



Butées à rotule sur rouleaux.

1.3 Roulements rigides à billes



Les roulements rigides à billes à une rangée ont une conception simple et ne sont pas séparables. Ils admettent des vitesses de rotation élevées et fonctionnent correctement avec un minimum d'entretien. Grâce à la profondeur des gorges, à l'absence d'encoches de remplissage et à l'osculation étroite entre chemins et billes, ces roulements peuvent supporter des charges axiales importantes dans les deux sens, même aux vitesses élevées.

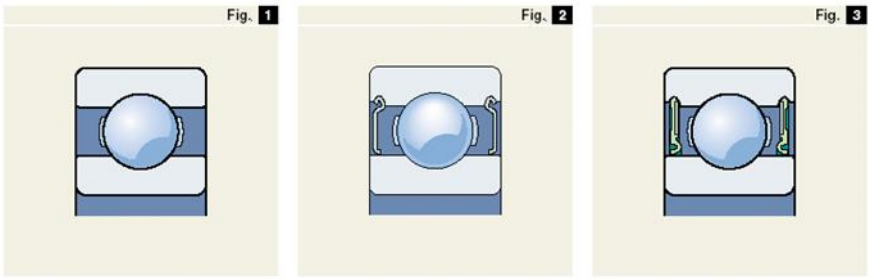
Les roulements rigides à deux rangées de billes ont une conception analogue à celle des roulements à une rangée.

1.3.1 Roulements rigides à billes avec flasques ou joints

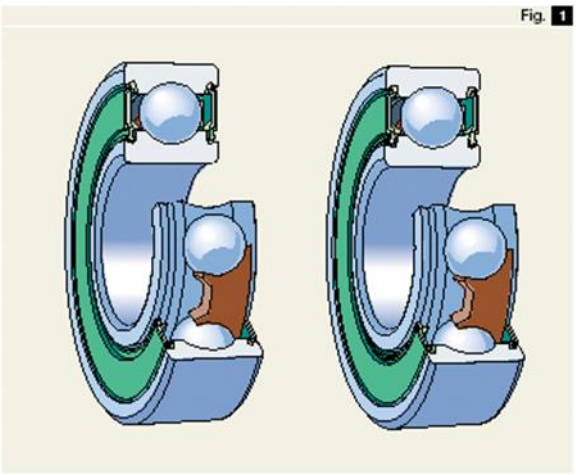
Les roulements rigides à billes à une rangée sont disponibles avec flasques de protection (sans frottement) ou joints d'étanchéité (avec frottement) sur l'un des côtés ou sur les deux. Les flasques métalliques forment un passage étroit au niveau de la surface cylindrique de l'épaulement de la bague intérieure, tandis que les lèvres des joints en caoutchouc synthétique résistant à l'huile et à l'usure viennent en appui sur des chanfreins pratiqués dans la bague intérieure.

Les roulements avec flasques ou joints des côtés sont garnis en usine d'une graisse au lithium. Ils ne nécessitent aucun entretien et ne doivent être ni lavés ni chauffés lors du montage.

Les roulements avec flasques sont en principe destinés à des applications avec bague intérieure tournante dans les cas où la bague extérieure est tournante, il peut exister, à certaines vitesses, des risques de fuites de lubrifiant.



- ✓ Flasques de protection
- ✓ Joint d'étanchéité (pas d'entretien)



1.3.2 Roulements rigides à billes, à rainure pour segment d'arrêt

Les roulements à rainure sur la bague extérieure sont conçus pour être maintenus axialement dans leur logement par un segment d'arrêt, le montage ainsi obtenu est simple et peu encombrant.

1.3.3 Déversement admissible

Les roulements rigides à une rangée de billes n'acceptent que de très légers défauts d'alignement. L'angle de déversement est, dans des conditions normales, compris généralement entre 2 et 10. Il convient de noter que le déversement relatif des bagues entraine une augmentation du niveau de bruit du roulement en rotation.

Dans les roulements à deux rangées, tout déversement soumet les billes et les chemins à une augmentation de charge inacceptable et réduit par conséquent la durée.

1.3.4 Tolérances, jeu interne

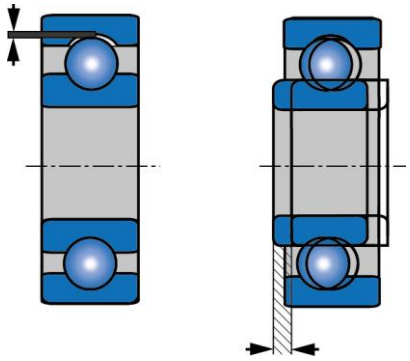
Les roulements rigides à une rangée de billes sont fabriqués en version standard dans la classe de tolérances « normale » et avec jeu radial normal.

Certains roulements en particulier dans les petites dimensions sont fabriqués avec un jeu inférieur ou supérieur au jeu normal et/ou avec une plus grande précision.

Les roulements rigides à deux rangées de billes ne sont fabriqués que dans la classe de tolérances normales et sont livrables en version standard avec un jeu normal.

Roulements rigides à billes

Jeu radial des roulements rigides à billes (extrait tableau), de C1 à C5



Diamètre d'alésage d		Jeu radial C2		Normal		C3		C4		C 5	
Au-dessus de	Jusq. incl.	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
mm		µm									
			6	0	7	2	13	8	23	-	-
6	**10**	0	7	2	13	8	23	14	29	20	37
10	**18**	0	9	3	19	13	26	21	35		
18	**24**	0	10	5	20	13	28	20	36	28	48
24	**30**	1	11	5	20	13	28	23	41	30	53
30	**40**	1	11	6	20	15	33	28	46	40	64
40	**50**	1	11	6	23	18	36	30	51	45	73
50	**65**	1	15	8	28	23	43	38	617	55	90
65	**80**	1	15	10	30	25	51	46	71	65	105
80	**100**	1	18	12	36	30	58	53	84	75	120
100	**120**	2	20	15	41	36	66	61	97	90	140
120	**140**	2	23	18	48	41	81	71	114	102	160
140	**160**	2	23	18	53	46	91	81	130	120	180
160	**180**	2	25	20	61	53	102	91	147	135	200
180	**200**	2	30	25	71	63	117	107	163	150	230
200	**225**	4	32	28	82	73	132	120	187	175	255
225	**250**	4	36	21	92	87	152	140	217	205	290
250	**280**	4	39	36	97	97	162	152	237	255	320

1.3.5 Cages

Les roulements rigides à billes sont équipés de cages en acier, en laiton (ou bronze), en plastique (en tissu bakélisé ou en polyamide).

Fig. 6

Fig. 7

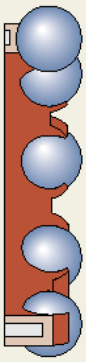
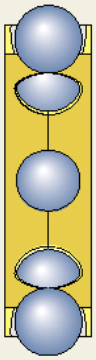


Fig. 8



1.4 Roulements à rotule sur billes

La bague extérieure des roulements à rotule sur billes ne comporte qu'un chemin sphérique pour les deux rangées de billes. L'ensemble bague intérieure-cage-éléments roulants peut donc basculer librement à l'intérieur de la bague extérieure et compenser ainsi, dans une certaine mesure, un défaut d'alignement ou une flexion de l'arbre.

On trouve ces roulements en deux versions, alésage cylindrique et alésage conique. Dans ce dernier cas, un manchon de serrage peut être livré avec le roulement.

Les roulements à rotule sur billes peuvent être livrés avec joints d'étanchéité (à frottement) des deux côtés. Dans ce cas, il faut suivre les mêmes prescriptions que pour les roulements rigides ainsi équipés.

1.4.1 Déversement admissible

Ces roulements admettent, par construction, un léger déversement de la bague intérieure par rapport à la bague extérieure.

1.4.2 Tolérances, jeu interne

Ces roulements sont fabriqués dans la classe de tolérances « normale » et avec jeu normal, mais également avec une plus grande précision ou avec un jeu inférieur ou supérieur.

Jeu radial des roulements à rotule sur billes

Diamètre d'alésage d		**Jeu radial C2**		**Normal**		**C3**		**C4**	
Au-dessus de	Jusq. incl.	min	max	min	max	min	max	min	max
mm		µm							
Roulements à alésage cylindrique									
2,5	**6**	1	8	5	15	10	20	15	25
6	**10**	2	9	6	17	12	25	19	33
10	**14**	2	10	6	19	13	26	21	35
14	**18**	3	12	8	21	15	28	23	37
18	**24**	4	14	10	23	17	30	25	39
24	**30**	5	16	11	24	19	35	29	46
30	**40**	6	18	13	29	23	40	34	53
40	**50**	6	19	14	31	25	44	37	57
50	**65**	7	21	16	36	30	50	45	69
65	**80**	8	24	18	40	35	60	54	83
80	**100**	9	27	22	48	42	70	64	96
100	**120**	10	31	25	56	50	83	75	114
120	**140**	10	38	30	68	60	100	90	135
Roulements à alésage conique									
18	**24**	7	17	13	26	20	33	28	42
24	**30**	9	20	15	28	23	39	33	50
30	**40**	12	24	19	35	29	46	40	59
40	**50**	14	27	22	39	33	52	45	65
50	**65**	18	32	27	47	41	61	56	80
65	**80**	23	39	35	57	50	75	69	98
80	**100**	29	47	42	68	62	90	84	116
100	**120**	35	56	50	81	75	108	100	139

1.4.3 Roulements à rotule sur billes à bague intérieure large

Les roulements à rotule sur billes à bague intérieure large sont utilisés pour des montages simples sur arbres en acier étiré. Des tolérances spéciales sur l'alésage permettent un montage et un démontage facile.

Ces roulements sont fixés axialement à l'aide d'une goupille ou d'une vis sans tête logée dans une encoche.

1.4.4 Cages

Les cages peuvent être en acier, en laiton, en polyamide renforcé de fibres de verre.

1.5 Roulements à billes à contact oblique

Les roulements à billes à contact oblique, à une ou deux rangées, du fait de leur angle de contact (angle de la ligne d'action de la charge avec un plan perpendiculaire à l'axe du roulement) conviennent particulièrement aux cas de charge combinée.

Ces roulements admettent des charges axiales dans un seul sens. Les charges radiales donnent naissance à un effort axial induit, qu'il convient de compenser par une réaction ; pour cette raison, le montage comporte généralement deux roulements en opposition. Ils ne sont pas séparables et peuvent fonctionner à des vitesses relativement élevées.

Les roulements à une rangée de billes à contact oblique sont aussi fabriqués en une version spéciale conçue pour le montage par paire. Ces roulements sont usinés de telle manière qu'en les montants côte à côte, en un sens quelconque, on obtient un jeu prédéterminé ou une répartition de la charge, sans qu'il soit nécessaire d'effectuer un réglage à l'aide de cales d'épaisseur.

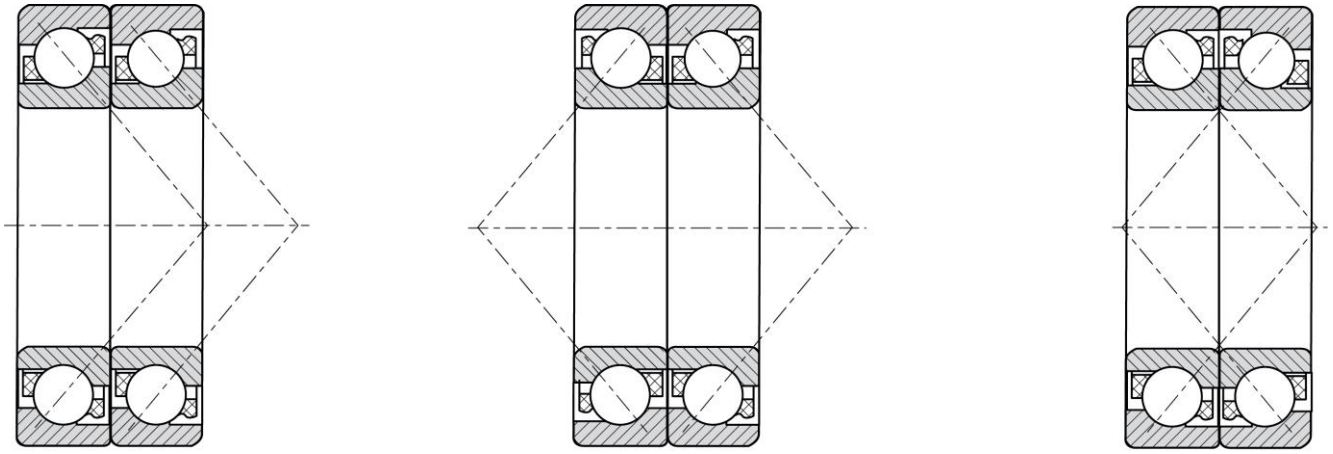
Le montage par paire est utilisé lorsque la capacité d'un seul roulement n'est pas suffisante ou lorsque les charges axiales doivent être reprises dans les deux sens en conservant un jeu axial déterminé. (Respectivement disposition en T et disposition en O ou en X).

Dans la disposition en T, les lignes d'action de la charge sont parallèles. Les charges axiales et radiales se répartissent uniformément sur les deux roulements. L'ensemble ne peut supporter des charges axiales que dans un seul sens.

Dans la disposition en O, l'ensemble admet les charges axiales dans les deux sens. Il possède une bonne rigidité et peut supporter des couples de déversement.

Dans la disposition en X, l'ensemble admet des charges axiales dans les deux sens. Il est moins rigide que dans le cas précédent et résiste moins bien aux couples de déversement.

Roulements appariés

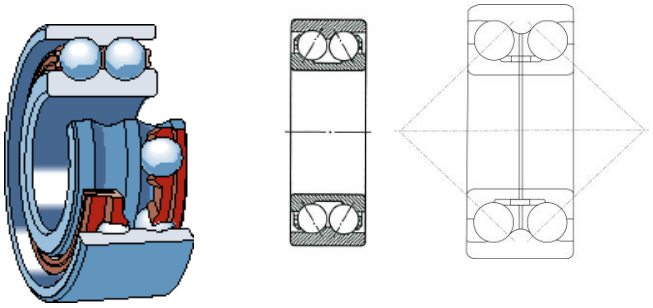


Disposition en T

Disposition en O

Disposition en X

1.5.1 Roulement à deux rangées de billes à contact oblique



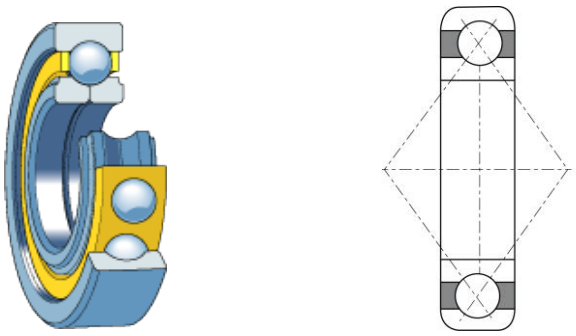
Un roulement à deux rangées de billes à contact oblique remplit la même fonction que deux roulements à une rangée disposée en O, il admet les charges axiales alternées et les couples de déversement. Sa largeur est cependant inférieure à la largeur totale de deux roulements à une rangée.

Les roulements à deux rangées peuvent être livrés en deux exécutions, l'une avec bague intérieure en une pièce, l'autre avec bague intérieure en deux pièces.

Les roulements avec bague intérieure en une pièce sont munis d'encoches de remplissage pour l'une des rangées et doivent être orientés au montage de façon que l'autre rangée supporte la charge axiale prédominante.

Les roulements à bague intérieure en deux pièces sont conçus pour supporter de fortes charges axiales dans les deux sens. Ils sont séparables. On peut donc monter l'ensemble bague extérieure-cage-éléments roulants indépendamment de la bague intérieure.

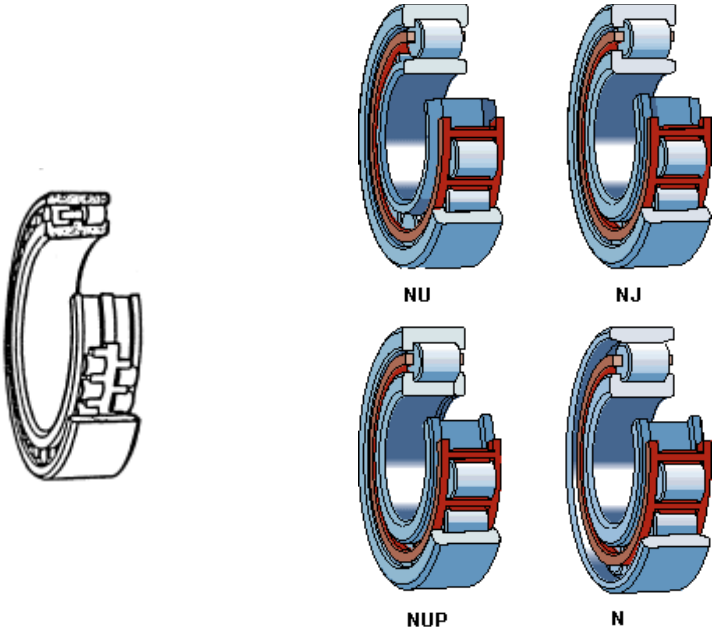
1.5.2 Roulements à quatre points de contact



Les roulements à quatre points de contact sont des roulements à une rangée de billes à contact oblique conçus pour supporter des charges axiales dans les deux sens. Leur bague intérieure est en deux pièces ; cette particularité permet d'introduire un grand nombre de billes dans le roulement qui, de ce fait, possèdent une capacité élevée. Ces roulements sont séparables ; on peut donc monter l'ensemble bague extérieure-cage-éléments roulants indépendamment de la bague intérieure.

Les roulements à quatre points de contact sont conçus pour supporter essentiellement des charges axiales. Ils sont montés dans de nombreuses applications comme des butées avec jeu radial dans le logement. Sur tous les roulements de diamètre extérieur égal ou supérieur à 160 mm, la bague extérieure comporte deux encoches l'empêchant de tourner.

1.6 Roulements à rouleaux cylindriques



Les différents types sont caractérisés par le nombre et la position des épaulements.

Parmi ces roulements, on en trouve à une, deux ou plusieurs rangées de rouleaux.

Les éléments roulants sont guidés axialement par les épaulements fixes de l'une des deux bagues, l'autre dite libre pouvant être séparée de l'ensemble bague épaulée – cage et rouleaux. Cette propriété facilite beaucoup les opérations de montage et de démontage, notamment lorsque les conditions de charge exigent un ajustement serré de deux bagues.

Les roulements de type NU ont deux épaulements fixes sur la bague intérieure et une bague extérieure sans épaulements. Ils admettent donc, dans une certaine mesure, un déplacement axial d'une bague par rapport à l'autre et sont par conséquent comme palier libre.

Les roulements de type N ont deux épaulements sur la bague intérieure et la bague extérieure sans épaulements.

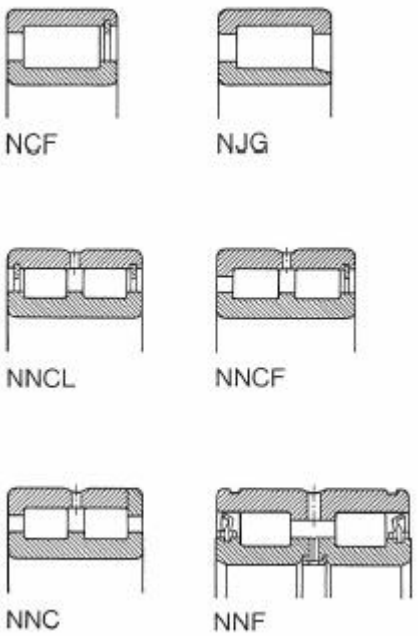
Les roulements à rouleaux cylindriques NJ ont deux épaulements fixes sur la bague extérieure et un épaulement sur la bague intérieure ; ils ne peuvent donc guider l'arbre que dans un sens.

Les roulements à rouleaux cylindriques NUP ont également deux épaulements fixes sur la bague extérieure. La bague intérieure a un épaulement fixe d'un côté et un épaulement rapporté de l'autre. Ils peuvent donc guider l'arbre dans les deux sens.

Les cages sont en tôle en acier ou en laiton ou encore en polyamide moulé par injection.

1.7 Roulements à rouleaux cylindriques jointifs

Les roulements à rouleaux cylindriques jointifs possèdent un nombre maximal de rouleaux et ont une très forte capacité de charge. Mais en raison de l'absence de cage, ils n'ont pas les mêmes possibilités de vitesse que les roulements conventionnels.



1.7.1 Roulements à une rangée

Ils sont fabriqués selon deux exécutions.

Le roulement type NCF a deux épaulements fixes sur la bague intérieure et un épaulement fixe sur la bague extérieure et peut donc être utilisé pour maintenir l'arbre axialement dans un sens. Un segment d'arrêt inséré

dans une rainure du côté sans épaulement de la bague extérieure évite au roulement de se désassembler et le rend non séparable.

Le roulement du type NJC diffère des autres séries en ce qu'il est séparable. La bague extérieure qui a deux épaulements fixes, et l'ensemble des rouleaux peuvent être retirés de la bague intérieure qui ne possède qu'un épaulement fixe. Ceci facilite le montage et le démontage.

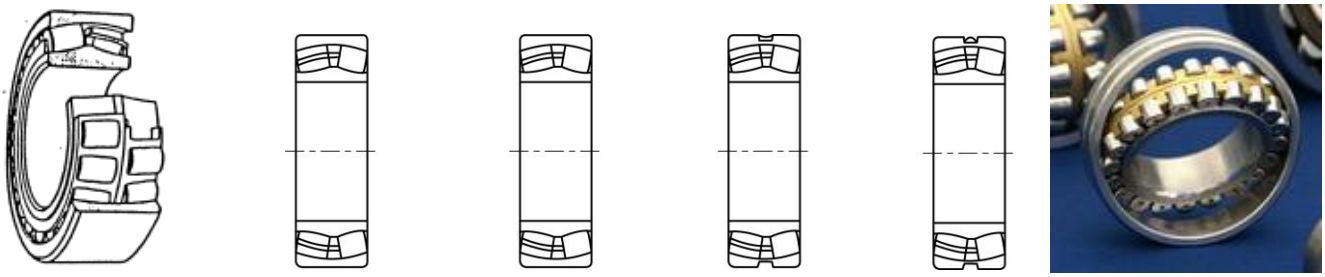
1.7.2 Roulements à deux rangées

Il existe plusieurs conceptions de ces roulements. La figure de droite montre un roulement du type NNF étanche et garnis d'une graisse appropriée.

1.7.3 Déversement admissible

Le roulement à une rangée autorise un déversement de 2°; le roulement à deux rangées n'admet aucun déversement.

1.8 Roulements à rotule sur rouleaux



Les roulements à rotule sur rouleaux comportent deux rangées de rouleaux avec un chemin de roulement sphérique commun dans la bague extérieure. L'ensemble bague intérieure-cage-éléments roulants peut donc basculer librement à l'intérieur de la bague extérieure et compenser ainsi, dans une certaine mesure, un défaut d'alignement ou une flexion de l'arbre.

En plus des charges radiales, le roulement peut également admettre des charges axiales dans les deux sens.

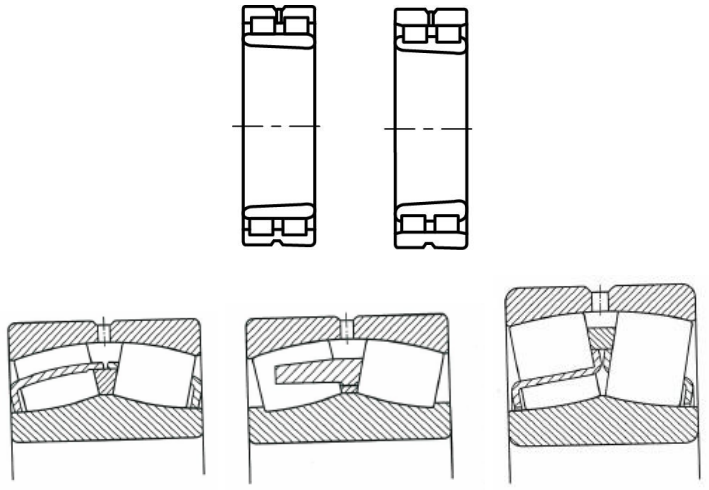
Les roulements à rotule sur rouleaux sont fabriqués avec alésage cylindrique ou conique. (Ils n'ont pas tous la même conicité).

1.8.1 Déversement admissible

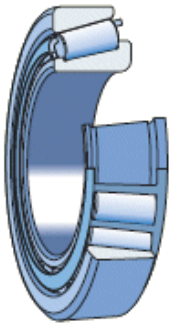
Ces roulements admettent par construction un léger déversement de la bague extérieure par rapport à la bague intérieure. La conception du montage, le type d'étanchéité, etc. déterminent néanmoins si la capacité d'auto-alignement peut être entièrement utilisée.

1.8.2 Variantes de construction

Ces roulements peuvent comporter différents types de cages. Des roulements d'une certaine exécution ont des rouleaux forés ainsi que des épaulements latéraux sur la bague intérieure.



1.8.3 Roulements à rouleaux coniques



On trouve une large gamme de roulements à une, deux ou quatre rangées de rouleaux coniques.

Les roulements à rouleaux à contact coniques, étant donné leur angle de contact, conviennent particulièrement aux cas de charge combinée. Ils sont séparables. Les génératrices des chemins et des rouleaux ne sont pas absolument rectilignes ; le contact linéaire modifié ainsi obtenu permet d'éviter les charges de bord.

1.8.4 Déversement admissible

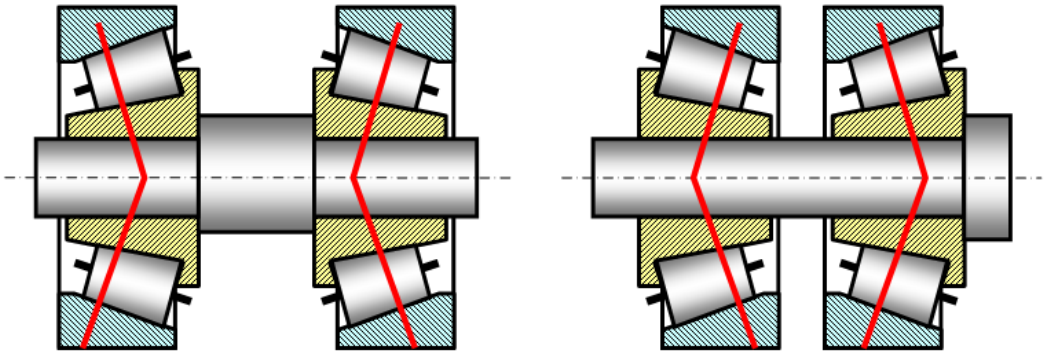
Grâce au contact linéaire modifié, ces roulements admettent un léger déversement de la bague extérieure par rapport à la bague intérieure. Dans des conditions normales de fonctionnement, la valeur admissible de l'angle de déversement est de l'ordre de 2°.

1.8.5 Jeu interne

Le jeu interne des roulements à une rangée de rouleaux coniques résulte du réglage réalisé au montage.

Le jeu axial des roulements appariés est déterminé par l'entretoise placée entre les deux bagues extérieures.

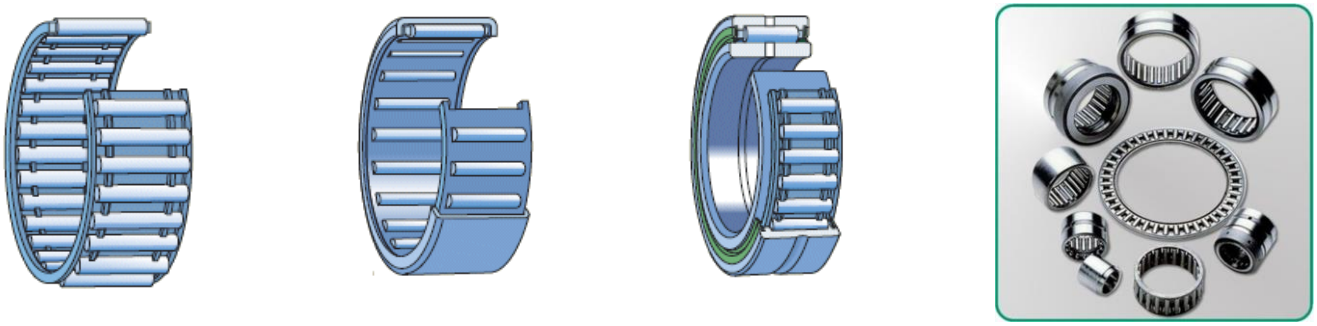
1.8.6 Montage en X et en O



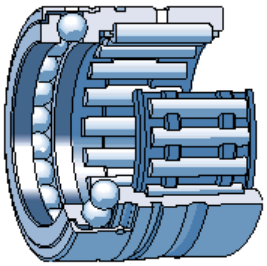
Montage en X (><)

Montage en O (<>)

1.9 Roulements à aiguilles

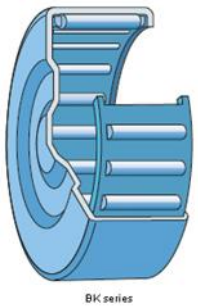
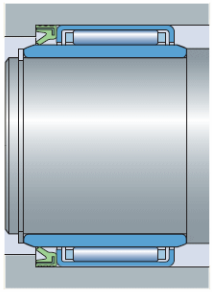
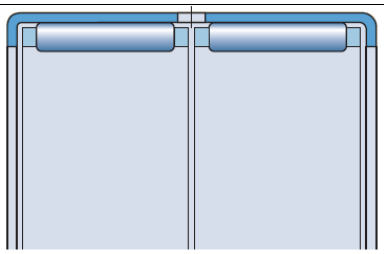
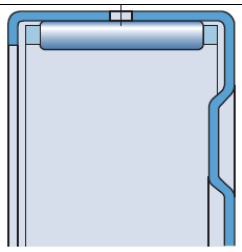


Ces roulements sont assez particuliers. Ils ont une forme très allongée, ce qui leur permet de supporter de fortes charges radiales dans un encombrement très réduit mais ils n'acceptent aucune charge axiale. Seuls les roulements combinés, composés d'une buté à aiguilles et d'une cage à aiguilles, supportent les deux charges à la fois.



Ils sont parfois combinés avec une butée pour supporter des charges axiale

1.9.1 Variantes

 Roulement à aiguilles avec une extrémité fermée	 roulement à aiguilles combinés avec une bague intérieure et une étanchéité extérieure
 roulement à aiguilles, double rangée, avec un trou de lubrification	 roulement à aiguilles combinés avec un palier de butée à aiguilles, AXW série

2 Butées

2.1 Butées à billes

2.1.1 Butées à billes à simple effet

Les butées à billes à simple effet sont destinées à supporter des charges axiales et à maintenir l'arbre dans un seul sens. Elles ne doivent pas être soumises à des charges radiales.

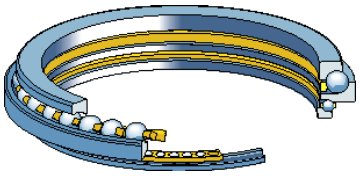
Les butées à billes à simple effet comportent une rondelle-arbre, une rondelle-logement avec surface d'appui plane ou sphérique et un ensemble de billes maintenues par une cage.

Ces butées sont séparables ; on peut donc monter facilement les deux rondelles indépendamment l'une de l'autre.

2.1.2 Butées à billes à double effet

Les butées à billes à double effet peuvent supporter des charges axiales et fixer l'arbre dans les deux sens. Elles n'admettent pas de charges radiales.

Elles comportent une rondelle-arbre, deux rondelles-logement à surface d'appui plane ou sphérique et deux ensembles cage-billes. Elles sont séparables.



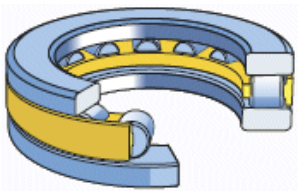
2.1.3 Déversement admissible

Les butées à billes à surface plane n'acceptent aucun défaut d'alignement entre l'arbre et le logement ni aucun voile des épaulements d'appui. Les butées à surface sphérique sont généralement munies d'une contreplaque présentant une sphéricité correspondante et peuvent donc compenser certains défauts d'alignement entre l'arbre et le logement.

2.1.4 Cages

En tôle d'acier emboutie ou massive en laiton.

2.2 Butées à rouleaux cylindriques



Les butées à rouleaux cylindriques assurent des montages rigides, capables de supporter de très fortes charges axiales.

Elles comprennent une rondelle-arbre, une rondelle-logement et une cage à rouleaux. On peut aussi utiliser uniquement la cage à rouleaux, lorsque les éléments de machine voisins sont susceptibles de servir de chemins de roulement et qu'ils peuvent être trempés et rectifiés.

2.2.1 Déversement admissible

Ces butées n'admettent aucun déversement de l'arbre par rapport au logement.

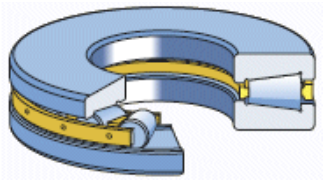
2.2.2 Conception des éléments adjacents

Les surfaces d'appui dans le logement et sur l'arbre doivent être orthogonales à l'arbre et soutenir les rondelles des butées sur toute la zone du chemin de roulement.

2.2.3 Cages

Les cages à rouleaux cylindriques sont généralement centrées sur l'arbre afin d'obtenir des vitesses de glissement minimales. Les surfaces de guidage doivent être rectifiées.

2.3 Butées à rouleaux coniques

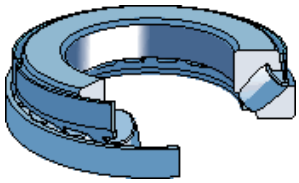


Les butées à rouleaux coniques présentent les avantages suivants : forte capacité de charge axiale et possibilité de supporter des charges radiales relativement importantes (jusqu'à la moitié des charges axiales).

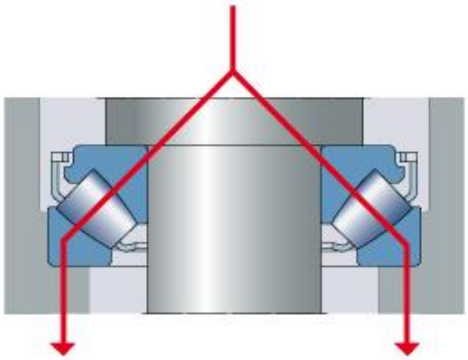
2.3.1 Déversement admissible

Elle autorise également un désalignement de 0,5° de l'axe de rotation par rapport au reste du mécanisme.

2.4 Butées à rotule sur rouleaux



Dans les butées à rotule sur rouleaux, la ligne d'action de la charge entre chemins et rouleaux forme un angle avec l'axe de la butée. Contrairement aux autres butées, les butées à rotule sur rouleaux peuvent admettre des charges radiales. L'autre caractéristique fondamentale de ces butées est leur capacité d'auto-alignement qui les rend relativement insensibles aux déversements de l'arbre par rapport au logement provoqués par la flexion de l'arbre.

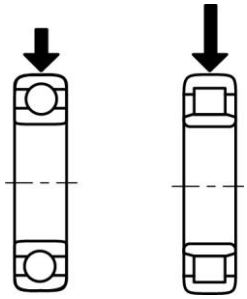


Les butées à rotule sur rouleaux sont séparables ; l'ensemble rondelle-arbre, cage-rouleaux peut être monté indépendamment de la rondelle logement.

2.4.1 Lubrification

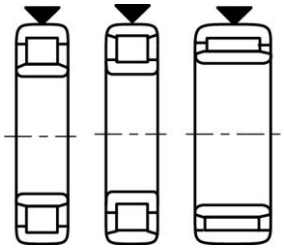
En raison de leur construction interne, les butées à rotule sur rouleaux doivent être lubrifiées à l'huile. Dans certains cas exceptionnels seulement et à vitesse réduite, il est possible d'utiliser également la graisse.

3 Paramètres de choix des roulements



Intensité de la charge

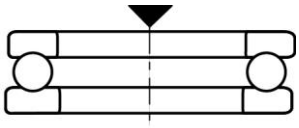
La charge détermine la taille du roulement. Lorsque les charges sont faibles ou moyennes on utilise le plus souvent des roulements à billes, tandis que pour les charges élevées, particulièrement dans le cas de grands diamètres d'arbre, on choisit des roulements à rouleaux.



Direction de la charge

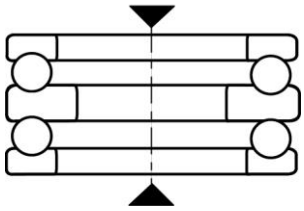
Charge radiale

Les roulements à rouleaux cylindriques ayant une bague sans épaulement et les roulements à aiguilles ne peuvent être soumis qu'à des charges rigoureusement radiales. Tous les autres types de roulements radiaux peuvent supporter une charge axiale, outre la charge radiale.



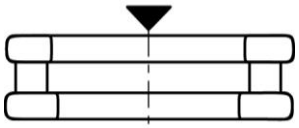
Charge axiale

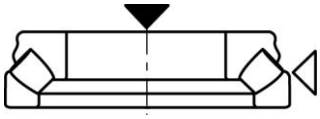
Les butées à billes ne conviennent que pour des charges rigoureusement axiales et d'intensité modérée, agissant dans un seul sens quand elles sont à simple effet, dans les deux sens quand elles sont à double effet.

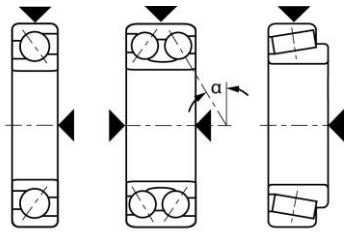


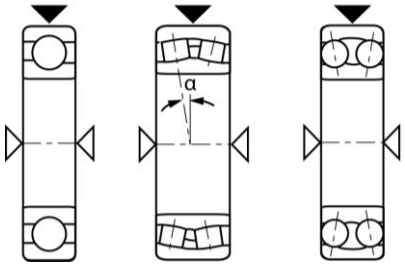
Les butées à rouleaux cylindriques et les butées à aiguilles peuvent supporter des charges axiales élevées, dans un seul sens.

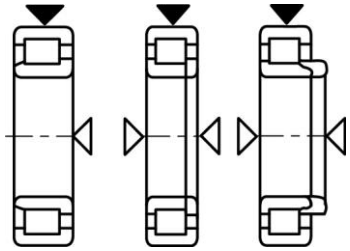
Les butées à rotule sur rouleaux peuvent supporter dans une certaine mesure des charges radiales en plus de poussées axiales très élevées.

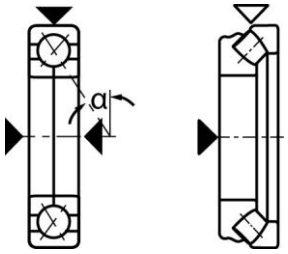












Charge combinée

On appelle charge combinée la résultante d'une charge radiale et d'une charge axiale.

La capacité axiale d'un roulement est déterminée essentiellement par son angle de contact et elle croît avec la valeur de celui-ci.

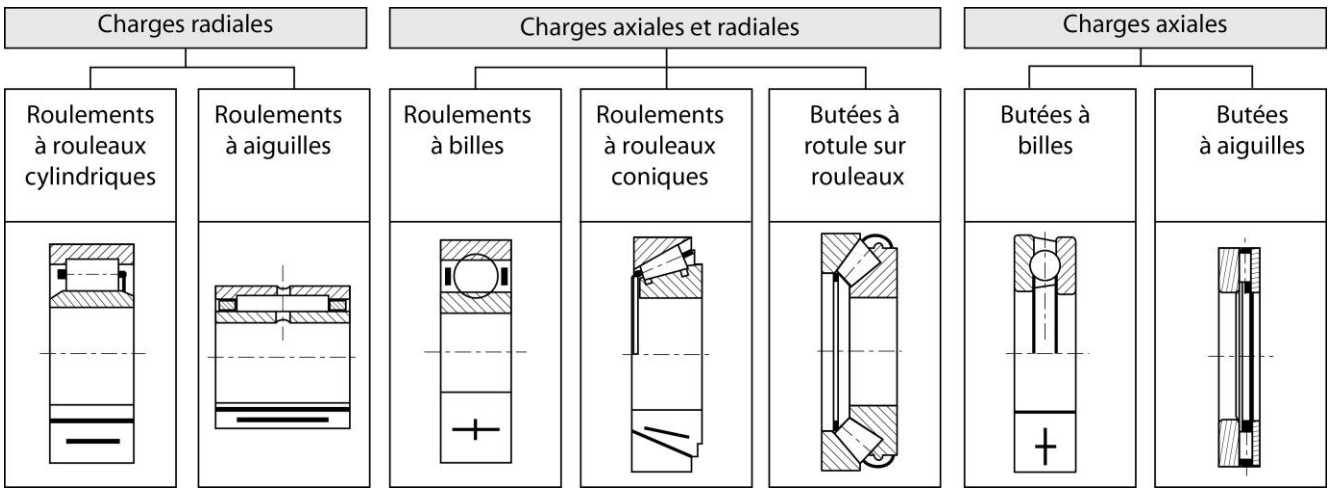
Dans les montages soumis à une charge combinée, on utilise surtout des roulements à une ou deux rangées de billes à contact oblique ou des roulements à rouleaux coniques, mais aussi des roulements rigides à billes ou des roulements rigides à billes ou des roulements à rotule sur deux rangées de rouleaux.

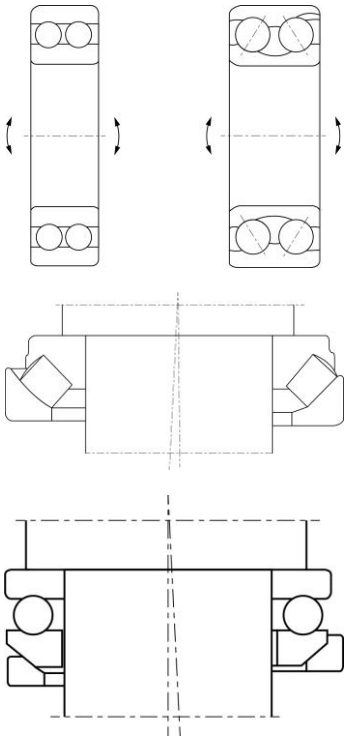
Les roulements à rotule sur billes et les roulements à rouleaux cylindriques peuvent dans certains cas également convenir.

Lorsque la poussée axiale prédomine, on peut utiliser des roulements à quatre points de contact ou des butées à rotule sur rouleaux.

Les roulements à une rangée de billes à contact oblique, les roulements à une rangée de rouleaux coniques, les roulements à rouleaux cylindriques (type NJ) et les butées à rotule sur rouleaux ne peuvent supporter des charges axiales que dans un sens.

Lorsque, dans le cas d'une charge combinée, la composante axiale est relativement importante, elle peut être reprise séparément par une butée ou par un roulement approprié, un roulement rigide à billes ou à quatre points de contact par exemple. Afin qu'un tel roulement ne soit réellement soumis qu'à un effort axial, il faut le monter avec jeu radial dans son logement.

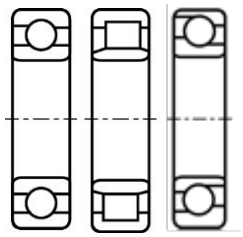




Défaut d'alignement

Si l'arbre fléchit sous charge, ou si les logements, bien que réalisés dans une même pièce, sont usinés au cours d'opérations différentes, ou encore si le montage comporte des paliers indépendants, les axes des portées d'arbre et des logements peuvent ne pas être rigoureusement parallèles. On utilise alors des roulements à alignement automatique : roulements à rotule sur deux rangées de billes, roulements à rotule sur deux rangées de rouleaux, butées à rotule sur rouleaux.

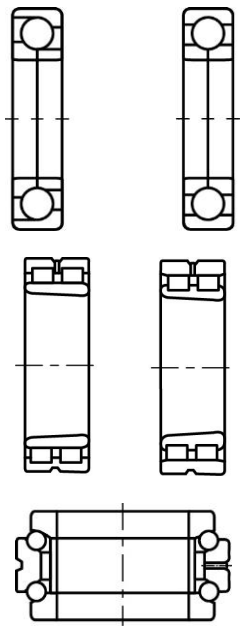
Les butées à billes à rondelles-logement sphériques et contreplaques peuvent compenser des défauts d'alignement entre les portées d'arbre et de logement, résultant de l'usinage ou du montage.



Vitesse de rotation

La vitesse de rotation des roulements est limitée par la température maximale de fonctionnement admissible. Les roulements à faible couple de frottement donnent lieu à un dégagement de chaleur peu important et conviennent donc mieux aux vitesses de rotation élevées.

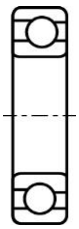
Les roulements rigides à billes et les roulements à rouleaux cylindriques permettent d'obtenir les meilleures performances sous charges radiales, et les roulements à billes à contact oblique sous charge combinée.



Précision

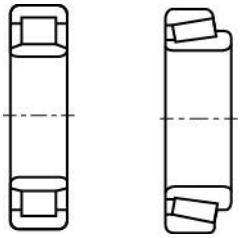
Pour les arbres qui, telles les broches de machines-outils, doivent avoir une grande exactitude de rotation, ainsi que pour la majorité des applications à vitesse élevée, on utilise des roulements d'une précision supérieure à la normale.

La gamme de roulements destinés aux applications de précision comprend notamment des roulements à une rangée de billes à contact oblique, des roulements à deux rangées de rouleaux cylindriques, des roulements à rouleaux coniques, des roulements à rouleaux coniques croisés et des butées à deux rangées de billes à contact oblique.



Silence de fonctionnement

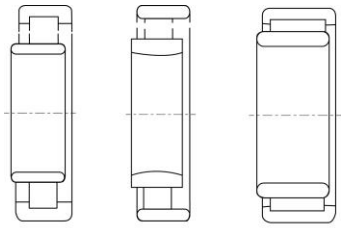
Lorsque les exigences sont sévères, on recourt surtout à des roulements rigides à billes.



Rigidité

Les déformations élastiques qui se produisent dans un roulement sous charge sont négligeables pour la plupart des applications ; il faut cependant en tenir compte dans certains cas.

Par suite des conditions de contact entre éléments et chemins, les roulements à rouleaux (cylindriques ou coniques) ont une plus grande rigidité que les roulements à billes.

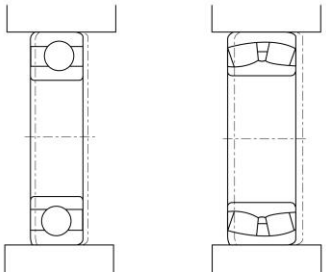


En préchargeant un roulement, on peut en augmenter la rigidité.

Possibilité de déplacement axial

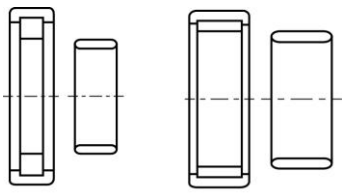
Le montage d'un arbre comporte généralement un palier fixe qui assure le maintien axial et un palier libre.

Les paliers libres permettent un déplacement axial relatif entre arbre et logement de façon à éviter un coincement thermique de l'arbre.



Les roulements à rouleaux cylindres ayant une bague sans épaulement et les roulements à aiguilles conviennent le mieux pour les paliers libres.

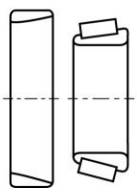
Si un roulement non séparable doit faire fonction de palier libre, l'une de ses bagues devra être montée à ajustement glissant.

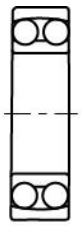


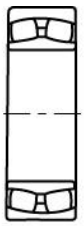
Montage et démontage

Alésage cylindrique

Les deux bagues d'un roulement séparable (roulement à rouleaux cylindriques, roulements à aiguilles, roulements à rouleaux coniques) peuvent généralement être montées ou démontées séparément. Pour des raisons de commodité, on préfère donc ces types de roulements aux autres, surtout si des ajustements serrés sont nécessaires à la fois sur l'arbre et dans le logement ou si les démontages risquent d'être fréquents.

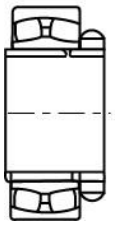


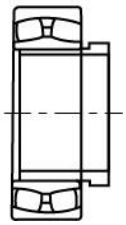




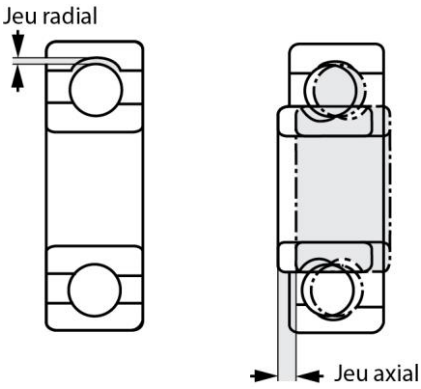
Alésage conique

Le montage et le démontage des roulements à alésage conique se fait très facilement avec, dans le cas d'une portée cylindrique, interposition d'un manchon de serrage ou de démontage.





Jeu interne



On entend par jeu interne d'un roulement le déplacement relatif sous charge nulle d'une bague par rapport à l'autre. Lorsque ce déplacement a lieu dans le sens radial, on parle de jeu radial. Lorsque ce déplacement a lieu dans le sens axial, on parle de jeu axial.

Il convient de distinguer, d'une part, le jeu d'un roulement avec montage et d'autre part, le jeu de fonctionnement, c'est-à-dire le jeu obtenu après montage dans les conditions réelles de service.

Le jeu avant montage est toujours plus grand que le jeu de fonctionnement car les bagues intérieure et extérieure, respectivement, se dilatent ou se contractent sous l'effet du serrage éventuel dû à leur ajustement et aussi en raison des différences de température des bagues et des éléments voisins.

La valeur du jeu radial revêt une importance primordiale pour le fonctionnement correct d'un roulement. En règle générale, on peut dire que les roulements à billes doivent avoir un jeu à peu près nul en fonctionnement ; même une légère précharge n'a généralement aucune suite fâcheuse. En revanche, les roulements à rouleaux doivent, en principe, toujours conserver en fonctionnement un certain jeu même très faible. Toutefois, les roulements à rouleaux coniques utilisés pour les montages particulièrement rigides doivent être montés avec une certaine précharge.

Le jeu dit normal d'un roulement avant montage est calculé de façon que, sous l'effet des ajustements généralement recommandés et dans des conditions d'utilisation normales, il subsiste après montage le jeu de fonctionnement requis. Cependant, des conditions particulières (montage des deux bagues à ajustement serré, températures exceptionnelles) peuvent conduire au choix d'un jeu radial plus petit ou plus grand que le jeu normal.

Il convient de vérifier le jeu résiduel après montage. La désignation des roulements ayant un jeu autre que le jeu normal comporte l'un des suffixes C1 à C5.

Matière

Les bagues et les éléments roulants sont fabriqués à partir d'aciers alliés au chrome. Ils reçoivent un traitement thermique qui leur confère une dureté comprise habituellement suivant le type entre 58 et 65 HRc.

Cages

La cage a pour fonction principale d'empêcher le contact direct entre les éléments roulants. Dans de nombreux types de roulements à rouleaux, elle en assure aussi le guidage. En outre, dans les roulements à rouleaux du type séparable, elle retient les éléments roulants afin qu'ils ne puissent tomber lors du montage et du démontage.

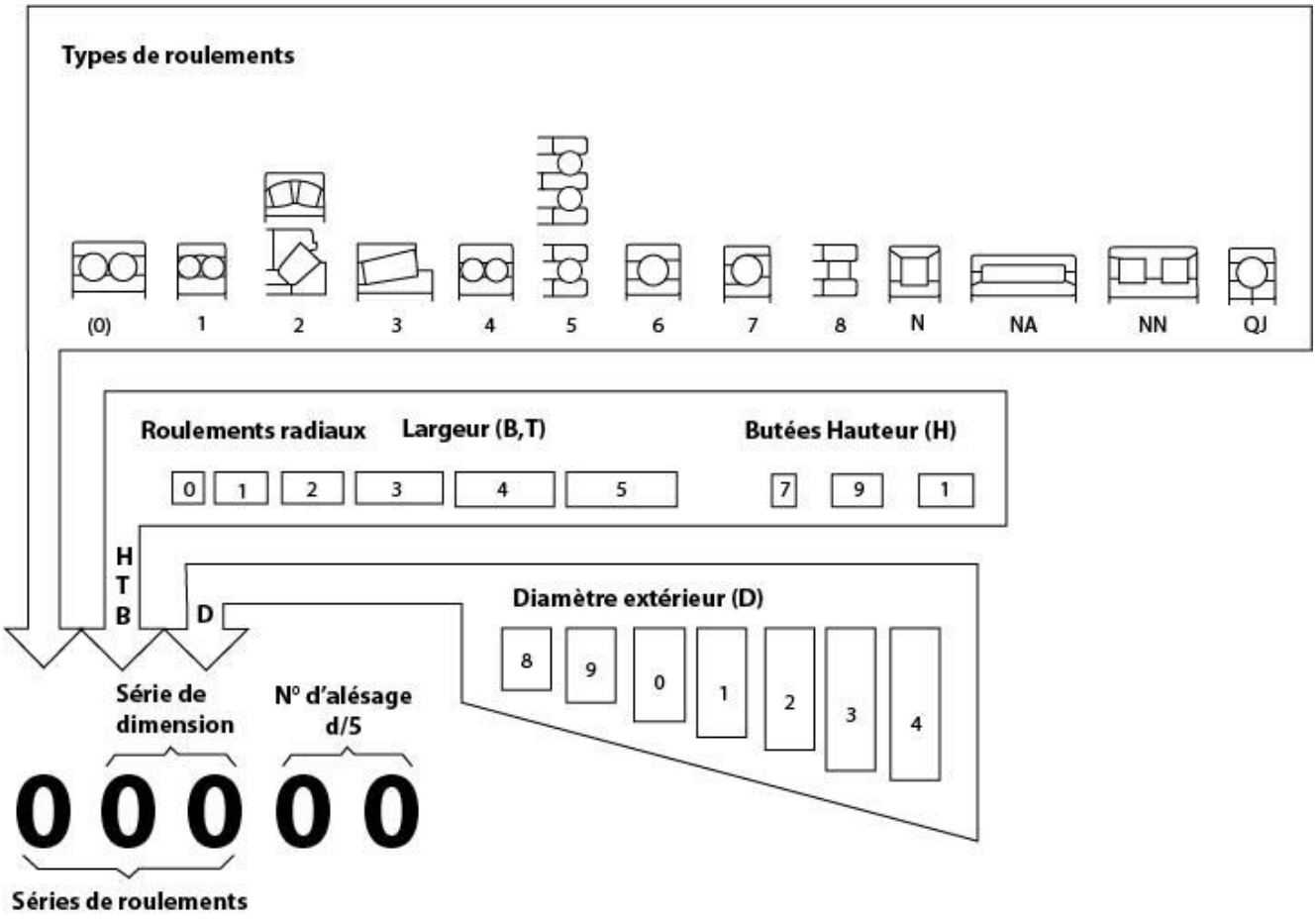
Pour les roulements de petites ou moyennes dimensions, la cage normale est en général emboutie en tôle d'acier ou de laiton. Elle est légère et résistante. Cependant, les cages plastiques moulées par injection sont de plus en plus utilisées, en particulier dans les roulements rigides à deux rangées de billes, les roulements à rotule sur billes et les roulements à rouleaux cylindriques. Les propriétés spécifiques des matières plastiques, notamment leur faible densité, leur grande élasticité, leurs bonnes caractéristiques de glissement, etc. les rendent particulièrement adaptées à la fabrication des cages et les techniques de moulage par injection permettent d'obtenir des formes sophistiquées. La plupart des cages plastiques sont en polyamide renforcé de fibre de verre, stabilisé à la chaleur. Les cages de ce type peuvent être utilisées sans limite dans une plage de températures comprises entre -40 et +120°C. Les lubrifiants généralement utilisés pour les roulements n'ont pas d'influence défavorable sur les propriétés des cages, excepté quelques huiles synthétiques ou graisses à base d'huile synthétique et divers lubrifiants contenant une forte proportion d'additifs EP.

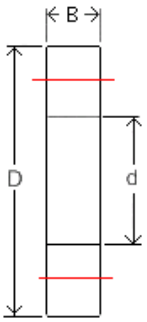
En général, les roulements de grandes dimensions reçoivent des cages massives, le plus souvent en laiton, mais parfois aussi en fonte à graphite sphéroïdal ou en alliage léger.

Les roulements à rouleaux jointifs qui n'ont pas de cage sont à envisager lorsqu'une capacité de charge maximale est nécessaire à vitesse faible ou modérée.

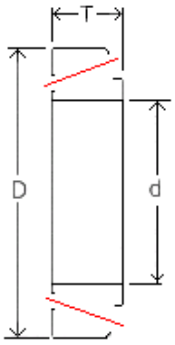
4 Désignation des roulements

Système de désignation de base des roulements

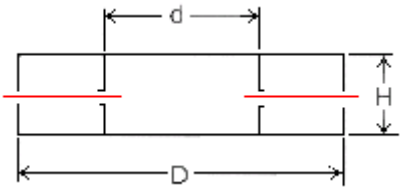




Roulement radial



Roulement à rouleaux coniques



Butée

Types

0 Roulement à billes à contact oblique double rangée

1 Roulement rotule à billes

2 Roulement rotule à rouleaux et butée rotule à rouleaux

3 Roulement à rouleaux coniques

4 Roulement à billes à gorges profondes et double rangée

5 Butées à billes

6 Roulement à billes à gorges profondes simple rangée

7 Roulement à billes à contact oblique simple rangée

8 Butée à rouleaux cylindriques

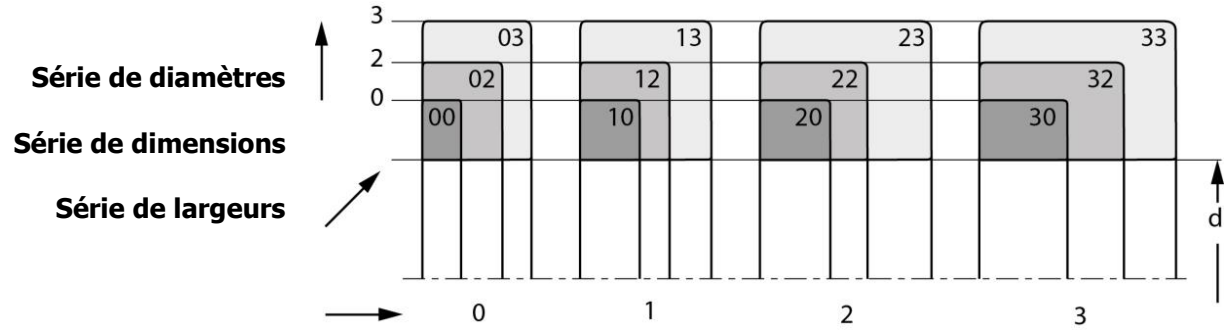
N Roulement à rouleaux cylindriques simple rangée

NA Roulement à aiguilles

NN Roulement à rouleaux cylindriques double rangée

QJ Roulement à billes à 4 points de contact

Exemple désignation roulement:



Désignation sur le roulement:

6 1 9 0 8

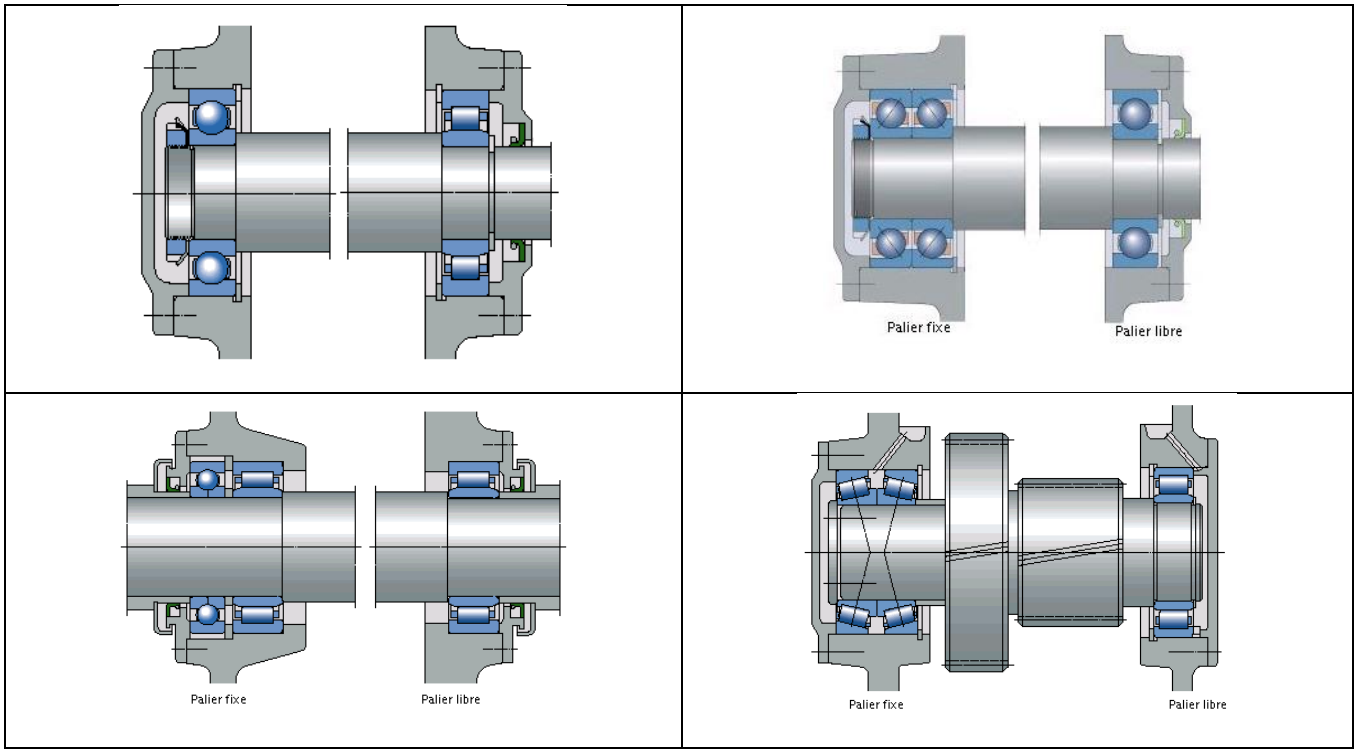
Soit : 6 = type de roulement : rigide à billes

19 = série de dimensions : diamètre extérieur D = 62mm

largeur B = 12mm

08 = d/5 = diamètre d'alésage d = 40mm

5 Disposition des roulements



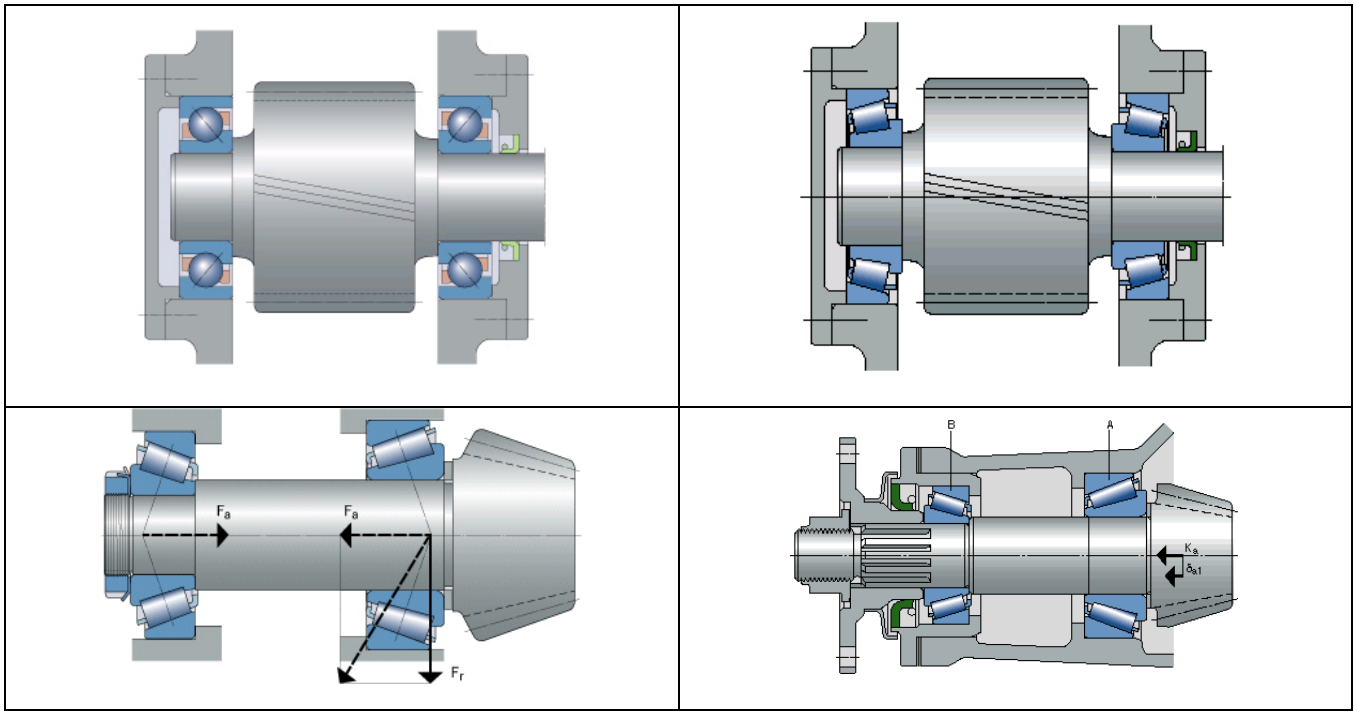
Le montage d'un élément de machine tournante, un arbre par exemple, nécessite en principe deux paliers, l'un fixe et l'autre libre qui supportent cet élément et le guident radialement et axialement par rapport à un élément fixe.

Le palier fixe assure, en plus du guidage radial, le maintien axial dans les deux sens. Il doit donc être immobilisé latéralement sur l'arbre et dans le logement. On utiliser pour le palier fixe les roulements radiaux qui admettent des charges combinées notamment les roulements rigides à billes, roulements à rotule sur rouleaux, roulements à deux rangées de billes à contact oblique ou à une rangée appariés, roulements à rouleaux coniques.

Un roulement radial conçu pour des charges purement radiales, tel qu'un roulement à rouleaux cylindriques dépourvu d'épaulement sur une des bagues, peut également être utilisé s'il est associé à un roulement à quatre points de contact ou à une butée qui maintient l'arbre axialement dans les deux sens et qui doit être monté avec jeu radial dans le logement.

Le palier libre n'assure qu'un guidage radial ; il doit permettre le déplacement axial de façon à éviter un coincement des roulements (par suite d'une dilatation longitudinale de l'arbre par exemple). Le déplacement axial peut s'effectuer soit dans le roulement lui-même (roulements à rouleaux cylindriques NU et N) soit entre l'une des bagues et l'arbre et le logement.

Dans un « montage en opposition » chacun des deux roulements maintient l'arbre dans un seul sens. Cette disposition est utilisée pour des arbres courts. Tous les types de roulements à billes ou à rouleaux admettant des charges axiales au moins dans un sens conviennent dans ce cas : roulements rigides à billes, à rouleaux coniques, à rotule sur rouleaux, etc.



5.1 Ajustement radial des roulements

Les bagues intérieures et extérieures des roulements doivent être fixées radialement sur l'arbre ou dans le logement afin de les empêcher de tourner sous l'effet de la charge (roulage), ce qui entrainerait une détérioration du roulement et des pièces voisines. On ne peut obtenir en principe une fixation radiale satisfaisante qu'en montant les bagues à ajustement serré. De plus, les bagues qui sont relativement minces sont alors parfaitement soutenues. Il n'est cependant pas toujours possible d'adopter un ajustement serré, par exemple, lorsqu'on désire faciliter les opérations de montage et de démontage ou permettre un déplacement axial relatif de l'arbre et du logement.

5.2 Roulement à alésage cylindrique

Le choix est fait en fonction des considérations suivantes :

✓ **Conditions de rotation**

Il s'agit du mouvement relatif bague/direction de la charge. On dit que la charge est tournante lorsque la bague étant fixe, la direction de la charge tourne, ou bien lorsque la bague tourne, la direction de la charge est fixe. Pour éviter le roulage de la bague, il est nécessaire de choisir un ajustement serré.

La charge est dite fixe lorsque la bague et la direction de la charge sont fixes ou bien lorsqu'elles tournent à la même vitesse. Un ajustement serré n'est pas indispensable.

✓ **Nature et intensité de la charge**

Dans un ajustement donné, le serrage peut être modifié à mesure que la charge appliquée augmente.

✓ **Jeu interne du roulement**

Un serrage provoque une déformation élastique de la bague et une réduction de jeu interne du roulement.

✓ **Précision désirée**

Si l'on est tenu à une stricte exactitude de rotation, les ajustements libres sont déconseillés.

- ✓ **Matière et conception de l'arbre et du logement**

  Il est recommandé de ne pas prévoir pour un logement en deux pièces un ajustement avec serrage. Par contre, pour un logement à paroi mince, un logement en alliage léger, un arbre creux, on choisira des ajustements plus serrés que pour un logement à paroi épaisse, un logement en acier ou en fonte, un arbre plein.

- ✓ **Facilité de montage et de démontage**

  Lorsqu'il est souhaitable que les opérations de montage et de démontage soient facilitées, il est intéressant de prévoir des ajustements libres.

- ✓ **Conditions de température**

  Le serrage peut se trouver modifié par la température.

- ✓ **Mobilité du palier libre**

  Le déplacement du roulement dans le palier libre doit pouvoir se faire.

5.3 *Roulement à alésage conique*

On utilise souvent des roulements à alésage conique pour rendre possible ou simplement faciliter le montage et le démontage.

Ces roulements sont montés soit directement sur une portée conique, soit sur une portée cylindrique à l'aide d'un manchon conique fendu (manchon de montage ou de démontage).

Pour la bague intérieure, l'ajustement désiré est obtenu par un enfoncement plus ou moins grand du roulement sur la portée conique.

Le montage des roulements à alésage conique est donc soumis à des prescriptions particulières quant à la réduction du jeu interne.

Pour la bague extérieure, se conformer aux indications données pour les roulements à alésage cylindrique.

5.4 Fixation axiale des roulements

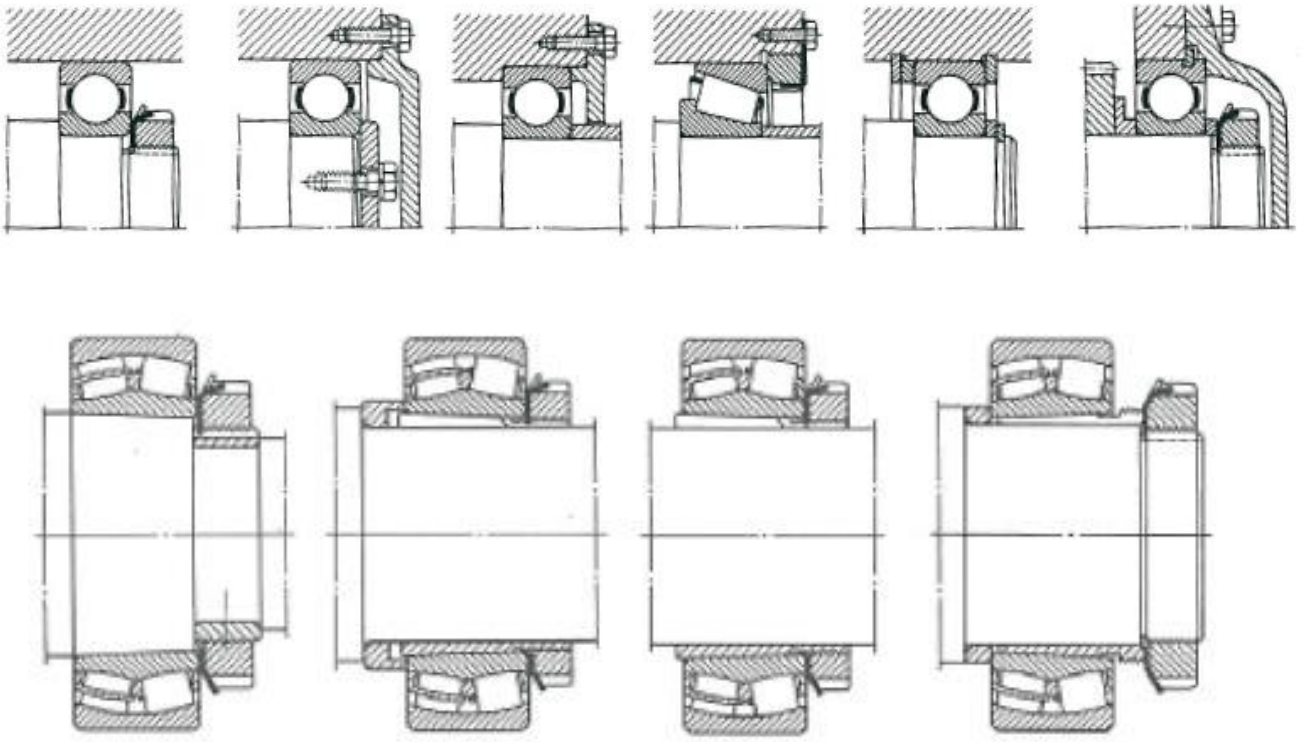
Un ajustement serré est, à lui seul, insuffisant pour immobiliser axialement une bague de roulement ; il est donc nécessaire de prévoir dans tous les cas un dispositif de blocage approprié.

Les deux bagues d'un palier fixe doivent être maintenues axialement sur chacunes de leurs faces, dans le cas d'un palier libre avec roulement non séparable, seule la bague montée à ajustement serré sera maintenue axialement, l'autre pouvant se déplacer librement sur sa portée.

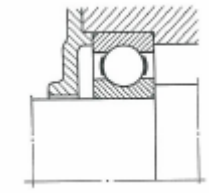
Dans un montage en opposition, il suffira de fixer chaque roulement dans un seul sens.

Modes de fixation

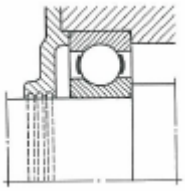
Les bagues montées à ajustement serré prennent généralement appui, d'un côté contre un épaulement, de l'autre côté par une pièce telle que, couvercle, écrou, entretoise, circlips, etc.



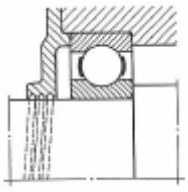
5.5 Dispositifs d'étanchéité



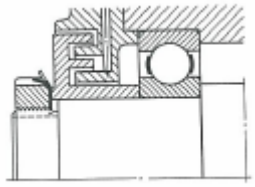
a



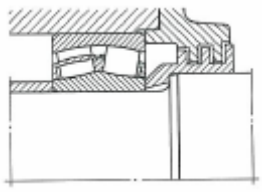
b



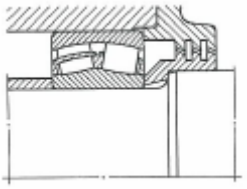
c



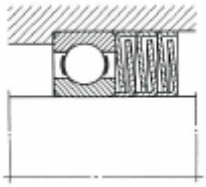
d



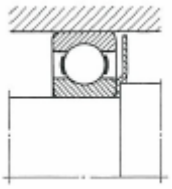
e



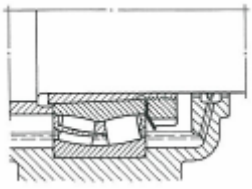
f



g



h



i

Les dispositifs d'étanchéité prévus sur les paliers sont essentiellement destinés d'une part à éviter la pénétration d'impuretés ou d'humidité, d'autre part à éviter les fuites de lubrifiant. L'efficacité du dispositif d'étanchéité a une grande influence sur la durée de fonctionnement des roulements.

Le choix du meilleur dispositif fait intervenir un grand nombre de facteurs : nature du lubrifiant (huile ou graisse), vitesse périphérique au passage d'arbre, défaut d'alignement éventuel de l'arbre, espace disponible, frottement et élévation consécutive de température et coût.

Étanchéité sans frottement

Ces dispositifs sont basés sur l'effet produit par un passage étroit radial, axial ou combiné. Ils ne donnent lieu pratiquement à aucun frottement ni à aucune usure et offrent l'avantage de pouvoir être utilisés aux grandes vitesses de rotation et aux températures élevées.

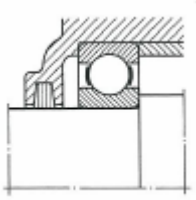
Dans le cas de machines travaillant dans une atmosphère sèche et peu poussiéreuse, un simple passage étroit (a) au niveau de la sortie de l'arbre est généralement suffisant. Avec une lubrification à la graisse, l'efficacité de ce système peut être améliorée par des rainures circulaires (b). La graisse qui tend à s'échapper se loge dans ces rainures et empêche la pénétration de corps étrangers.

Lorsqu'il s'agit d'un montage avec arbre horizontal et lubrification à l'huile, on peut pratiquer dans le passage d'arbre ou sur l'arbre une rainure hélicoïdale avec pas à droite ou à gauche suivant le sens de rotation de l'arbre (c), rainure qui rejette vers le palier l'huile qui tend à s'échapper ; ce système suppose évidemment que le sens de rotation soit toujours le même.

Les dispositifs à une ou plusieurs chicanes, utilisés le plus souvent pour des roulements lubrifiés à la graisse, sont plus coûteux. Ils sont aussi nettement plus efficaces, surtout si l'on y injecte de temps en temps de petites quantités d'une graisse insoluble dans l'eau (par exemple graisse au lithium ou à la chaux) par l'intermédiaire d'un conduit prévu à cet effet (e, f).

Une bonne protection est fournie par des rondelles d'étanchéité (g). Des disques de retenue ou des déflecteurs renforcent l'effet des dispositifs d'étanchéité (h, i).

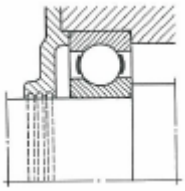
Étanchéité avec frottement



a

L'effet d'obturation est ici obtenu par un élément qui s'applique élastiquement sur une surface conjuguée. Le choix du dispositif lui-même et de la qualité convenable pour la surface en question dépend de la vitesse périphérique.

Les feutres (a) sont couramment utilisés, surtout dans le cas d'une lubrification à la graisse. C'est une protection simple et économique, adaptée à des vitesses périphériques et à des températures n'excédant pas respectivement 4m/s et 100°C.

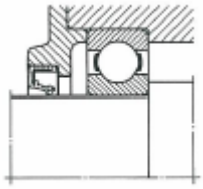


b

On peut en améliorer l'efficacité par adjonction d'une simple chicane (b). avant mise en place dans leur gorge, les lanières de feutre doivent être trempées dans un bain d'huile à 80°C.

Les joints à lèvres procurent une meilleure étanchéité, surtout dans le cas d'une lubrification à l'huile. Ils se présentent sous forme d'éléments prêts au montage, constitués du joint proprement dit en caoutchouc synthétique ou en matière plastique et le plus souvent d'une armature en tôle.

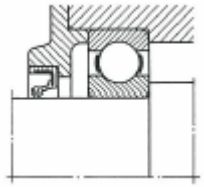
Lorsque la vitesse dépasse 4m/s, la surface d'appui doit être rectifiée ; au-delà de 8 m/s, elle doit être trempée ou chromée dur, finement rectifiée ou polie.



c

Au montage, on dispose la lèvre du joint soit vers l'intérieur soit vers l'extérieur, suivant que sa fonction consiste avant tout à empêcher le lubrifiant de sortir du palier (c) ou les corps étrangers d'y pénétrer (d).

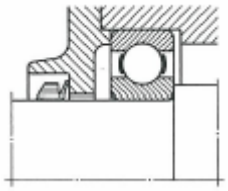
Le joint V-Ring (e) est employé pour des roulements lubrifiés à la graisse ou à l'huile. Il s'agit d'un joint en caoutchouc dont la lèvre s'applique axialement sur la surface d'appui. Il admet des défauts d'alignement relativement importants à basse vitesse et peut être utilisé à des vitesses périphériques élevées s'il est convenablement fixé.



d

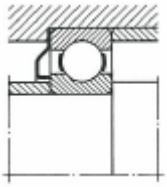
Des rondelles élastiques constituent un dispositif d'étanchéité simple, économique et peu encombrant. On les utilise surtout pour des roulements rigides à billes lubrifiées à la graisse ; elles sont montées directement contre la face de la bague extérieure (f) ou intérieure et s'appliquent axialement contre la face de l'autre bague.

Étanchéités combinées



e

Lorsque des conditions de fonctionnement difficiles imposent une efficacité très poussée, on combine souvent les dispositifs avec frottement et sans frottement. Dans ce cas, les premiers sont protégés par les seconds d'une usure prématurée et des détériorations mécaniques. L'utilisation de roulements protégés permet de résoudre certains problèmes d'étanchéité.



f

5.6 Lubrification

Le lubrifiant a pour rôle principal d'éviter le contact métallique entre éléments en mouvement : billes ou rouleaux, bagues, cages ; il protège aussi le roulement contre l'usure et la corrosion.

La quantité de lubrifiant nécessaire à un roulement est en général relativement petite ; elle doit être suffisante pour assurer une bonne lubrification, sans provoquer d'échauffement gênant. En plus de ces questions de lubrification proprement dite et de température de fonctionnement, elle dépend également de considérations relatives à l'étanchéité et à l'évacuation de chaleur.

Le pouvoir lubrifiant d'une graisse ou d'une huile diminue dans le temps en raison des contraintes mécaniques et du vieillissement. Le lubrifiant consommé ou souillé en fonctionnement doit donc être remplacé ou complété à des intervalles déterminés par un apport de lubrifiant neuf.

Les roulements peuvent être lubrifiés à la graisse, à l'huile, ou dans certains cas, avec un lubrifiant solide. Étant donné leur construction, les butées à rotule sur rouleaux doivent être lubrifiées à l'huile, une lubrification à la graisse est cependant admissible pour des applications particulières, lorsque la vitesse de rotation est faible.

Le choix d'un lubrifiant se fait surtout en fonction des températures et des vitesses de rotation auxquelles il doit être utilisé ainsi que de l'environnement.

5.6.1 Lubrification à la graisse

C'est la graisse qui est le plus couramment employée. Elle présente en effet sur l'huile, l'avantage de contribuer à l'obturation du palier (meilleure protection contre la pénétration d'humidité et de corps étrangers, moindres risques de fuite de lubrifiant), en particulier dans le cas de roulements à axe incliné ou vertical.

En règle générale, les espaces disponibles dans le roulement et le palier ne doivent être que partiellement garnis (env. 30 à 50 %) afin d'éviter de fortes élévations de température aux grandes vitesses. La quantité de graisse nécessaire au garnissage initial est donnée dans le catalogue du constructeur.

Lorsqu'un roulement tournant à faible vitesse doit être protégé efficacement contre la corrosion, on peut remplir le palier.

Propriétés d'une graisse pour roulements

Consistance

Il est nécessaire que la consistance ne varie pas trop en fonction des températures d'utilisation ou sous l'effet du malaxage en fonctionnement. Les graisses qui s'amollissent lorsque la température augmente risquent de s'échapper du palier, celles qui deviennent trop consistantes aux basses températures peuvent gêner la rotation du mouvement.

Températures d'utilisation

Les graisses à la chaux peuvent être employées jusqu'à une température maximale de l'ordre de +60°C.

Certaines graisses (complexe de calcium) conviennent jusqu'à + 120°C. Les graisses à la soude peuvent être utilisées dans la gamme de température -30 à +80°C ; certaines graisses de qualité conviennent jusqu'à +120°C.

Les graisses au lithium peuvent généralement être utilisées de -30 à +110°C et même 150°C.

Propriété antirouille

Les graisses avec additifs EP (additifs extrême pression, en général à base de composés de plomb) ont de propriétés antirouille.

Résistance aux fortes charges

Pour les roulements très chargés, on emploie des graisses avec additifs EP, ces additifs améliorant la résistance du film lubrifiant.

Miscibilité

Lorsque pour une raison quelconque, on envisage d'utiliser pour la lubrification d'un roulement une autre graisse que celle employée jusqu'alors, il est indispensable de tenir compte des possibilités de mélange pour éviter tout risque de détérioration.

Graisses fournies par les constructeurs de roulements

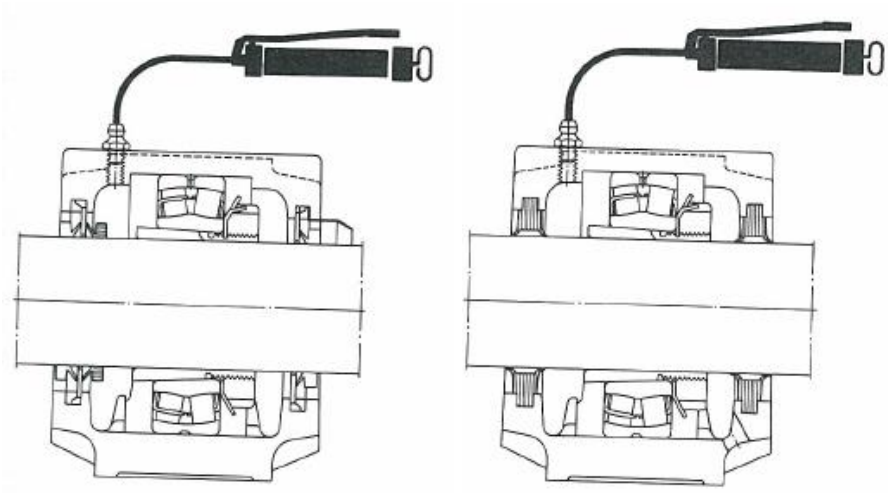
Consulter les catalogues pour le choix de la graisse

Intervalles de graissage

Les intervalles de graissage dépendent surtout du type et de la taille du roulement, de la vitesse de rotation, de la température de fonctionnement et de la qualité de la graisse utilisée. Se référer aux prescriptions du constructeur de la machine.

Si les conditions de fonctionnement permettent d'effectuer les appoints à des intervalles assez longs, il suffit que le palier soit bien accessible et qu'il soit facile de l'ouvrir.

Si les appoints doivent être assez rapprochés, on prévoit un moyen plus rapide d'introduction de la graisse, soit un raccord de graissage dans lequel la graisse sera injectée à l'aide d'une pompe.



Pompe à graisse, raccord et conduits de graissage

Afin que la graisse neuve parvienne effectivement à l'intérieur du roulement, la graisse usée étant repoussée sur les côtés du palier, le canal de graissage doit déboucher soit à proximité immédiate de la face de la bague extérieure, ou mieux, directement dans le roulement comme c'est le cas avec les roulements à rotule sur rouleaux munis d'une rainure et de trous de lubrification dans la bague extérieure. Après plusieurs appoints, il est nécessaire d'ouvrir le palier et de retirer la graisse usée avant d'introduire la graisse neuve.

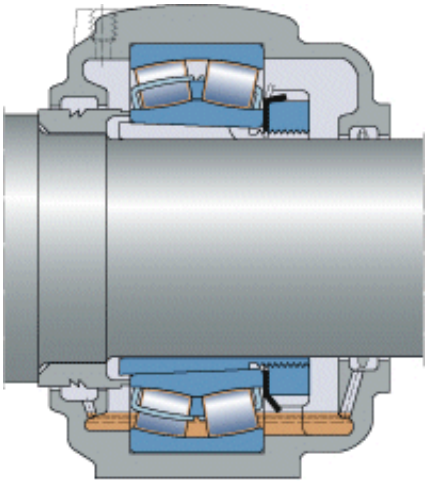
Système automatique de graissage.

5.6.2 Lubrification à l'huile

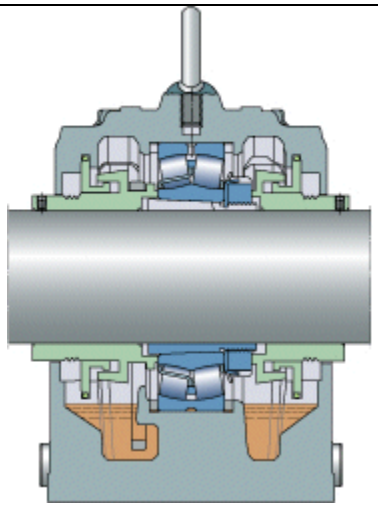
La lubrification à l'huile s'impose lorsque les vitesses de rotation ou les températures d'utilisation sont trop élevées pour permettre l'emploi de graisse avec une sécurité suffisante. Il en est de même lorsque le lubrifiant doit contribuer au refroidissement du palier lui-même ou d'organes annexes. On choisit aussi l'huile quand d'autres éléments voisins, des engrenages par exemple, doivent recevoir le même lubrifiant que les roulements.

Différents modes de lubrification à l'huile

La lubrification par bain d'huile est le procédé le plus simple mais elle ne convient qu'aux faibles vitesses de rotation. L'huile est entrainée par les éléments roulants et se répartit dans le roulement avant de retourner au bain. Lorsque le roulement est à l'arrêt, le niveau d'huile doit se situer un peu au-dessous du centre de l'élément roulant le plus bas.



Lubrification par bain d'huile.

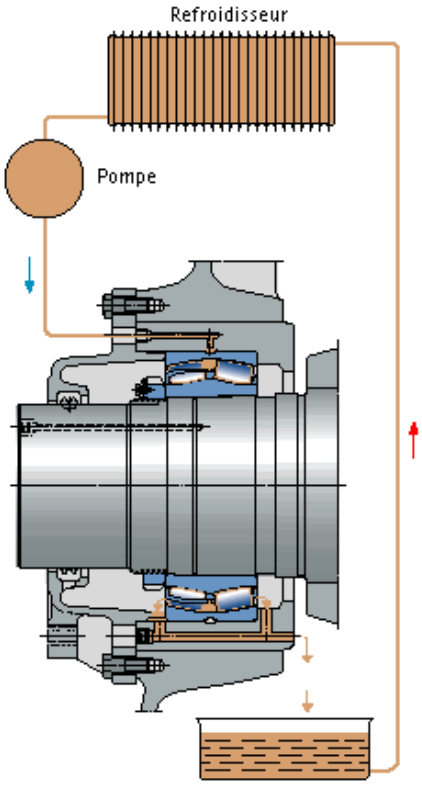


Bague de remontée d'huile.

Aux vitesses et aux températures élevées, l'huile vieillit plus vite et doit être renouvelée plus souvent. Pour éviter les inconvénients de changements d'huile répétés, on utilise un système à circulation, par exemple au moyen d'une pompe : l'huile est amenée d'un côté du roulement, la traverse et s'écoule du côté opposé. Elle est ensuite filtrée, éventuellement refroidie, puis remise dans le circuit et renvoyée au roulement.

Aux vitesses élevées, il faut que l'huile pénètre en quantité suffisante dans le roulement et assure un bon refroidissement. La lubrification par jet d'huile est un système particulièrement efficace à ce point de vue. Sous la pression d'une pompe, l'huile est injectée latéralement dans le roulement par un ou plusieurs gicleurs. La vitesse du jet doit être assez grande (15 m/s) pour qu'une partie au moins de l'huile projetée traverse le tourbillon d'air provoqué par la rotation du roulement.

La lubrification par brouillard d'huile consiste à amener sous pression un mélange d'air et d'huile pulvérisée jusqu'au point à lubrifier. Le brouillard d'huile est formé dans un pulvérisateur ou l'air comprimé sec provenant du réseau central est filtré et détendu. Des canalisations conduisent le brouillard aux points à lubrifier où il se répand comme un gaz. Toutefois, on dispose en général dans chacune des canalisations finales un raccord de condensation dans lequel le brouillard se dissocie. L'huile arrive alors par gouttes tandis que l'air est évacué par les étanchéités après avoir traversé et refroidi le roulement. Il se crée en outre dans le palier une légère surpression qui s'oppose à la pénétration d'impuretés. Ce procédé permet une lubrification par petites quantités d'huile, dosées avec précision. Il en résulte que les frottements dus au lubrifiant ne constituent qu'une infime partie du frottement total dans le roulement.



Circuit d'huile.

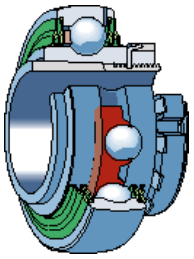
Huiles de lubrification

Pour la lubrification des roulements, on utilise presque toujours des huiles minérales pures.

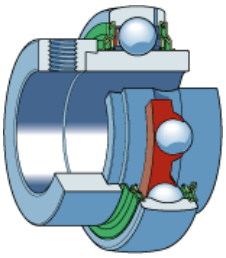
Choix de l'huile

L'une des principales caractéristiques d'une huile est sa viscosité.

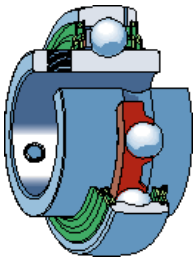
5.7 Roulements et palier à auto-alignement



Roulement avec manchon de serrage



Roulement avec bague de blocage



Roulement avec vis de blocage

Les paliers Y permettent des montages simples et économiques. Ces ensembles comprennent un roulement Y-roulement rigide à billes spécial et un corps de palier Y en fonte ou en tôle.

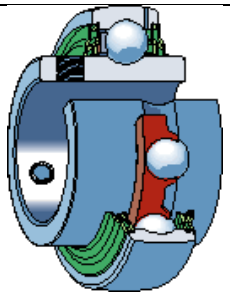
Les roulements et paliers Y sont fabriqués en de nombreuses exécutions et avec une grande variété de combinaisons.

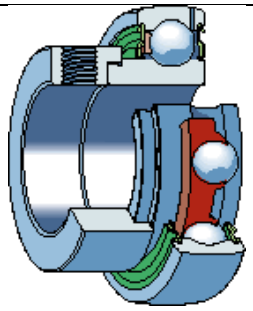
Les paliers Y peuvent compenser de légers défauts d'alignement de l'arbre au montage, mais n'admettent aucun déplacement axial. Ils ne peuvent donc faire fonction de paliers libres.

5.7.1 Roulements Y

Les roulements Y sont des roulements rigides à billes protégés des deux côtés et présentant une surface extérieure sphérique. Ils peuvent être fixés facilement sur l'arbre soit à l'aide d'une bague de blocage excentrique, soit par deux vis de blocage dans la bague intérieure (large), soit par un manchon de serrage. Les roulements Y ont une tolérance en plus sur l'alésage, ce qui permet de les monter facilement sur des arbres étirés ou écroutés avec tolérance h8 à h11.

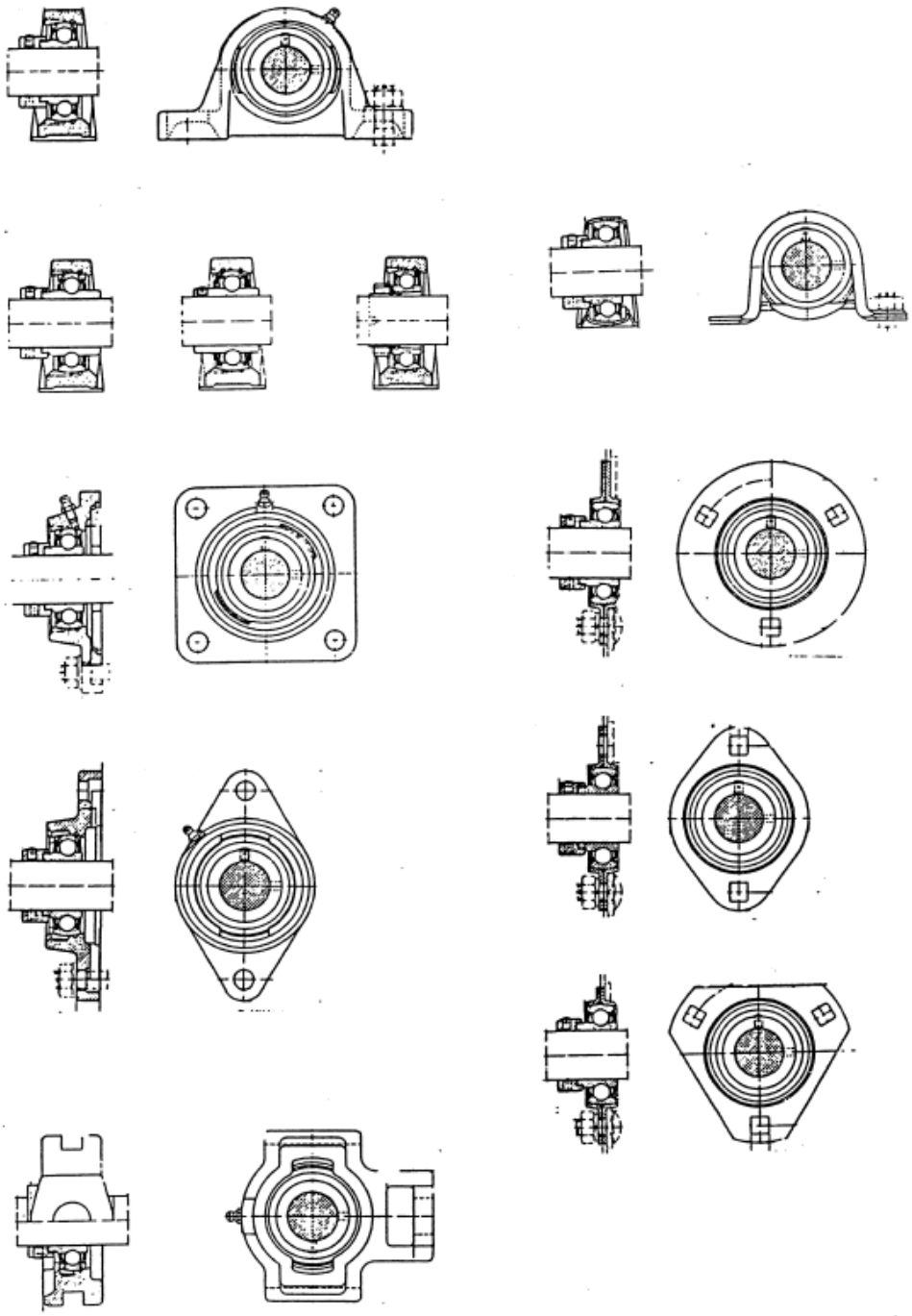
Tous les roulements Y sont munis, des deux côtés, de joints d'étanchéité à frottement. Dans quelques séries, les joints eux-mêmes sont protégés par des déflecteurs circulaires en tôles. Les roulements sont garnis d'une graisse au lithium en quantité appropriée. Ils ne nécessitent généralement pas d'entretien, mais peuvent, si nécessaire, recevoir des appoints de lubrifiant par les trous prévus à cet effet dans la bague extérieure.





5.7.2 Paliers Y

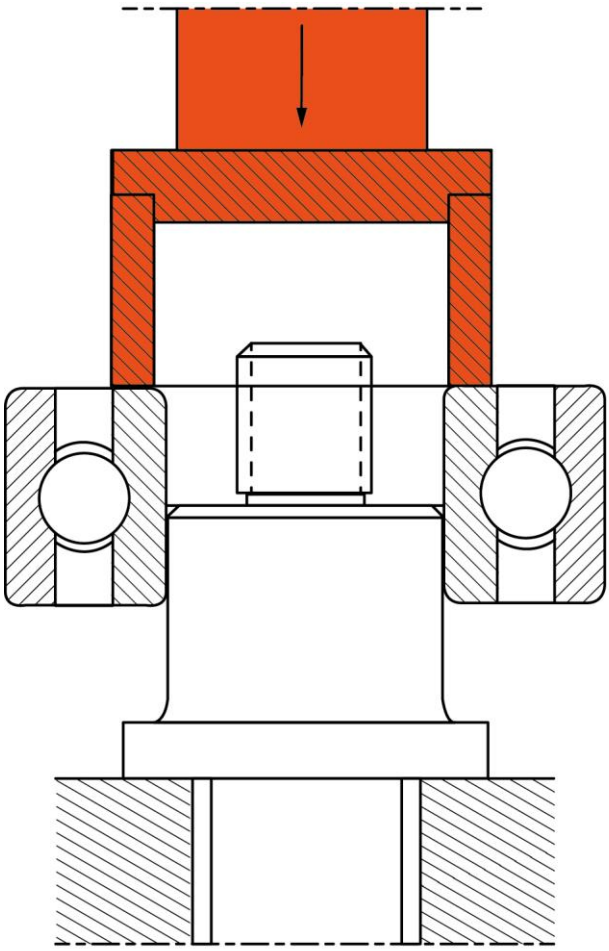
Les paliers Y ont un alésage sphérique et sont fabriqués selon trois exécutions : paliers à semelle, palier à appliques ou coulisseaux-tendeurs. Les paliers en fonte sont munis d'un raccord de graissage et d'une rainure correspondante dans le logement sphérique.



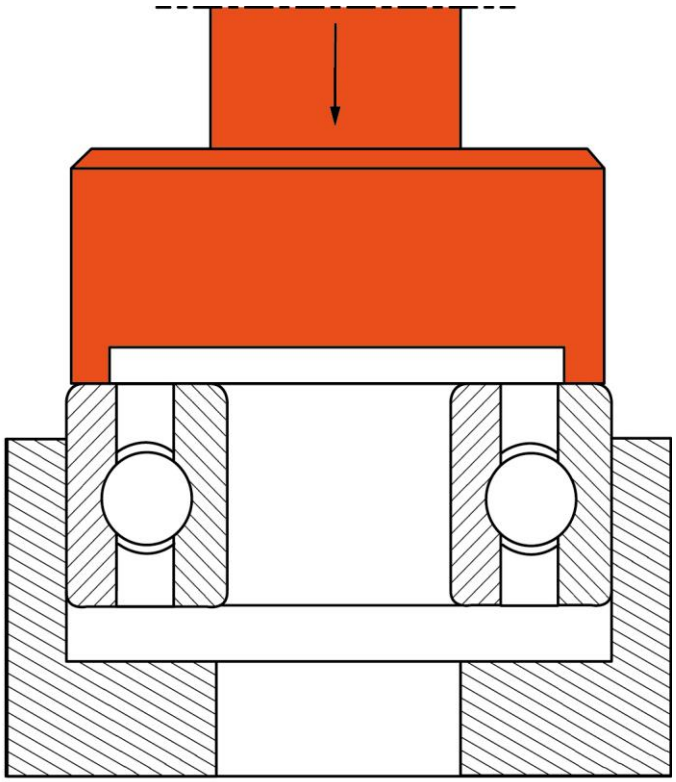
6 Montage et démontage

Il est essentiel pour le bon fonctionnement des roulements que leur montage soit réalisé avec compétence et dans des conditions de propreté rigoureuse ; c'est une garantie contre les détériorations prématurées.

On choisira donc un lieu de travail convenable, séparé des ateliers d'usinage ou l'air ambiant peut être chargé de particules métalliques, de poussières ou contenant un pourcentage excessif d'humidité.



Mise en place sur l'arbre
bague intérieure serrée



Mise en place dans un logement
bague extérieure serrée

6.1 Stockage des roulements

(Image FAG)

Ne pas stocker les roulements de grandes dimensions debout ; ils doivent être stockés à plat, en appui sur toute leur surface.

- ✓ Laisser les roulements dans leur emballage d'origine ;
- ✓ Stocker les roulements de grandes dimensions à plat ;
- ✓ Stocker les roulements dans des locaux secs.

6.2 Préparation du montage

Avant de monter les roulements, tous les éléments, outils et équipements nécessaires doivent être préparés et l'ordre de montage des différentes pièces doit être déterminé en se conformant aux instructions et aux plans, s'il en existe.

Tous les éléments du montage (logements, arbres, etc.) doivent être minutieusement nettoyés et ébavurés ; en particulier les surfaces brutes de fonderie à l'intérieur des paliers seront débarrassées de toute trace de sable.

On suppose ici que la forme et les dimensions des pièces voisines qui ont été vérifiées.

En laissant les roulements dans leur emballage d'origine jusqu'au moment de leur utilisation, on sera certain de ne pas les souiller par mégarde. En général, le produit antirouille dont ils sont enduits n'a pas besoin d'être enlevé, sauf sur la surface cylindrique extérieure et dans l'alésage. Cependant, les roulements qui doivent fonctionner à très haute ou très basse température, en étant lubrifiés à la graisse, doivent être lavés et séchés avant montage pour éviter tout effet nuisible sur les propriétés lubrifiantes des graisses utilisées pour ces conditions de température.

Par ailleurs, si un roulement s'est trouvé sali accidentellement, par exemple si son emballage a été détérioré, il convient également de le laver et de le sécher avant montage.

Les roulements qui, retirés de leur emballage d'origine, présentent une couche relativement épaisse de produit antirouille ont été protégés par trempage à chaud (procédé encore utilisé surtout pour les roulements de grande dimension). Ils doivent aussi être lavés et séchés.

Pour le nettoyage, on utilise de préférence du white spirit, du pétrole de bonne qualité, de l'essence ou du benzol. Après cette opération, les pièces seront immédiatement enduites d'huile pour les protéger contre l'oxydation.

Les roulements livrés garnis de graisse et protégés des deux côtés par des flasques ou joints ne doivent jamais être lavés.

6.3 Généralités

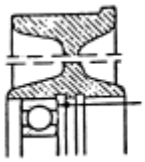
Il faut absolument éviter de frapper directement sur le roulement. L'effort montage ne doit en aucun cas être transmis par les éléments roulants.

Les surfaces d'ajustement doivent être légèrement huilées.

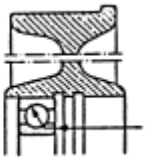
Il convient de prendre des précautions pour que la bague se présente correctement dès le début de l'emmanchement. Ceci peut être vérifié en mesurant en trois points l'écart entre le bout d'arbre et la face latérale de la bague.

Correct

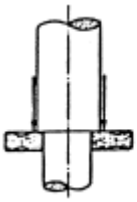
Incorrect



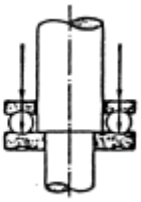
Correct



Incorrect

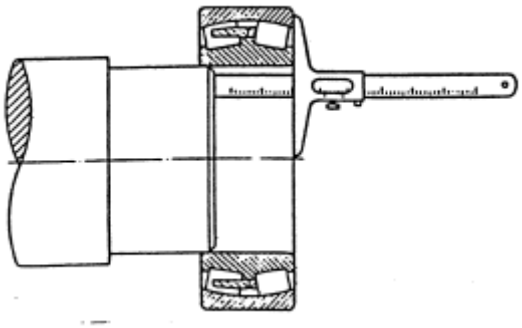


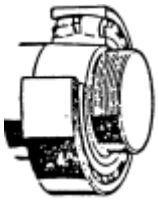
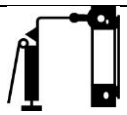
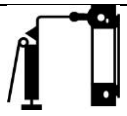
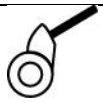
Correct



Incorrect

Contrôle de la position du roulement en cours d'emmanchement



Montage de roulements		Outils de montage			Outils de démontage		
		Mécaniques	Hydrauliques	Outils de chauffage	Mécaniques	Hydrauliques	Outils de chauffage
Sur portée cylindrique	Petits						
	Moyens						
	Grands						
	À rouleaux cylindriques types NU, NJ, NUP, toutes tailles						
Sur portée conique 	Petits						
	Moyens						
	Grands						
Sur manchon de serrage	Petits						
	Moyens						
	Grands						
Sur manchon de démontage	Petits						
	Moyens						
	Grands						

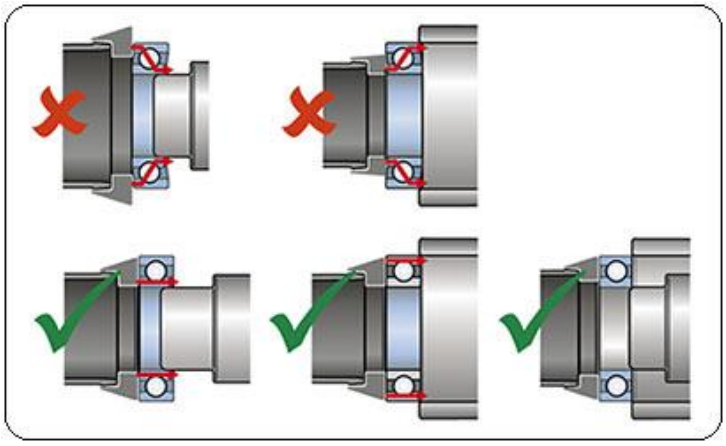
Petits = diamètres d'alésage < 80 mm

Moyens = diamètre d'alésage 80 à 200 mm

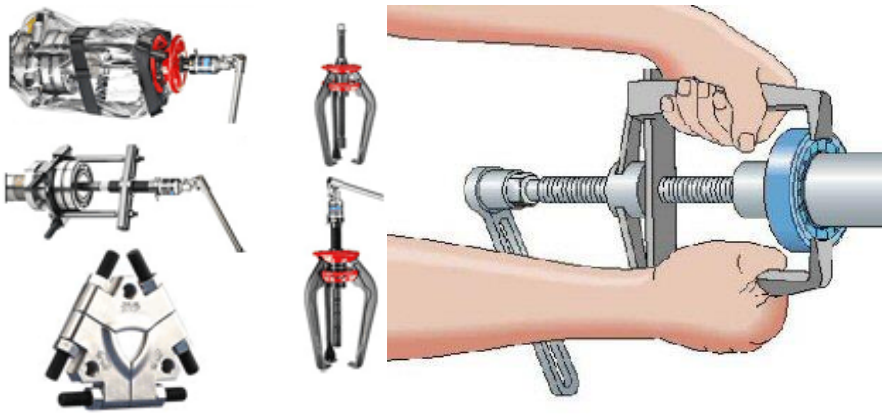
Grands = diamètre d'alésage > 200 mm

6.4 Matériel de montage et démontage

Jeu de douilles et maillet.



Placement des douilles



Démontage des roulements – systèmes extracteurs

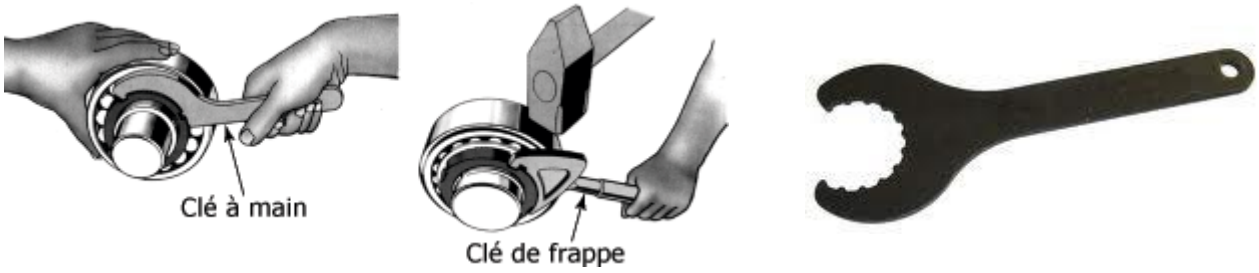
Systèmes de chauffage à induction (photos SKF – FAG)

Plaque de chauffage

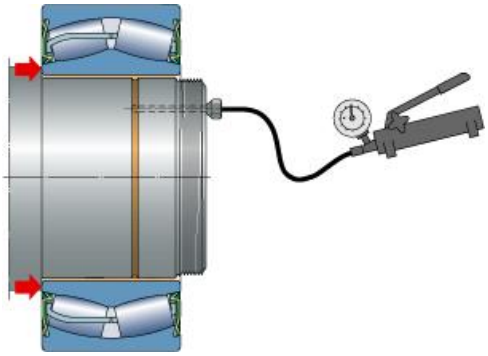
Bague de chauffage pour démontage des bagues intérieures

(photos SKF – FAG)

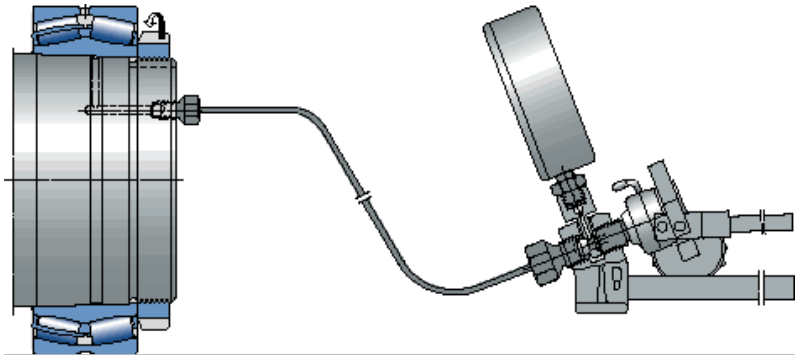
Placement d'une bague de roulement chauffée, rapidement et sans coincement jusqu'à ce qu'elle soit en butée sur sa portée. Le montage est facilité par un léger mouvement vissant. (photo FAG)

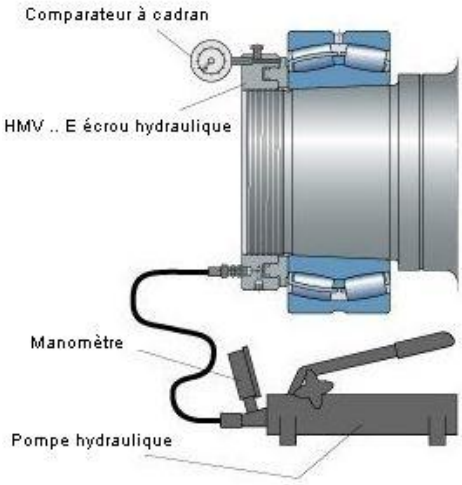


Clés à ergots pour le serrage des écrous



Démontage sous pression d'huile (image SKF)



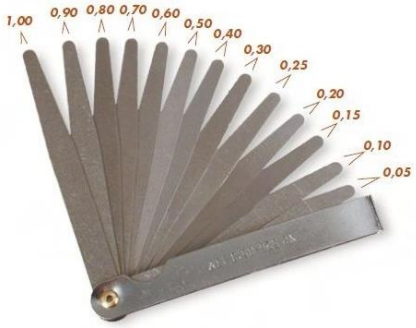


Montage sous pression d'huile (images SKF)

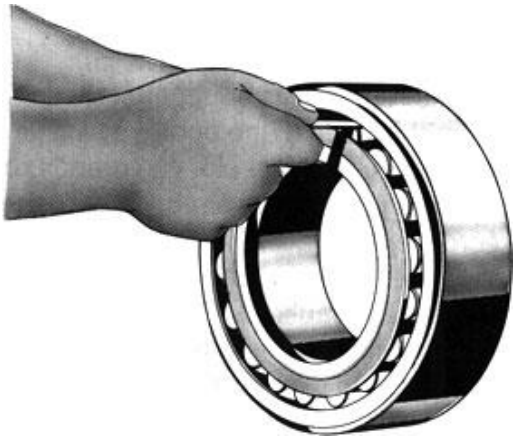
Montage d'un roulement à rotule sur rouleaux à alésage conique selon la méthode hydraulique. (image FAG)

6.5 Contrôle du jeu

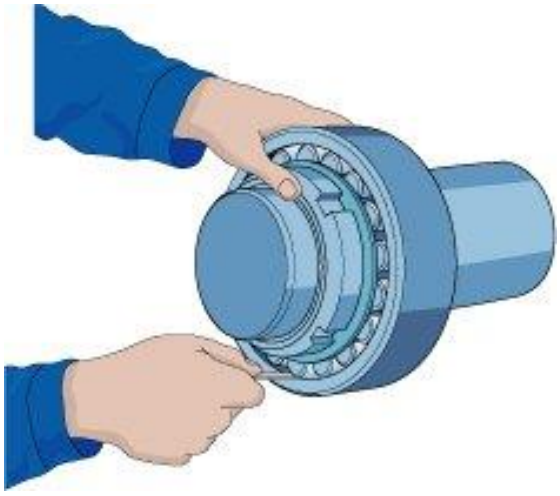
Le jeu interne est facilement mesuré à l'aide de lames calibrées qui le plus souvent sont réunies en séries d'épaisseurs échelonnées par 0,01 mm à partir de 0,02 ou 0,03 mm.



La mesure est faite en général au-dessus du rouleau supérieur. C'est en effet à cet endroit qu'apparait le jeu lorsque le roulement, non monté, est posé sur son diamètre extérieur.



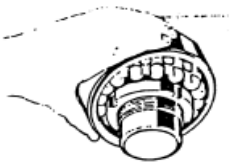
Lorsque le roulement est monté, on procède de la même manière en prenant la mesure en dessous du rouleau inférieur.



Le jeu peut aussi être mesuré à l'aide d'un comparateur.

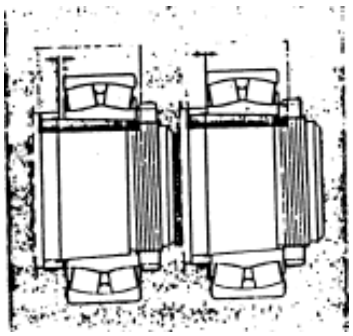
6.6 Jeu interne

6.6.1 Roulements à rotule sur billes



Lors du montage de roulements à rotule sur billes, on vérifie la réduction de jeu en faisant tourner et basculer la bague extérieure pendant l'enfoncement. Si le roulement est correctement monté, on doit encore pouvoir faire tourner facilement la bague extérieure, mais rencontrer une certaine résistance pour la basculer.

6.6.2 Réduction du jeu radial et enfoncement



Les bagues intérieures de roulements à alésage conique sont toujours montées avec ajustement serré.

Le serrage dépend de l'enfoncement du roulement sur sa portée conique.

Pendant l'enfoncement, le jeu radial interne initial du roulement est progressivement réduit par l'expansion de la bague intérieure de sorte que la réduction du jeu est fonction du serrage.

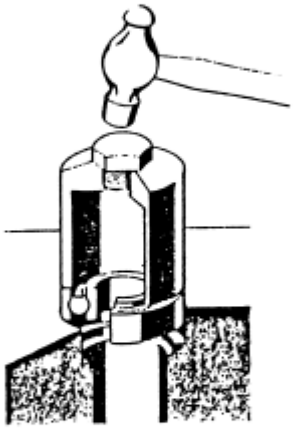
Le tableau SKF ci-dessous donne la réduction du jeu radial et le jeu résiduel après montage pour un enfoncement axial.

Alésage nom. du roulement d		**Jeu radial avant montage** Groupe de jeu						**Réduction du jeu radial[1])**		**Déplacement axial sur le cône 1:12[1])**				**Valeur de contrôle du jeu radial après montage**		
		CN (normal)		C3		C4				Arbre		Manchon		CN	C3	C4
au-dess.	jusqu'à	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	min	min
de		mm						mm		mm				mm		
24	30	0,035	0,06	0,045	0,07	0,055	0,08	0,015	0,02	0,3	0,35	0,3	0,4	0,02	0,025	0,035
30	40	0,04	0,065	0,055	0,08	0,07	0,095	0,02	0,025	0,35	0,4	0,35	0,45	0,02	0,025	0,04
40	50	0,045	0,075	0,06	0,09	0,075	0,105	0,025	0,03	0,4	0,45	0,45	0,5	0,02	0,03	0,045
50	65	0,05	0,08	0,07	0,1	0,09	0,12	0,03	0,035	0,45	0,55	0,5	0,65	0,02	0,035	0,05
65	80	0,06	0,095	0,085	0,12	0,11	0,145	0,035	0,04	0,55	0,6	0,65	0,7	0,025	0,04	0,07
80	100	0,07	0,105	0,095	0,13	0,12	0,155	0,04	0,045	0,6	0,7	0,65	0,8	0,03	0,05	0,075
100	120	0,09	0,13	0,115	0,155	0,14	0,18	0,045	0,055	0,7	0,85	0,8	0,95	0,045	0,065	0,085
120	140	0,1	0,145	0,13	0,175	0,16	0,205	0,055	0,065	0,85	1	0,95	1,1	0,045	0,07	0,095
140	160	0,11	0,16	0,145	0,195	0,18	0,23	0,06	0,075	0,9	1,2	1	1,3	0,05	0,075	0,105
160	180	0,125	0,175	0,16	0,21	0,195	0,245	0,065	0,085	1	1,3	1,1	1,5	0,06	0,08	0,11
180	200	0,14	0,195	0,18	0,235	0,22	0,275	0,075	0,095	1,2	1,5	1,3	1,7	0,065	0,09	0,125
200	225	0,155	0,215	0,2	0,26	0,245	0,305	0,085	0,105	1,3	1,6	1,4	1,8	0,07	0,1	0,14
225	250	0,17	0,235	0,22	0,285	0,27	0,335	0,095	0,115	1,5	1,8	1,6	2	0,075	0,105	0,155
250	280	0,185	0,255	0,24	0,31	0,295	0,365	0,105	0,125	1,6	2	1,7	2,3	0,08	0,125	0,17
280	315	0,205	0,28	0,265	0,34	0,325	0,4	0,115	0,14	1,8	2,2	1,9	2,4	0,09	0,13	0,185
315	355	0,225	0,305	0,29	0,37	0,355	0,435	0,13	0,16	2	2,5	2,2	2,7	0,095	0,14	0,195
355	400	0,255	0,345	0,33	0,42	0,405	0,495	0,14	0,17	2,2	2,6	2,5	2,9	0,115	0,165	0,235
400	450	0,285	0,385	0,37	0,47	0,455	0,555	0,15	0,185	2,3	2,8	2,6	3,1	0,135	0,19	0,27
450	500	0,315	0,425	0,41	0,52	0,505	0,615	0,16	0,195	2,5	3	2,8	3,4	0,155	0,215	0,31
500	560	0,35	0,47	0,455	0,575	0,56	0,68	0,17	0,215	2,7	3,4	3,1	3,8	0,18	0,24	0,345
560	630	0,38	0,5	0,5	0,62	0,62	0,74	0,185	0,24	2,9	3,7	3,5	4,2	0,195	0,26	0,38
630	710	0,435	0,575	0,565	0,705	0,695	0,835	0,2	0,26	3,1	4,1	3,6	4,7	0,235	0,305	0,435
710	800	0,485	0,645	0,63	0,79	0,775	0,935	0,22	0,28	3,4	4,4	3,9	5,3	0,26	0,35	0,495
800	900	0,54	0,71	0,7	0,87	0,86	1,03	0,24	0,31	3,7	4,8	4,3	5,5	0,3	0,39	0,55
900	1000	0,6	0,79	0,78	0,97	0,96	1,15	0,26	0,34	4,1	5,3	4,8	6,2	0,34	0,44	0,62
1000	1120	0,665	0,875	0,865	1,075	1,065	1,275	0,28	0,37	4,4	5,8	5,2	7	0,385	0,5	0,7
1120	1250	0,73	0,97	0,96	1,2	1,2	1,44	0,31	0,41	4,8	6,4	5,7	7,6	0,42	0,55	0,79
1250	1400	0,81	1,07	1,07	1,33	1,33	1,59	0,34	0,45	5,3	7	6,3	8,3	0,47	0,62	0,85

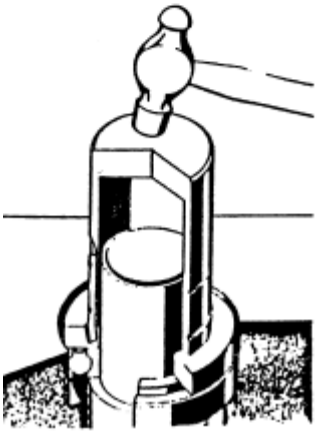
6.7 Roulements à alésage cylindrique - montage

Les roulements de petites dimensions peuvent être montés au moyen de coups de marteau appliqués à un tube placé contre une des bagues du roulement. On doit se servir d'un marteau ordinaire. Les têtes de marteaux en métal tendre ne conviennent pas, des écailles pouvant se produire et pénétrer dans le roulement. Si la douille de frappe doit être utilisée fréquemment, il est conseillé de la concevoir avec une partie amovible, par exemple un tampon fileté, qui reçoit les coups de marteau.

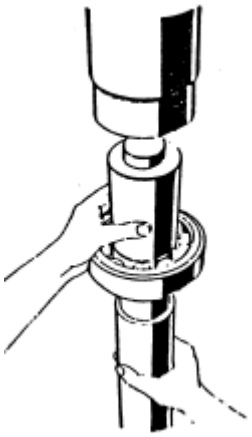
Lorsqu'un roulement doit être monté avec un ajustement serré sur l'arbre, on choisit une douille qui prend appui contre la bague intérieure. Pour faciliter le montage et réduire le risque de détérioration, la portée du roulement sur l'arbre doit être enduite avec une huile de faible viscosité.



Quand un roulement doit être monté avec un ajustement serré dans le logement, il faut utiliser une douille qui prend appui contre la bague extérieure. Avant le montage, enduire la portée du roulement dans le logement avec une huile de faible viscosité.



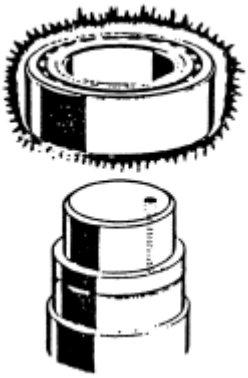
Quand les roulements non séparables sont montés en une seule opération sur l'arbre et dans le logement, la douille doit être conçue pour prendre appui contre les deux bagues. Avant le montage, les deux portées doivent être enduites.



L'utilisation d'une presse est particulièrement adaptée au montage fréquent de petits roulements. Placer une douille entre le roulement et la presse. Les faces en bout de la douille doivent être planes, parallèles et sans bavures.

La douille doit être conçue de manière à pouvoir être mise en appui contre la bague qui doit être montée avec ajustement serré ; sinon on risque de détériorer les éléments roulants et les chemins de roulement ce qui conduirait à défaillance prématurée du roulement.

Pour faciliter le montage et réduire le risque de détérioration, la portée du roulement sur l'arbre ou dans le logement doit être enduite avec une huile de faible viscosité.



Une autre façon de monter les roulements consiste à les chauffer ou à chauffer les logements avant montage. Les roulements garnis de graisse qui sont en général munis de joints d'étanchéité ou de flasques de protection ne doivent pas être chauffés.

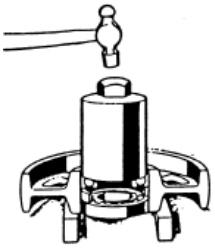
Si l'on prévoit un ajustement serré sur l'arbre, le roulement doit être chauffé (dans un bain d'huile ou avec un outil de chauffage) à une température supérieure de 80 à 90°C à celle de l'arbre, mais jamais au-dessus de 120°C. Porter des gants de protection propres en manipulant le roulement chaud. Un appareil de levage propre peut aussi être employé.

Enfoncer le roulement sur l'arbre, contre l'épaulement et le maintenir jusqu'à ce que l'ajustement soit réalisé.

Lorsque le roulement doit avoir un ajustement serré dans le logement, une légère élévation de température du logement (de 20 à 50°C) suffit en général car le serrage est rarement important.

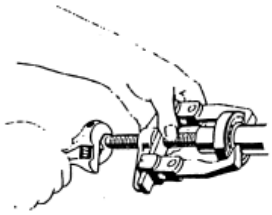
On peut utiliser un outil de chauffage, de l'huile chaude ou une flamme. Si l'on choisit la flamme, on doit s'assurer que le logement ne se fissure pas ou ne se déforme pas.

6.8 Roulements à alésage cylindrique - démontage



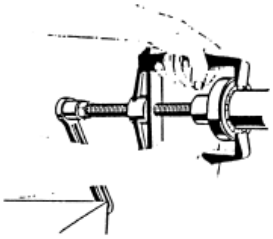
Un roulement monté avec ajustement serré dans un logement dépourvu d'épaulements peut être démonté en appliquant des coups de marteau sur une douille. La douille doit prendre appui sur la bague extérieure.

On doit se servir d'un marteau ordinaire. Les têtes de marteau en métal tendre ne conviennent pas, des écailles pouvant se produire et pénétrer dans le roulement. Une douille de frappe peut être conçue avec une extrémité soudée. Si la douille doit être utilisée fréquemment, il est conseillé de la concevoir avec une surface de frappe amovible, par exemple un tampon fileté qui reçoit les coups de marteau.

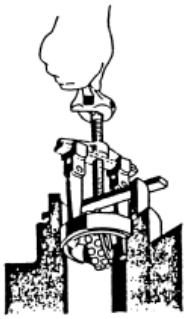


Les petits roulements peuvent être démontés à l'aide d'un extracteur usuel. Si le roulement est monté avec ajustement serré sur l'arbre, il est préférable que les griffes de l'extracteur prennent appui sur la bague extérieure.

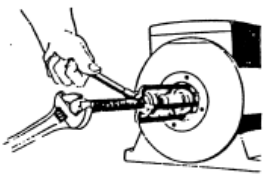
Pour ne pas endommager la portée du roulement, l'outil d'extraction doit être exactement centré. L'utilisation d'un extracteur auto-centreur élimine le risque d'avarie et facilite le démontage.



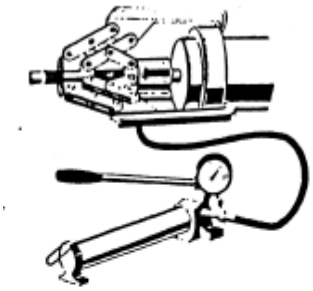
Lorsqu'il est impossible de prendre appui sur la bague intérieure, on peut utiliser l'extracteur sur la bague extérieure. Mais, ceci est important, la bague extérieure doit être mise en rotation pendant le démontage afin qu'aucun élément du roulement ne soit endommagé par l'effort de démontage. Cela est possible en immobilisant la vis et en faisant tourner l'extracteur de façon continue jusqu'à ce que le roulement soit libéré.



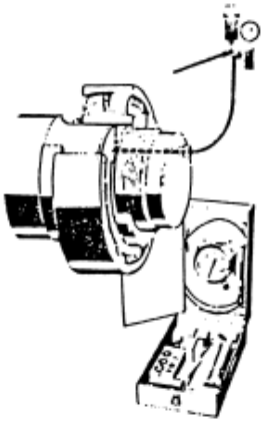
Les roulements à rotule sur billes ou sur rouleau avec ajustement serré dans le logement peuvent souvent être démontés en basculant la bague intérieure de manière à pouvoir appliquer l'extracteur sur la bague extérieure.



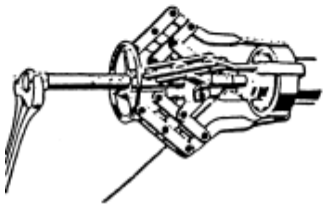
Pour le démontage des roulements rigides à billes montés avec ajustement serré sur l'arbre ainsi que le logement, il existe un extracteur spécial ayant plusieurs jeux de griffes amovibles, de tailles différentes. Introduire soigneusement entre les billes, les griffes les plus grandes possibles de manière à saisir la bague extérieure. Mettre ensuite la vis en place et la faire tourner jusqu'à ce que le roulement soit libéré.



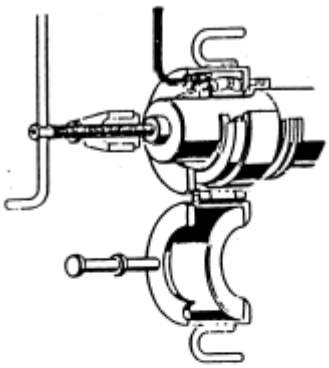
Les roulements de dimensions moyennes ayant un ajustement serré sur l'arbre demandent souvent un effort de démontage considérable. Un outillage hydraulique sera donc plus approprié qu'un outil mécanique. L'extracteur hydraulique peut exercer des efforts importants. Il est très important que les griffes de l'outil portent sur la bague intérieure, sinon l'effort de démontage nécessaire, qui est considérable, pourrait endommager le roulement.



La mise en œuvre de la méthode SKF à injection d'huile permet de réduire considérablement l'effort de démontage des roulements de taille moyenne ou de grande taille fixés sur une portée cylindrique. Cette méthode consiste à introduire de l'huile sous forte pression entre la portée du roulement et la bague intérieure par des canaux et des gorges de répartition jusqu'à ce que l'huile forme un film uniforme qui sépare les éléments. On obtient ainsi une diminution considérable du frottement, telle que le démontage ne demande qu'un très faible effort.



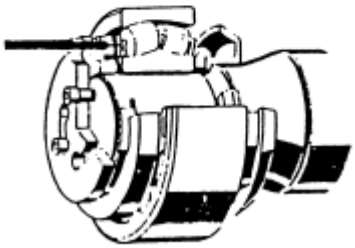
Un roulement monté sur un arbre muni de canaux et de gorges de répartition peut être démonté avec un outillage pour injection d'huile de viscosité d'environ 1000 mm^2/s à la température de fonctionnement. Enlever le roulement à l'aide d'un extracteur à centrage automatique. Comme un effort très faible suffit pour extraire le roulement, les griffes de l'outil peuvent s'appliquer contre la bague extérieure.



Lorsqu'il s'agit de démontage en série, l'utilisation d'un anneau d'injection avec un extracteur correspondant peut être moins coûteuse que l'usinage de canaux et de gorges dans l'arbre.

Il en existe deux types d'outils correspondant l'un à l'extraction mécanique, l'autre à l'extraction hydraulique.

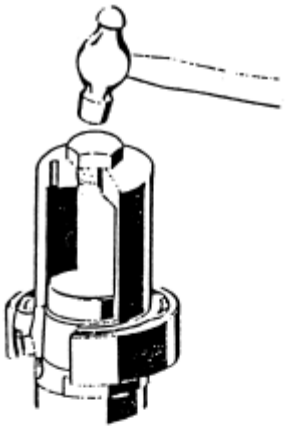
Mettre la bague d'injection en appui contre le roulement et poser le couvercle sur le roulement. Serrer légèrement la vis d'extraction ou appliquer le vérin hydraulique. Injecter de l'huile épaisse d'une viscosité d'environ 1000 mm²/s à la température de fonctionnement et extraire le roulement dès qu'il est libéré.



L'anneau d'injection peut aussi être utilisé sans l'extracteur correspondant si on prévoit une butée d'arrêt. La butée est fixée sur le bout de l'arbre avec des vis de bonne qualité (12,9) et la bague d'injection mise en appui contre le roulement.

Utiliser l'outillage pour injection d'huile avec une huile d'une viscosité d'environ 1000 mm²/s à la température de fonctionnement. Injecter l'huile jusqu'à ce qu'il y ait séparation totale du roulement et de l'arbre. Enlever la bague d'injection et retirer le roulement avec un extracteur à centrage automatique. Cette opération doit se dérouler rapidement et sans temps d'arrêt, pour éviter que le roulement ne se bloque à nouveau sur sa portée.

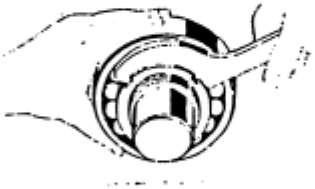
6.9 Roulements à alésage conique – montage



Les roulements de petites dimensions peuvent être enfoncés sur leur portée conique à l'aide d'une douille de frappe s'appuyant contre la bague intérieure. Pour protéger la portée, l'enduire légèrement d'une huile de faible viscosité. Se référer à la page pour la réduction de jeu et la longueur d'enfoncement.

On doit se servir d'un marteau ordinaire. Les têtes de marteau en métal tendre ne conviennent pas, des écailles pouvant se produire et pénétrer dans le roulement. Une douille de frappe peut être conçue comme il a été dit plus avant.

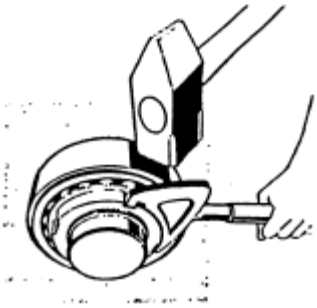
Il ne faut pas se servir de cette méthode de montage pour des applications de précision, telles que des broches de machines-outils.



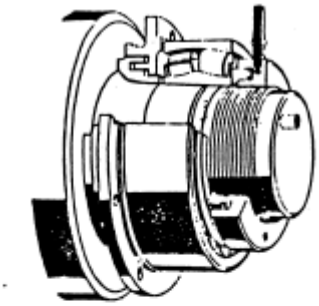
Si le tourbillon a une partie filetée, on peut enfoncer les petits roulements à l'aide d'un écrou de serrage et d'une clé à main. Pour la réduction de jeu et la longueur d'enfoncement.

Le filetage et la face de l'écrou côté roulement doivent être enduits d'une pâte au bisulfure de molybdène ou d'un lubrifiant semblable. Enduire la portée d'une huile de faible viscosité. Pousser le roulement sur la portée et accoster l'écrou. Puis enfoncer le roulement en serrant l'écrou. Enfin enlever l'écrou, monter la rondelle-frein, remettre l'écrou, le serrer et le freiner en courbant une languette de la rondelle. Vérifier le jeu radial résiduel du roulement.

S'il n'est pas possible d'effectuer l'enfoncement sans que la rondelle-frein soit en place entre l'écrou et le roulement, les surfaces en contact du roulement et de la rondelle doivent être sèches.

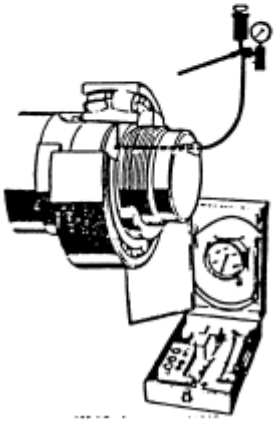


Les roulements de taille moyenne peuvent être montés à l'aide d'un écrou de serrage, mais dans ce cas, une clé de frappe doit être utilisée au lieu de la clé à main. Pour le reste, le procédé est le même que celui décrit plus haut.

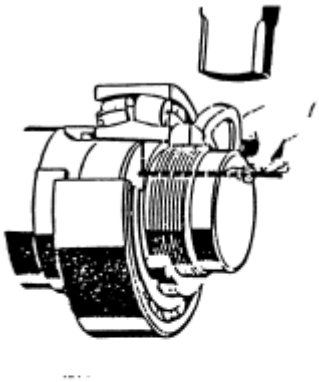


Les roulements dont le diamètre d'alésage est égal ou supérieur à 50 mm peuvent être montés au moyen d'un écrou hydraulique.

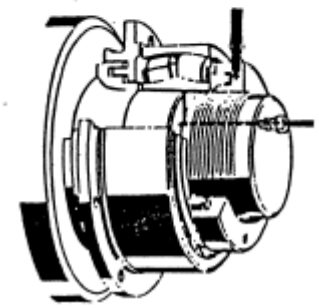
Enduire le tourbillon d'huile de faible viscosité. Pousser le roulement sur la portée, visser l'écrou hydraulique de manière que le piston soit tourné vers le roulement et le serrer légèrement. Injecter dans l'écrou de l'huile ayant une viscosité d'environ 300 mm²/s à la température de fonctionnement jusqu'à ce que le roulement soit en position correcte. Dévisser l'écrou hydraulique et le remplacer par un écrou de serrage muni d'une rondelle-frein. Vérifier le jeu résiduel du roulement.



Cette méthode qui consiste à introduire de l'huile sous haute pression entre la portée du roulement et la bague intérieure par des canaux et des gorges de répartition jusqu'à la formation d'un film de lubrifiant, sépare complétement les surfaces de contact. Ceci réduit considérablement le frottement de telle sorte que l'effort de montage est minime.



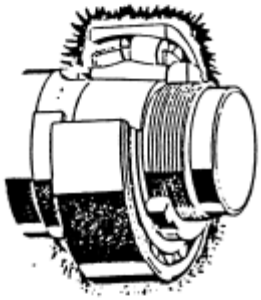
Les roulements de moyennes ou petites dimensions sont enfoncés à l'aide d'un outillage pour injection d'huile, d'un écrou de serrage et d'une clé à main ou de frappe. Enduire le filetage et la face de l'écrou côté roulement avec une pâte au bisulfure de molybdène ou un autre lubrifiant semblable. Injecter de l'huile ayant une viscosité d'environ 300 mm²/s à la température de fonctionnement entre le roulement et l'arbre jusqu'à la séparation complète des surfaces en contact. Enfoncer ensuite le roulement en serrant l'écrou à l'aide d'une clé à main. Laisser l'huile s'écouler mais maintenir l'écrou en position pendant quelques minutes. Puis l'enlever, mettre la rondelle-frein en place, remonter l'écrou, le serrer et le freiner. Vérifier le jeu résiduel.



Les grands roulements nécessitent la combinaison d'un outillage pour injection d'huile et d'un écrou hydraulique. Pousser le roulement sur le tourillon, visser l'écrou hydraulique, le piston tourné vers le roulement et le serrer légèrement. Injecter de l'huile entre le roulement et l'arbre. Enfoncer le roulement jusqu'à la position requise en injectant de l'huile dans l'écrou. Laisser l'huile s'écouler du tourillon mais maintenir l'écrou en position pendant quelques minutes avant de relâcher la pression. Enlever l'écrou hydraulique et le remplacer par un écrou de serrage avec rondelle-frein. Vérifier le jeu résiduel.

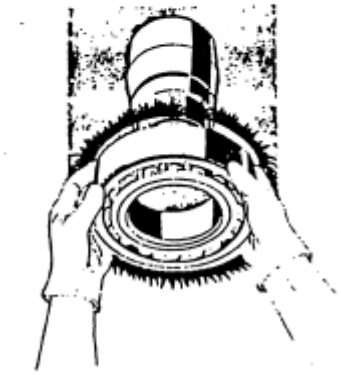
Si la méthode à pression d'huile et l'écrou hydraulique ne peuvent être utilisés, il existe une autre possibilité pour monter les grands roulements. Il suffit de les chauffer dans un bain d'huile ou à l'aide d'une résistance chauffante portative.

Quand un roulement doit être monté sur un tourillon présentant un épaulement, on commence par l'enfoncer sur la portée jusqu'à l'obtention d'un bon contact entre celle-ci et le roulement. La distance entre la bague intérieure et l'épaulement est alors mesurée et notée. Cette distance devra être diminuée de la longueur d'emmanchement qui, pour les roulements à rotule sur rouleaux, est indiquée dans le catalogue du fabricant. Une entretoise dont la largeur est égale à cette dernière dimension est montée contre l'épaulement.



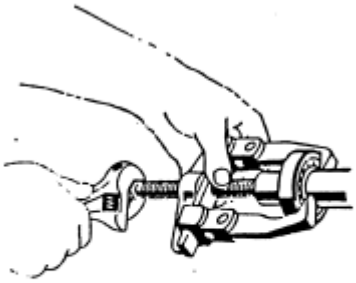
Chauffer le roulement, soit dans un bain d'huile soit à l'aide d'une résistance chauffante portative et la porter à une température supérieure de 80 à 90°C à celle de l'arbre, sans jamais dépasser 120°C. Porter des gants de protection propres en manipulant le roulement chaud ou se servir d'un appareil de levage propre. Emmancher le roulement de manière qu'il s'applique contre l'entretoise et le maintenir en position jusqu'à ce qu'il adhère à la portée. Visser l'écrou de blocage, le serrer et le freiner. Vérifier le jeu résiduel du roulement après refroidissement.

Quand un roulement doit être monté sur un tourillon ne présentant pas d'épaulement, on commence par l'enfoncer sur la portée jusqu'à obtention d'un bon contact entre celle-ci et le roulement. La distance entre la bague intérieure et un plan de référence est alors mesurée et notée. Cette distance devra être augmentée ou diminuée de la longueur d'emmanchement.



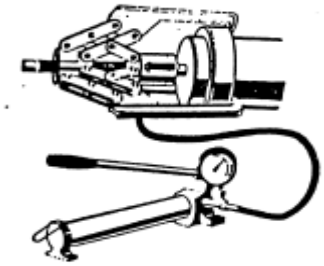
Chauffer le roulement comme il est expliqué plus haut. Emmancher le roulement sur sa portée, en mesurant la distance entre la bague intérieure et le plan de référence. Quand cette distance atteint la « cote de montage », le maintenir en cette position jusqu'à ce qu'il adhère à la portée. Visser l'écrou de blocage, le serrer et le freiner. Vérifier le jeu résiduel du roulement après refroidissement.

6.10 Roulements à alésage conique – démontage

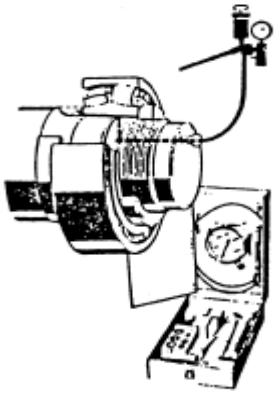


Les petits roulements peuvent être démontés à l'aide d'un extracteur usuel. Le roulement ayant un ajustement serré sur l'arbre, l'extracteur doit, si possible, prendre appui sur la bague intérieure.

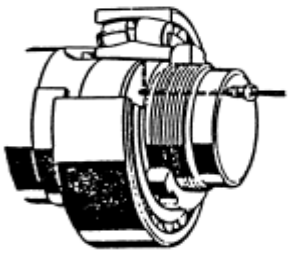
Les griffes doivent être parfaitement centrées pour éviter d'endommager la portée du roulement. Avec un extracteur à centrage automatique, on évite les détériorations et le démontage est plus simple et plus rapide.



L'extracteur ne doit être appliqué sur la bague extérieure que s'il est impossible de prendre appui sur la bague intérieure. Mais, ceci est important, il faut alors faire tourner la bague extérieure pendant le démontage pour qu'aucune partie du roulement ne soit endommagée par l'effort d'extraction. On bloque la vis et on fait tourner l'extracteur sans interruption jusqu'à ce que le roulement soit libéré.



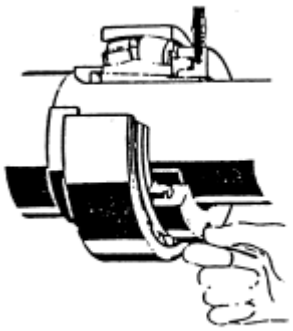
Les roulements de taille moyenne exigent souvent un effort de démontage important. Un extracteur hydraulique est alors préférable. Il est très important que les griffes de l'extracteur s'appliquent sur la bague intérieure ; sinon l'effort de démontage considérable pourrait endommager le roulement.



Lorsqu'il s'agit de démonter des roulements de taille moyenne ou de grande taille sur portée conique, l'utilisation de la méthode à pression d'huile diminue considérablement l'effort nécessaire. Cette méthode consiste à injecter de l'huile sous haute pression entre la portée du roulement et la bague intérieure, au moyen de canaux et de gorges de répartition d'huile jusqu'à obtention d'un film d'huile séparant complètement les surfaces en contact. Un effort axial est alors engendré et le roulement glisse sur sa portée.

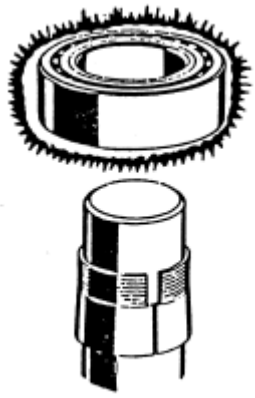
Avant qu'un film d'huile n'ait été formé sur toute la surface de contact, placer une butée, par exemple un écrou de serrage, contre le roulement pour l'empêcher d'être éjecté. Avec un outillage pour injection d'huile, introduire de l'huile ayant une viscosité d'environ 1000 mm²/s à la température de fonctionnement entre le roulement et la portée. Lorsqu'un suintement se produit autour de la bague intérieure, on peut être certain que le roulement est séparé de la portée. Relâcher la pression et déplacer la butée un peu au-delà de la longueur d'enfoncement axial. Réinjecter de l'huile et le roulement glissera rapidement de sa portée.

6.11 Roulements à alésage conique montés sur manchons de serrage – montage



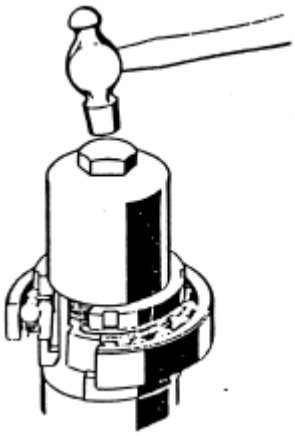
Il est facile et fiable de monter les roulements dont l'alésage est égal ou supérieur à 50 mm à l'aide d'un écrou hydraulique qu'ils viennent ou non en appui contre un épaulement.

Enduire la surface extérieure du manchon d'huile à faible viscosité. Positionner le roulement sur le manchon, placer l'écrou hydraulique avec le piston tourné vers le roulement et serrer légèrement. Injecter de l'huile d'une viscosité d'environ 300 mm²/s à la température de fonctionnement dans l'écrou jusqu'à ce que le roulement ait atteint l'enfoncement désiré. Enlever l'écrou hydraulique, mettre la rondelle-frein, visser l'écrou du manchon, le bloquer, le freiner. Vérifier le jeu interne résiduel du roulement.



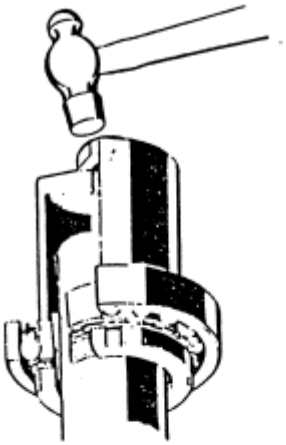
Si un écrou hydraulique ne peut être utilisé, il existe une autre possibilité pour monter les grands roulements à rotule sur rouleaux ; il suffit de la chauffer préalablement dans un bain d'huile ou à l'aide d'une résistance chauffante portative.

6.12 Roulements à alésage conique montés sur manchons de serrage – démontage

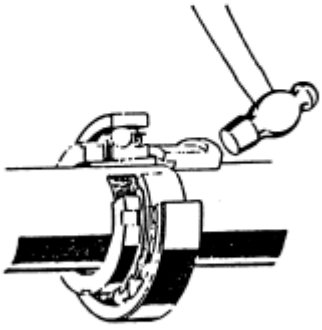


Les roulements de petite taille ou de taille moyenne, montés sur manchons de serrage peuvent être démontés en frappant avec un marteau sur une douille appuyée sur l'écrou du manchon ou sur la bague intérieure. Ce qui a été dit sur la douille et le marteau est encore valable ici.

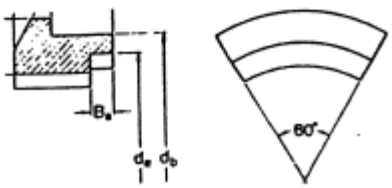
Desserrer l'écrou de quelques tours. Appliquer la douille contre l'écrou si le roulement est monté contre un épaulement et donner franchement quelques coups sur la douille pour que le roulement se libère.

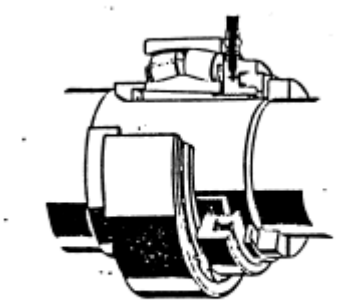


Si le roulement est monté avec l'écrou disposé vers l'intérieur, la douille doit être placée contre la bague intérieure.



Si le roulement est monté de façon telle qu'il est impossible de le démonter avec une douille, une pièce en acier selon le plan ci-dessous peut être utilisée. C'est un secteur d'une bague tournée qui peut être fabriquée dans l'atelier même.



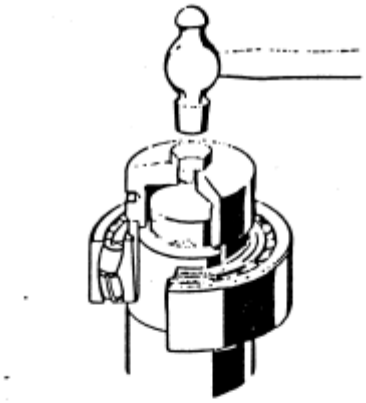


Les écrous hydrauliques permettent de réduire considérablement l'effort nécessaire au démontage des grands roulements sur manchons de serrage.

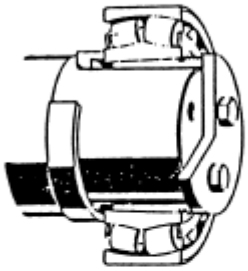
Pour utiliser un écrou hydraulique, le roulement doit être monté contre un épaulement, conçu de manière que le manchon puisse y pénétrer. Il faut aussi pouvoir mettre en place un dispositif de butée contre lequel le piston prenne appui. La butée peut être une bague en deux pièces, insérée dans une gorge sur l'arbre et maintenue par une bague en une pièce. Elle peut être aussi une plaque vissée en bout d'arbre et d'une entretoise adaptée entre cette plaque et le piston.

Visser l'écrou hydraulique sur le manchon mais laisser au roulement un jeu supérieur à la longueur d'enfoncement axial. Injecter une huile de viscosité d'environ 300 mm^2/s à la température de fonctionnement jusqu'à la libération du roulement.

6.13 Roulements à alésage conique montés sur manchons de démontage – montage

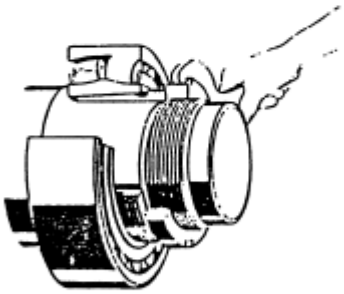


On peut enfoncer les manchons de démontage dans l'alésage des petits roulements au moyen de coups de marteau appliqués à une douille en appui contre le manchon. Pour éviter que celui-ci prenne une position oblique, la douille doit être guidée par l'arbre ou par l'alésage du manchon. De plus, on doit monter un écrou sur ce manchon pour éviter que son diamètre n'augmente par déformation.

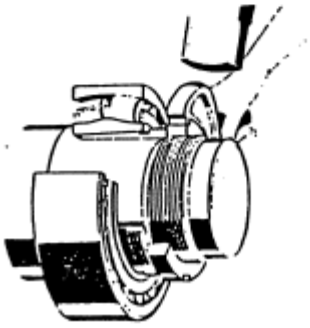


Enduire légèrement l'arbre et la surface extérieure du manchon avec une huile de faible viscosité. Enfoncer le manchon sous le roulement de manière que les portées coniques soient en contact.

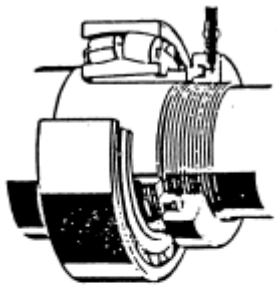
Quand le manchon est en place, il doit être arrêté, par exemple par une place boulonnée en bout d'arbre. Vérifier le jeu résiduel.



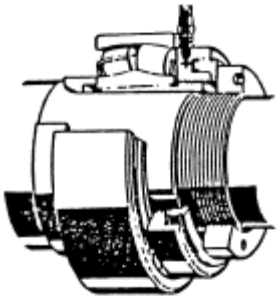
Si la portée comporte un filetage, les manchons de démontage peuvent être enfoncés dans l'alésage des petits roulements à l'aide d'un écrou et d'une clé à main.



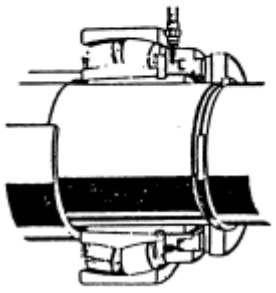
Les roulements de moyennes dimensions peuvent également être montés à l'aide d'un écrou mais dans ce cas, la clé à main est remplacée par une clé de frappe.



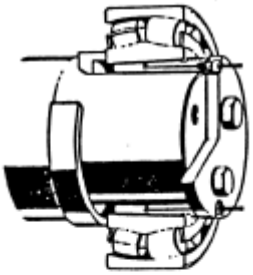
Si l'arbre comporte une partie filetée en avant du manchon, un écrou hydraulique approprié peut être vissé directement sur l'arbre. Le piston doit être tourné vers le manchon. Enduire l'arbre et la surface du manchon avec une huile de faible viscosité. Injecter de l'huile dans l'écrou. Le manchon sera alors poussé sous le roulement et celui-ci s'enfoncera sur le cône. Retirer l'écrou hydraulique et arrêter le manchon par exemple à l'aide d'un écrou et d'une rondelle-frein. Vérifier le jeu résiduel.



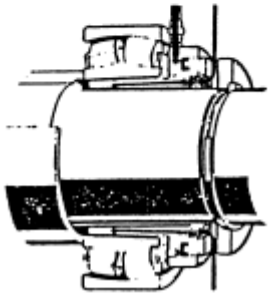
L'écrou hydraulique est vissé sur le manchon, le piston à l'opposé du roulement. Laisser un jeu entre l'écrou et le roulement, au moins égal à la longueur d'enfoncement axial. Fixer une butée pour le piston, par exemple un écrou sur l'arbre. Pomper l'huile dans l'écrou. Le manchon sera alors poussé sous le roulement et le roulement enfoncé sur la portée conique. Retirer l'écrou hydraulique et arrêter le manchon, par exemple à l'aide d'un écrou et d'une rondelle-frein. Vérifier le jeu résiduel.



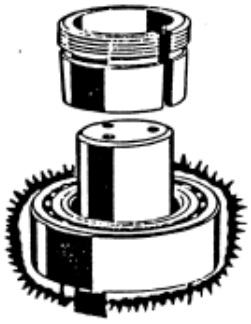
Si l'arbre ne comporte pas de filetage, on peut appuyer l'écrou hydraulique sur une bague en une pièce dans laquelle est centrée une bague en deux pièces ou un jonc fixé dans une rainure de l'arbre et qui retient la bague d'appui dans le sens axial. On procède au montage comme expliqué précédemment.



Un grand roulement peut être monté facilement sur un manchon de démontage muni de canaux et de gorges de répartition car l'huile sous pression réduit considérablement le frottement. Pousser le manchon sous le roulement jusqu'à obtention d'un bon contact entre l'arbre, le manchon et le roulement. Injecter de l'huile dans les canaux du manchon jusqu'à ce qu'elle suinte sur toute la circonférence. Enfoncer le manchon sous le roulement de la longueur d'enfoncement prédéterminée, à l'aide des vis et de la plaque d'arrêt en bout d'arbre. Evacuer l'huile et si possible laisser la plaque d'arrêt dans sa position comme dispositif de verrouillage. Vérifier le jeu interne résiduel.

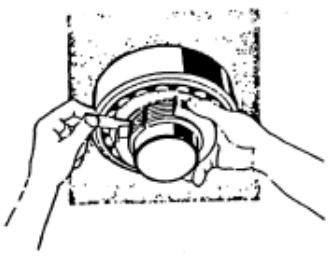


L'utilisation d'un écrou hydraulique facilite le montage des grands roulements. On doit cependant prévoir une butée.



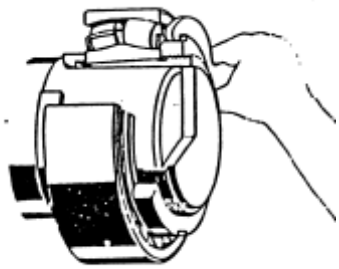
Quand on ne peut utiliser un écrou hydraulique, il est possible de monter les roulements à rotule sur rouleaux de grandes dimensions en les chauffant préalablement dans un bain d'huile ou à l'aide d'une résistance chauffante portative.

Pousser le manchon dans l'alésage du roulement jusqu'à obtention d'un bon contact entre le roulement, le manchon et l'arbre. Visser l'écrou en laissant à la bague intérieure du roulement un jeu correspondant à la longueur d'enfoncement. Repérer la position de l'écrou sur le manchon. Retirer le roulement.



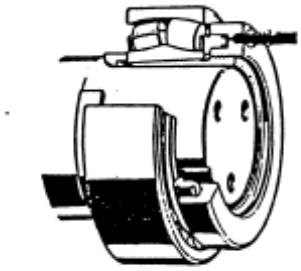
Chauffer le roulement dans un bain d'huile ou à l'aide d'une résistance chauffante portative et l'amener à une température supérieure à celle de l'arbre d'environ 80 à 90 °C sans jamais dépasser 120 °C. Porter des gants de protection propres en manipulant le roulement chaud. On peut aussi se servir d'un appareil de levage propre. Pousser le manchon, avec l'écrou dans la position déterminée précédemment, dans l'alésage du roulement jusqu'à ce que l'écrou soit en contact avec la bague intérieure. Maintenir le manchon en place jusqu'à ce que le roulement ait refroidi suffisamment pour serrer le manchon. Vérifier le jeu interne résiduel du roulement.

6.14 Roulements à alésage conique montés sur manchons de démontage - démontage



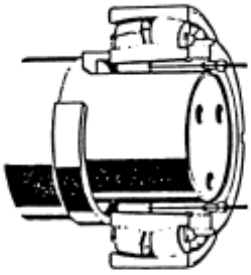
Les roulements petits et moyens sur manchons de démontage peuvent être démontés à l'aide d'un écrou de démontage et d'une clé de frappe. Si le manchon fait saillie par rapport au bout d'arbre, une rondelle support doit être introduite dans l'alésage du manchon pour empêcher sa déformation. Cette rondelle doit avoir le même diamètre nominal que l'alésage du manchon.

Enduire le filetage du manchon et du côté de l'écrou tourné vers le roulement d'une pâte au bisulfure de milybdène ou d'un lubrifiant semblable. Visser l'écrou et le serrer jusqu'à ce que le roulement se libère.



Les petits manchons de démontage ne sont pas munis de canaux ou de gorges de répartition d'huile en vue du démontage par la méthode à pression d'huile car un écrou hydraulique suffit à les extraire.

Visser l'écrou hydraulique, le piston face au roulement. Le serrer légèrement jusqu'à ce que le piston prenne appui contre la bague intérieure. Injecter dans l'écrou de l'huile de viscosité 300 mm²/s à la température de fonctionnement jusqu'à ce que le roulement se libère.



Les manchons de démontage pour les grands roulements sont généralement munis de deux canaux et de gorges de répartition d'huile. L'huile est introduite par un canal entre le manchon et l'arbre et par l'autre entre le manchon et le roulement. L'huile sous pression réduit l'effort de démontage du roulement et le manchon peut donc être retiré à l'aide d'un écrou et d'une clé de frappe.

Visser l'écrou de démontage et le serrer. Injecter une huile de viscosité supérieure à 1000 mm²/s à la température de fonctionnement dans les canaux du manchon jusqu'à séparation des surfaces en contact. Serrer l'écrou à l'aide d'une clé de frappe jusqu'à ce que le manchon se libère.

7 Avaries

Même si l'on n'a rien remarqué d'anormal pendant le fonctionnement, il faut profiter d'un démontage éventuel pour examiner les roulements ainsi que les pièces voisines. On a en effet la possibilité d'enrayer une détérioration avant qu'elle ne s'aggrave, et d'éviter ainsi un démontage ultérieur susceptible de causer des perturbations.

L'inspection doit être conduite avec méthode. Examiner par exemple successivement, pour chaque roulement, les surfaces extérieures, les surfaces latérales et les surfaces intérieures de la bague extérieure. Procéder de même pour la bague intérieure. Passer ensuite à la cage et aux éléments roulants, dans la mesure où ils sont accessibles. Cette opération est facilitée dans le cas des roulements à rotule, car on peut faire basculer leur bague extérieure. Vient ensuite le tour des éléments accessoires, tels que manchons coniques, écrous, rondelles-frein, puis la portée de l'arbre, le logement et les dispositifs d'étanchéité.

Cet examen a pour but de déceler toutes les avaries et anomalies : taches de rouille, colorations, ruptures ou fissures, usure exagérées, empreintes, etc.

La rouille est une cause de rebut lorsqu'elle apparaît sur les éléments roulants ou sur les pistes ; de même, en quel qu'endroit qu'elle se trouve, la rouille profonde, qui peut constituer une amorce de rupture.

Une légère coloration des pistes ou des éléments roulants ne doit donner lieu à aucune mesure spéciale. Par contre une coloration bleue foncée montre que le roulement a certainement chauffé et perdu sa dureté superficielle, et qu'il doit être rebuté.

Les ruptures ou fissures sont dans tous les cas une cause suffisante de mise au rebut d'un roulement ou d'un arbre. Un palier peut parfois être réparé.

L'usure d'une portée ou d'un logement, en raison de son influence néfaste sur l'ajustement, nécessite le remplacement de la partie incriminée, si celle-ci ne peut pas être réparée.

Une usure de la cage ne donne pas lieu à un rebut, sauf si elle est suffisante pour faire craindre sa rupture.

Les empreintes et les éraflures sur les pistes et les éléments roulants sont dangereuses.

Vérifier également si les dispositifs d'étanchéité ne sont pas détériorés et si les portées sur lesquelles frottent des joints à lèvres ne sont pas creusés.

La plupart des avaries de roulements sont dues à des erreurs qu'il aurait été facile d'éviter. Aussi est-il important de pouvoir, par un examen, en déterminer les causes, de manière à y apporter le remède approprié.

Les pages suivantes montrent quelques avaries.

Rupture par fatigue normale

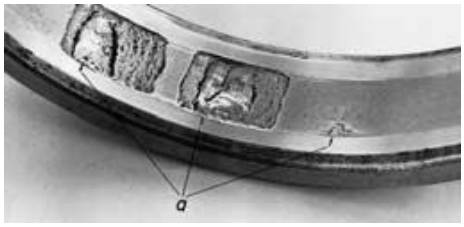
Ecaillage sur la bague intérieure d'un roulement à billes à gorges profondes. (image FAG)

Dernière phase d'une fatigue normale : rupture brutale de la bague intérieure d'un roulement à billes à gorges profondes. (image FAG)

Montage défectueux

Empreintes dans les pistes d'un roulement à billes à gorges profondes dues au montage défectueux. (image FAG)

Rayures sur le chemin de roulement d'une bague intérieure d'un roulement à rouleaux cylindriques. (image FAG)



Fatigue prématurée d'une bague extérieure d'un roulement à rouleaux cylindriques précédée par des rayures qu'on peut encore observer en «a». (image FAG)

Epaulement brisé sur un roulement à rotule sur une rangée de rouleaux dont la bague intérieure a été emmanchée à coups de marteau. (image FAG)

Trace de rotation oblique par suite d'un mauvais alignement de la bague intérieure fixe d'un roulement à billes à gorges profondes. (image FAG)

Ecaillage unilatéral par suite d'un mauvais alignement de la bague intérieure fixe d'un roulement à rouleaux coniques. (image FAG)

Corrosion

Corrosion sur la bague intérieure d'un roulement à rouleaux coniques.

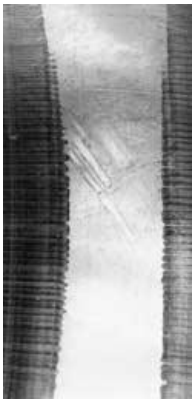
Traces d'attaque sur la piste extérieure d'un roulement à rotule sur billes.

Cratères dans la piste de la bague extérieure d'un roulement à rotule sur billes produits par la rouille de contact (faux-brinelling). (image FAG)

Traces de vibration sur le chemin de roulement d'une bague intérieure d'un roulement à rouleaux cylindriques. (image FAG)

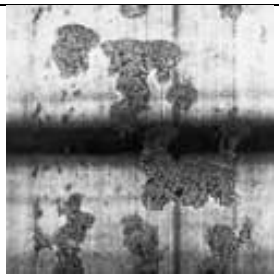
Passage de courant électrique

Stries sur les rouleaux d'un roulement à rotule sur rouleaux causées par le passage de courant. (image FAG)

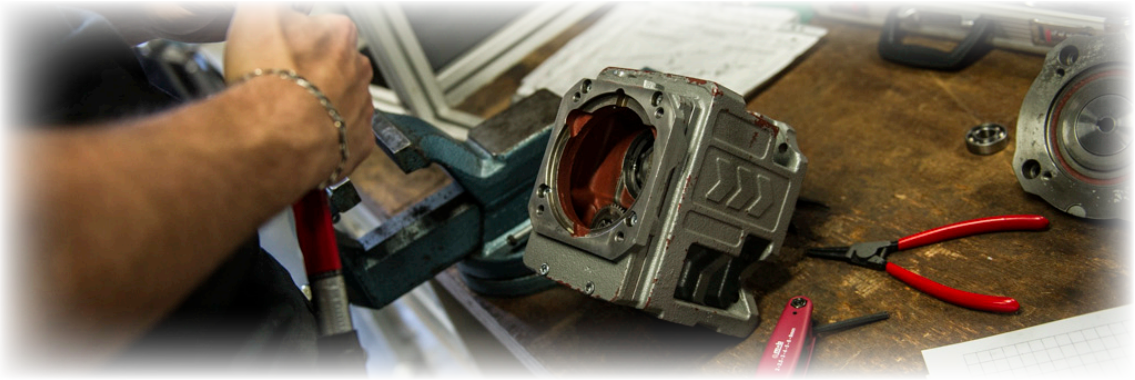


Stries dans la piste extérieure d'un roulement à rotule sur rouleaux produites par le passage de courant. (image FAG)

Défaut de lubrification



Un film lubrifiant insuffisant entraîne l'arrachement de fragments plus grands de matériau. (image FAG)



MÉCANIQUE GÉNÉRALE

ENGRENAGES

RÉDUCTEURS

8 Généralités

8.1 Roue d'engrenage

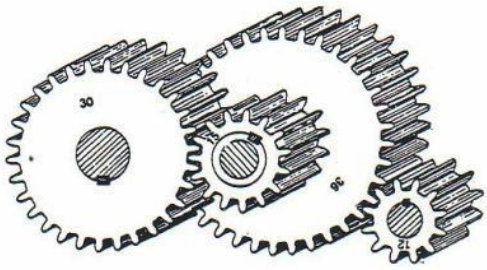
Une roue d'engrenage est un organe destiné à en mouvoir un autre, ou à être mû par lui, par l'action des dents successivement en contact.

8.2 Engrenage

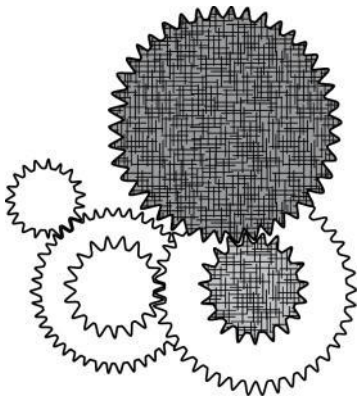
Un engrenage est un mécanisme élémentaire constitué de deux roues d'engrenage mobiles autour d'axes de position relative invariable et dont l'une entraîne l'autre.

8.3 Train d'engrenage

Un train d'engrenage est une combinaison de plusieurs engrenages.



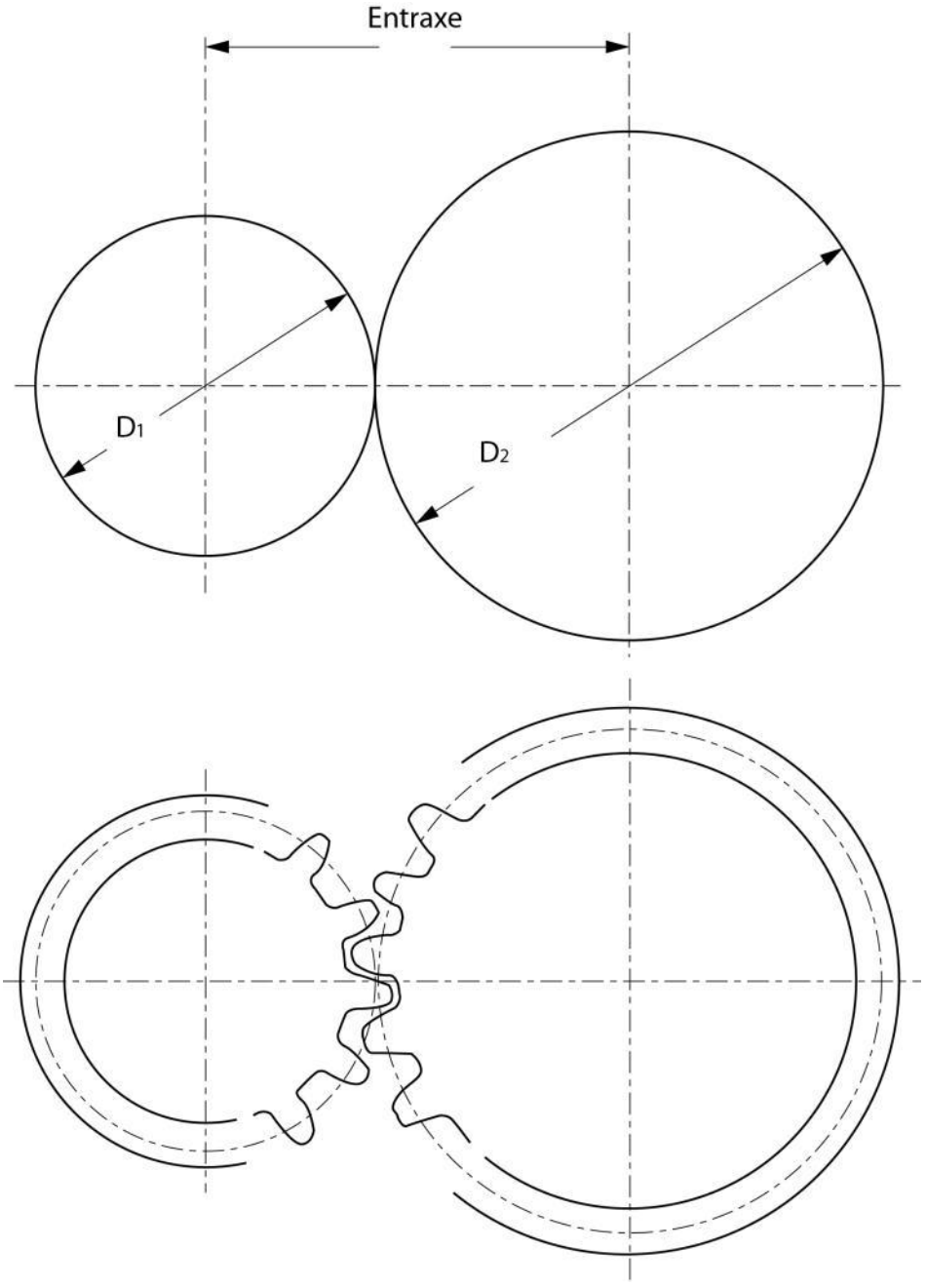
Train de deux engrenages



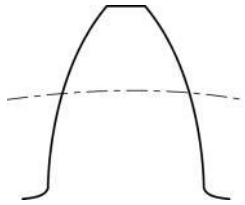
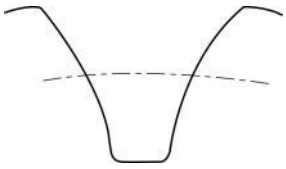
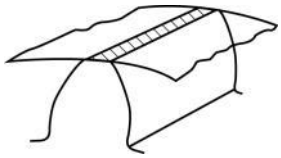
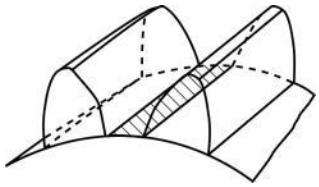
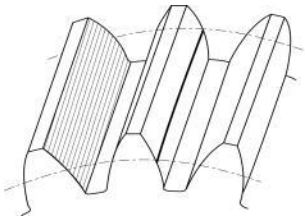
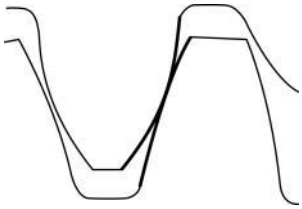
Train de trois engrenages

9 Analogie avec des roues à friction

On peut noter l'analogie avec des roues à friction ; mais dans le cas d'engrenage, la transmission du mouvement se fait sans glissement.



10 Terminologie

Dent Dans une roue, chacun des éléments en saillie destiné à assurer par contact avec les dents de l'autre roue l'entraînement de l'une des roues par l'autre.	
Entredent Espace séparant deux dents voisines d'une roue.	
Surface de tête Surface coaxiale à la roue contenant les sommets des dents.	
Surface de pied Surface coaxiale à la roue, tangente au fond des entredents.	
Flanc Portion de la surface d'une dent comprise entre la surface de tête et la surface de pied.	
Ligne de flanc Intersection d'un flanc avec la surface primitive.	
Profil Section d'un flanc par une surface donnée définie par rapport à la surface primitive de référence.	
Flanc conjugué Dans un engrenage, l'un des deux flancs en contact avec l'autre.	
Flanc avant Celui des deux flancs d'une dent par lequel se transmet le mouvement de, ou à, la roue conjuguée. **Flanc arrière** Flanc anti-homologue du flanc avant.	

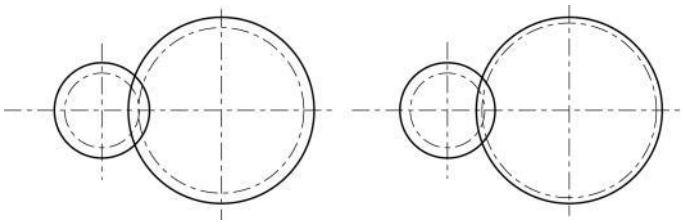
Flanc de saillie Portion de flanc comprise entre la surface de tête et la surface primitive de référence.	
Flanc de creux Portion de flanc comprise entre la surface de pied et la surface primitive de référence.	
Flanc actif Portion de flanc d'une roue sur laquelle s'effectue le contact avec les flancs d'une roue conjuguée.	
Cercle de tête Section du cylindre de tête par un plan perpendiculaire à l'axe de la roue.	
Diamètre de tête Diamètre du cercle de tête	
Cercle de pied Section du cylindre de pied par un plan perpendiculaire à l'axe de la roue.	
Diamètre de pied Diamètre du cercle de pied.	
Largeur de denture Largeur de la partie dentée d'une roue, mesurée suivant une génératrice du cylindre primitif de référence.	
Hauteur de dent (h) Distance radiale entre le cercle de tête et le cercle de pied.	
Saillie (h_a) Distance radiale entre le cercle de tête et le cercle primitif.	
Creux (h_t) Distance radiale entre le cercle de pied et le cercle primitif.	
Epaisseur Longueur de l'arc de cercle primitif compris entre les deux profils d'une dent.	
Intervalle Longueur de l'arc de cercle primitif compris entre les deux profils situés de part et d'autre d'une entredent.	
Pas circonférentiel Longueur de l'arc de circonférence primitive égale à une épaisseur et à un intervalle.	

<table>
<tr><td>Module (m)

Le module est le quotient du pas circonférentiel (exprimé en mm) par 3,14. On peut également le définir comme étant le quotient du diamètre (exprimé en mm) par le nombre de dents z.</td><td>$m = \frac{p}{3,14}$ $m = \frac{d}{z}$</td></tr>
<tr><td colspan="2">Roue conjuguée

Une roue conjuguée est une quelconque des deux roues d'un engrenage considérée par rapport à l'autre.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Pignon

On appelle pignon celle des deux roues d'un engrenage qui a le plus petit nombre de dents.</td></tr>
<tr><td>Roue

On appelle roue celle des deux roues qui a le plus grand nombre de dents.</td><td>  </td></tr>
<tr><td colspan="2">Roue menante

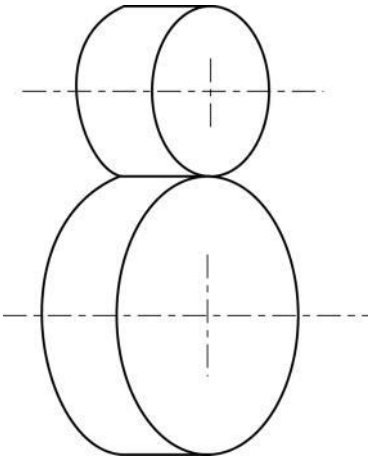
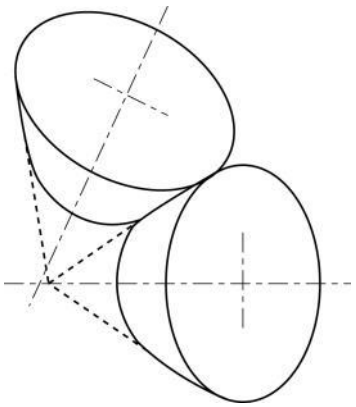
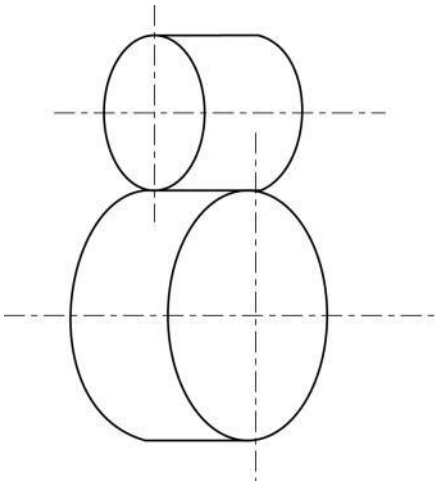
La roue menante est la roue d'un engrenage qui entraîne l'autre.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Roue menée

La roue menée est la roue qui est entraînée par l'autre.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Entraxe

L'entraxe est la distance entre les axes d'un engrenage.</td></tr>
</table>

11 Différents types d'engrenages

Suivant la position relative des axes des deux roues, on distingue différents types d'engrenages.

Engrenages parallèles Ce sont les engranges dont les axes sont parallèles.	
Engrenages concourants Ce sont les engrenages dont les axes sont concourants.	
Engrenages gauches Ce sont les engrenages dont les axes ne sont pas dans un même plan.	

12 Engrenage cylindrique

Roue cylindrique

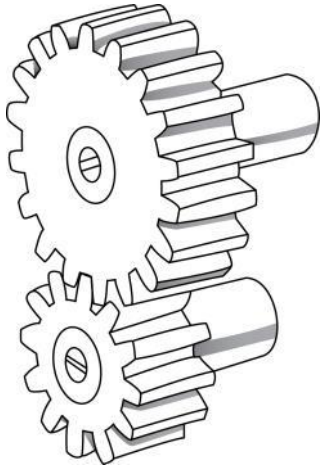
Roue dont la surface primitive est cylindrique.

Engrenage cylindrique

Engrenage constitué de deux roues cylindriques conjuguées.

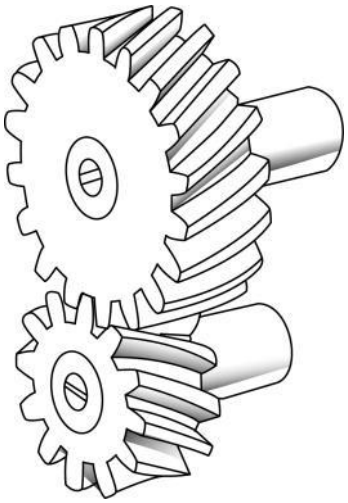
Roue cylindrique droite

Roue cylindrique dont les lignes de flanc sont des génératrices du cylindre primitif de référence.



Roue cylindrique hélicoïdale

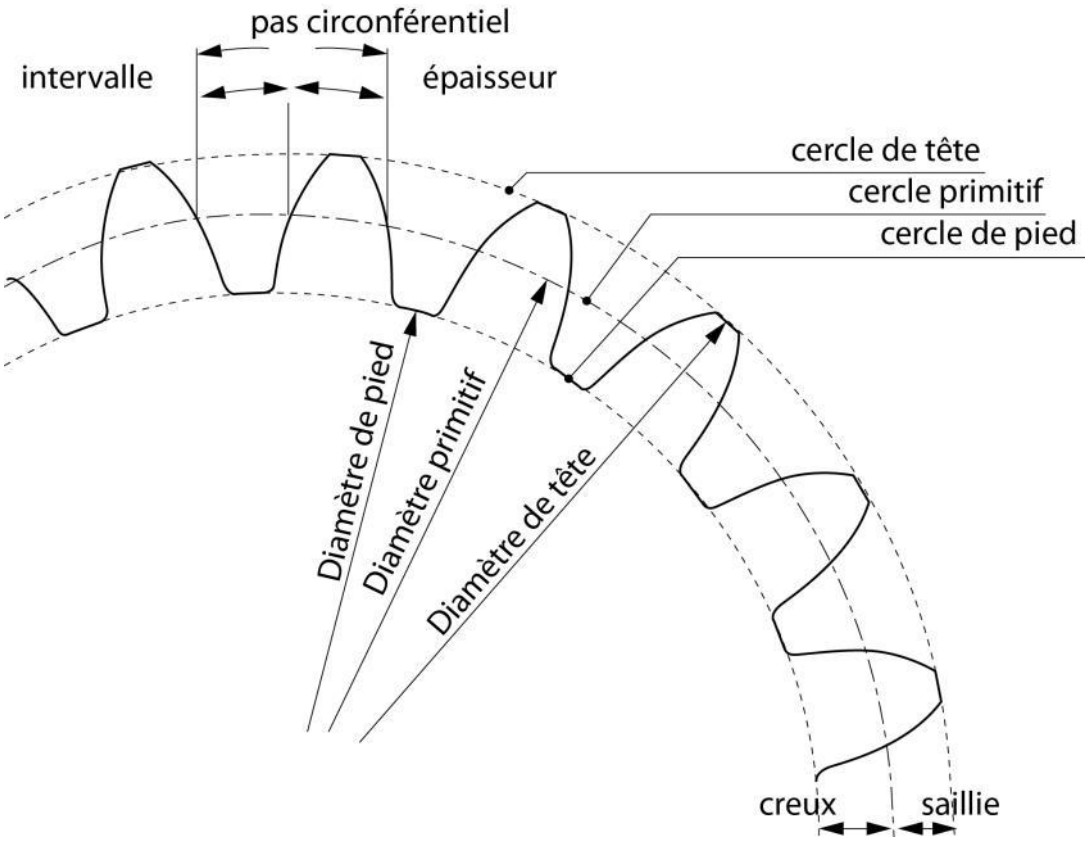
Roue cylindrique dont les lignes de flancs sont des hélices.

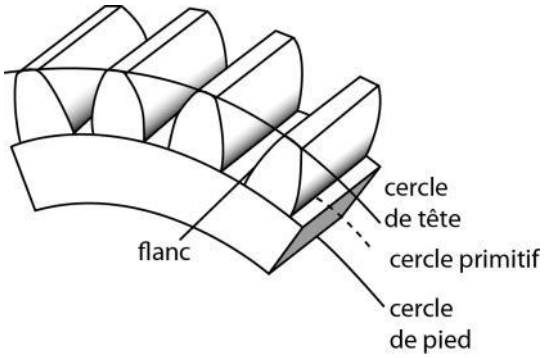


13 Engrenages parallèles

13.1 Roue cylindrique à denture droite

13.1.1 Caractéristique de la denture





Cylindre primitif	Cylindre de roues de friction donnant le même rapport de vitesse que celui de l'engrenage considéré.
Cercle primitif	Section droite du cylindre primitif.
Circonférence primitive	Les circonférences primitives de deux roues conjuguées sont tangentes pendant le mouvement de rotation.
Diamètre primitif	Diamètre du cercle primitif. (Symbole : d)

13.1.2 Relation entre le module et les différentes dimensions d'une denture

m = module

z = nombre de dents

d = diamètre primitif = m . z

h_a = saillie = m

h_t = creux = 1,25

Diamètre de tête = diamètre primitif + 2 m = m . (z+2)

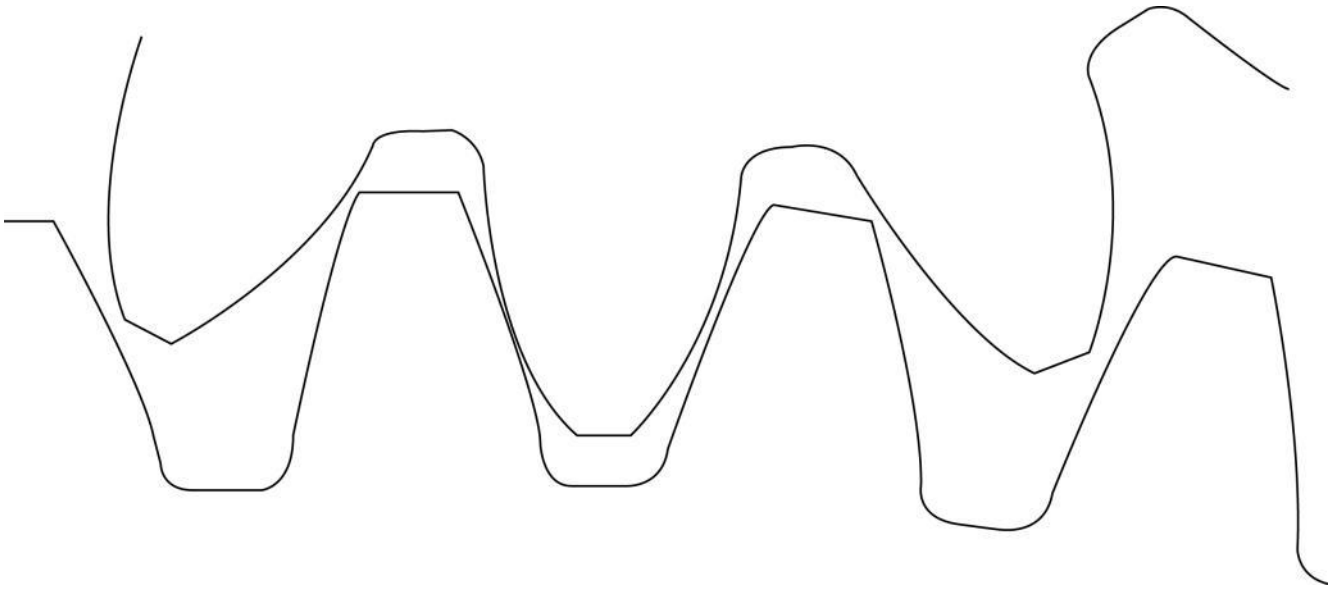
Diamètre de pied = diamètre primitif – 2 . 1,25 m = m . (z-2,5 m)

Hauteur de dent = 2,25 m

Pas circonférentiel = 3,14 m

Epaisseur = 1,57 m

Intervalle = 1,57 m



13.2 Relation entre vitesse de rotation et nombre de dents

Les roues dentées roulent l'une sur l'autre comme deux roues de friction ayant pour diamètre extérieur s, les diamètres primitifs des roues dentées.

La vitesse circonférentielle d'un point P_1 pris sur la circ. primitive de la roue « 1 » est égale à la vitesse circonférentielle d'un point P_2 pris sur la circonférence primitive de la roue « 2 ».

$v_1 = v_2$

$v_1 = \frac{\pi\, d_1 n_1}{60}$ et $v_2 = \frac{\pi\, d_2\, n_2}{60}$

$\frac{\pi\, d_1\, n_1}{60} = \frac{\pi\, d_2\, n_2}{60}$

$d_1\, n_1 = d_2\, n_2$

$\frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1}$

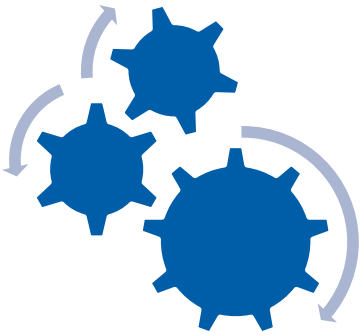
Or $d_1 = m \cdot z_1$ et $d_2 = m \cdot z_2$

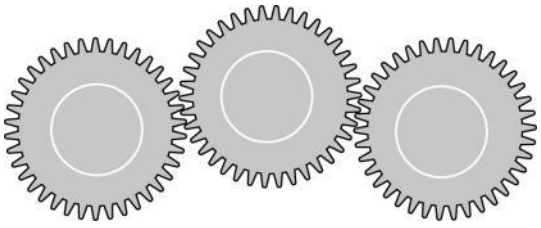
D'où $\frac{n_1}{n_2} = \frac{m \cdot z_2}{m \cdot z_1}$ ou $\frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1}$

Les vitesses de rotation des roues dentées d'un engrenage sont inversément proportionelles au nombre de leurs dents.

13.3 Sens de rotation

Dans un engrenage extérieur, les roues dentées tournent en sens inverse.

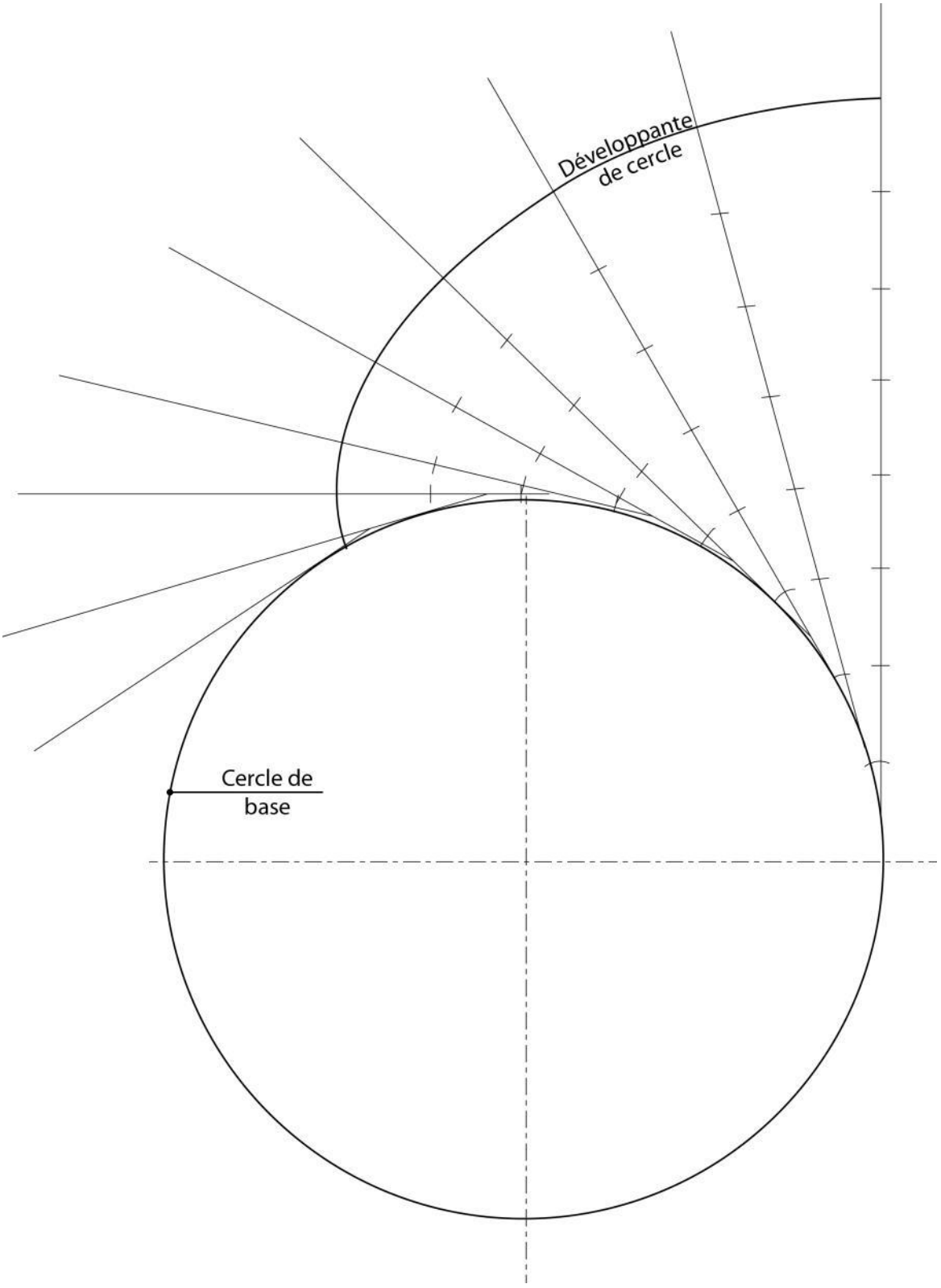




Pour qu'elles tournent dans le même sens, il faut utiliser une roue intermédiaire.

13.4 Développante de cercle

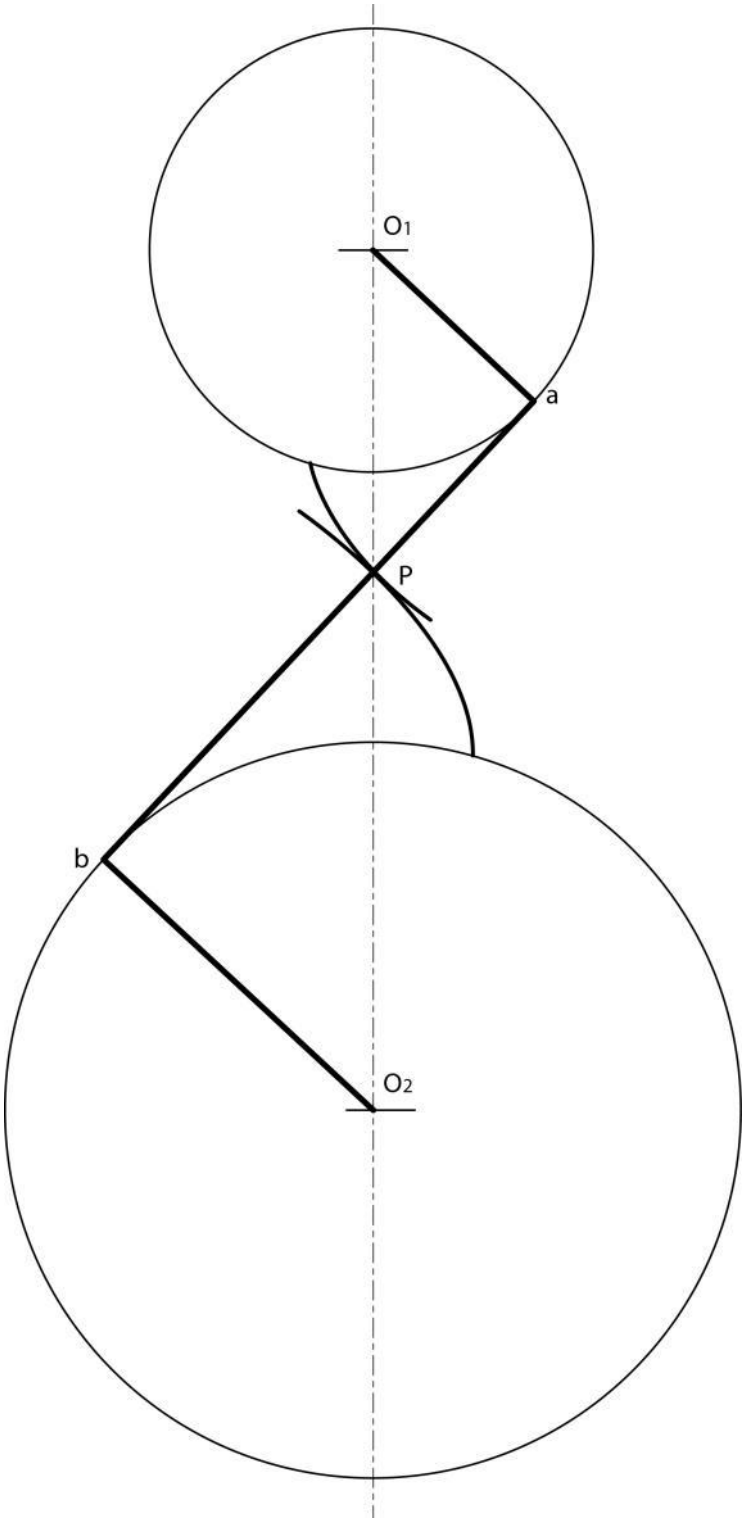
Courbe plane décrite par un point d'une droite (droite génératrice) qui roule sans glisser sur un cercle fixe (cercle de base).



13.5 Ligne d'action

Considérons une transmission par courroie croisée. Un point P de la courroie décrit une développante de cercle par rapport à la poulie de centre O_1 et une autre par rapport à la poulie de centre O_2.

La tension de la courroie en P s'exerce suivant la ligne d'action « a » « b ». Cette ligne est une normale commune aux deux développantes.



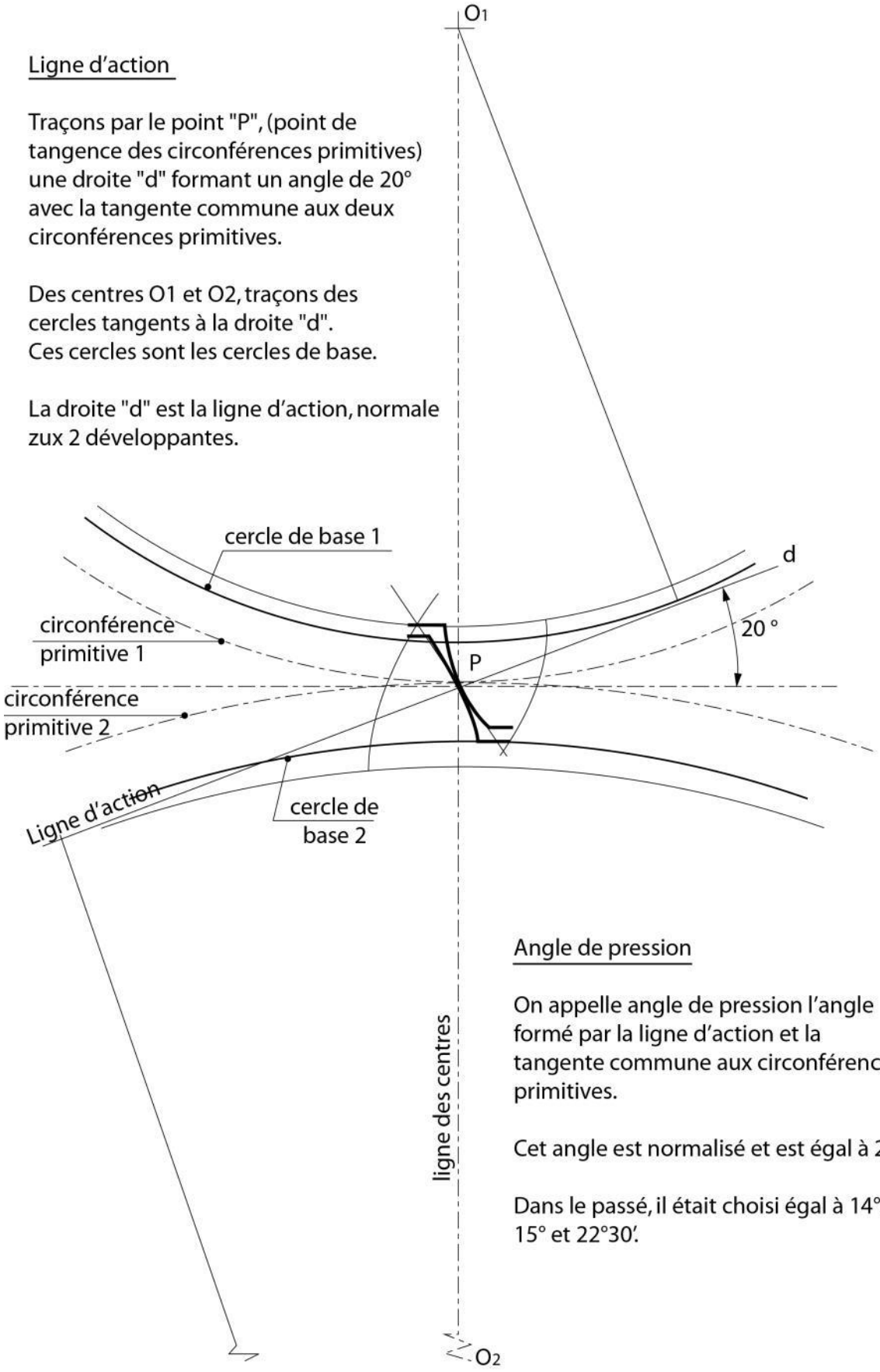
13.6 Angle de pression

Ligne d'action

Traçons par le point "P", (point de tangence des circonférences primitives) une droite "d" formant un angle de 20° avec la tangente commune aux deux circonférences primitives.

Des centres O1 et O2, traçons des cercles tangents à la droite "d". Ces cercles sont les cercles de base.

La droite "d" est la ligne d'action, normale zux 2 développantes.



Angle de pression

On appelle angle de pression l'angle formé par la ligne d'action et la tangente commune aux circonférences primitives.

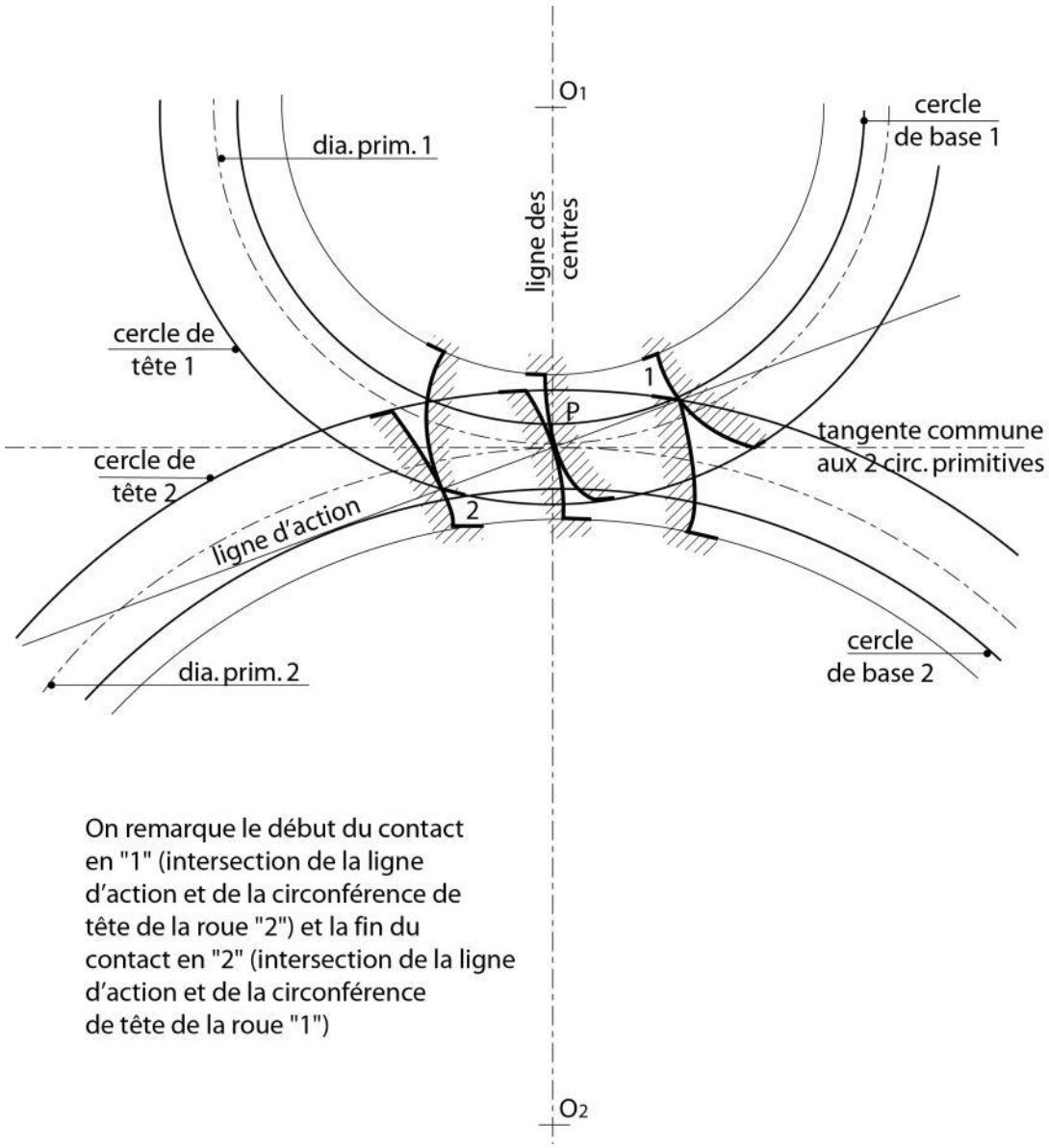
Cet angle est normalisé et est égal à 20°.

Dans le passé, il était choisi égal à 14°30', 15° et 22°30'.

13.7 Continuité de l'engrènement

Considérons un engrenage (une roue de centre O_1 et une roue de centre O_2). La roue « 1 » est la roue menée et tourne dans le sens horlogique et la roue « 2 » est la roue menante et tourne dans le sens anti-horlogique.

Le croquis montre le profil du flanc avant d'une dent de la roue « 1 » et le profil du flanc arrière de la dent conjuguée de la roue « 2 ». Ces deux dents dont les flancs sont en contact occupent trois positions.



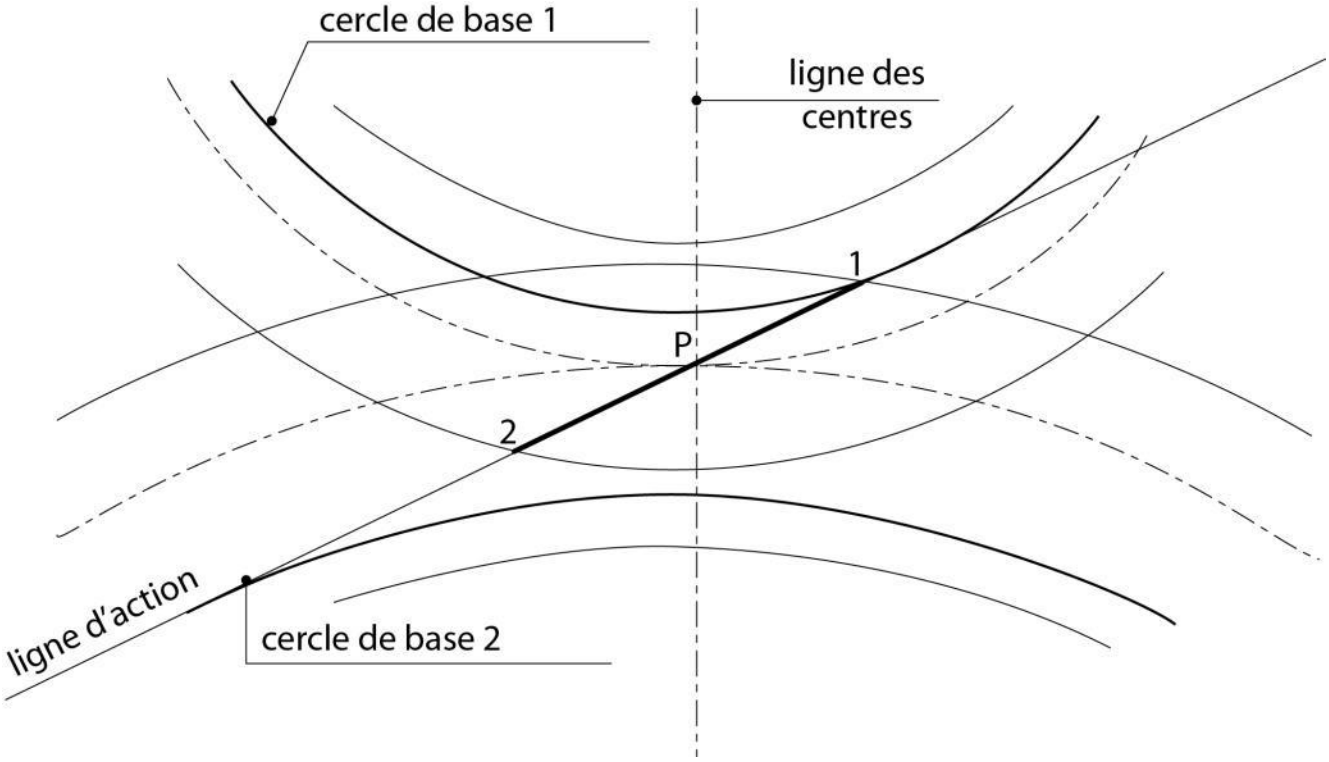
On remarque le début du contact en "1" (intersection de la ligne d'action et de la circonférence de tête de la roue "2") et la fin du contact en "2" (intersection de la ligne d'action et de la circonférence de tête de la roue "1")

13.8 Rapport de la conduite

On a vu à la page précédente que deux dents entraient en contact au point « 1 » et qu'elles perdaient ce contact au point « 2 ».

Les points « 1 » et « 2 » sont les intersections de la ligne d'action avec les cercles de tête.

On appelle longueur de conduite (ou d'engrènement) la longueur de la ligne d'action, entre le cercle de tête de la roue menante et le cercle de tête de la roue menée. (longueur "1-P-2)



On appelle longueur d'approche la longueur du segment de la ligne d'action entre le point « 1 » et le point « P ».

On appelle longueur de retraite la longueur du segment de la ligne d'action entre le point « P » et le point « 2 ».

Pour assurer une conduite continue, une dent doit entrer en contact avec la dent conjuguée, avant que la précédente perde le contact.
Pour cela, il faut que la longueur d'arc de conduite soit plus grande que le pas circonférentiel.

Le rapport de cet arc sur le pas circonférentiel ne doit pratiquement pas être inférieur à 1,3. Il est souhaitable qu'il soit compris entre 2 et 3. Il y a ainsi 2 à 3 dents en prise.

13.8.1 Remarques

Ce rapport augmente :

- ✓ Si la saillie augmente
- ✓ Si l'angle de pression diminue
- ✓ Si le nombre de dents augmente
- ✓ Si l'engrenage a une denture hélicoïdale

13.9 Module et diamétral pitch

13.9.1 Module

Le module est le quotient du pas, exprimé en millimètres, par 3,1416, ou, le quotient du diamètre primitif, exprimé en millimètres, par le nombre de dents.

13.9.2 Diamétral pitch

Le diamétral pitch est le produit de l'inverse du pas, exprimé en pouces, par 3,1416, ou, le quotient du nombre de dents par le diamètre primitif exprimé en pouces.

13.9.3 Normalisation

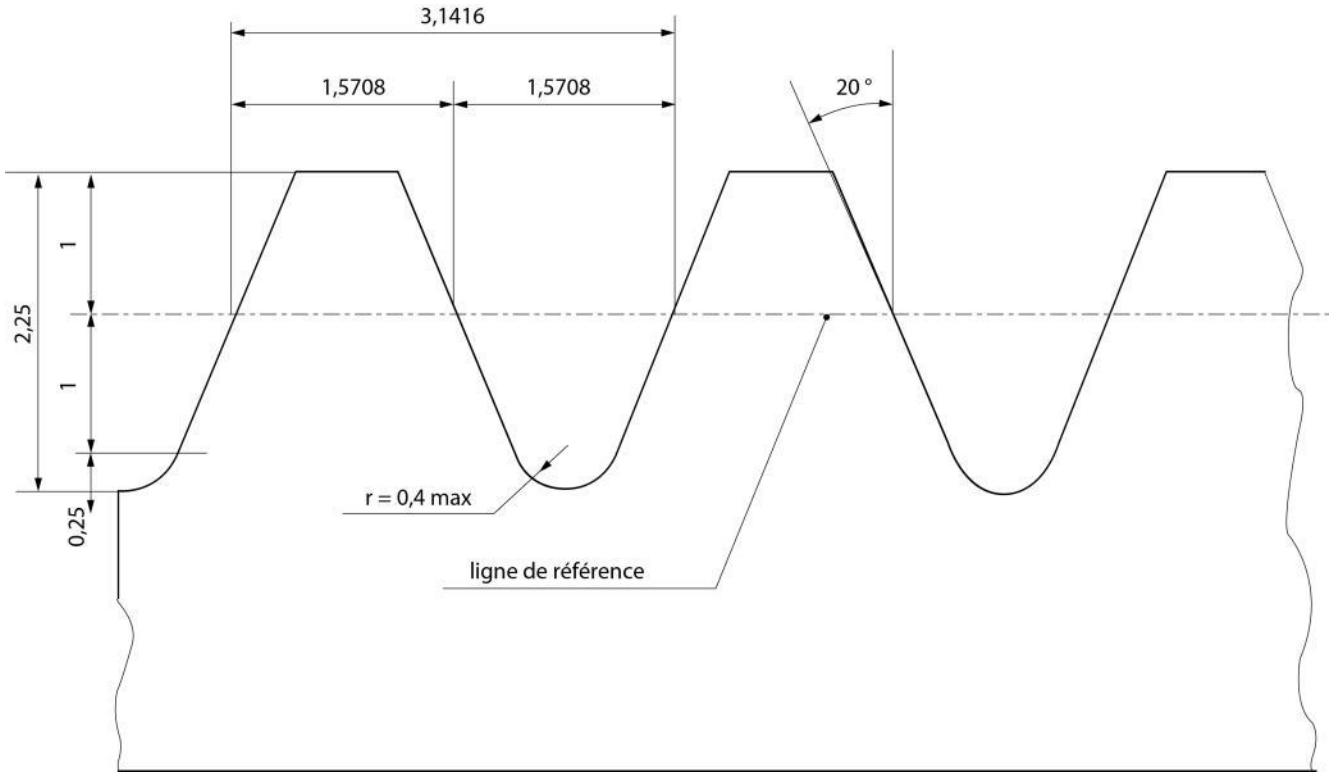
Les modules et les diamétral pitch sont normalisés.

13.10 Crémaillère de référence

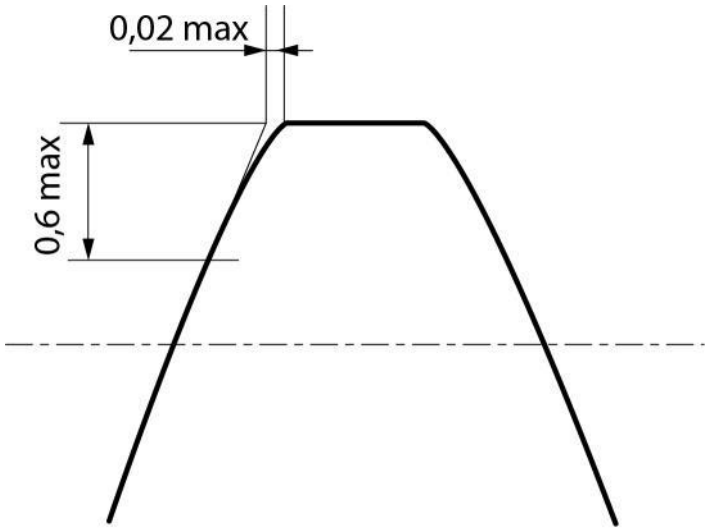
Dans le mouvement relatif de deux roues, l'un des profils engendre l'autre. C'est vrai également lorsque l'une des roues est une crémaillère. (Une crémaillère est une roue de diamètre primitif infini.)

La crémaillère de référence permet de définir la forme de toutes les dents des roues d'un même module.

La ligne de référence correspond à la circonférence primitive d'une roue à denture normale.



Profil de la crémaillère de référence des engrenages de module = 1



Au cas où il est désiré donner un dégagement au profil, ce dégagement sera, en principe, apporté au sommet des dents.

Il pourra atteindre les valeurs indiquées ci-contre.

13.11 Interférences

13.11.1 Interférences d'engrènement

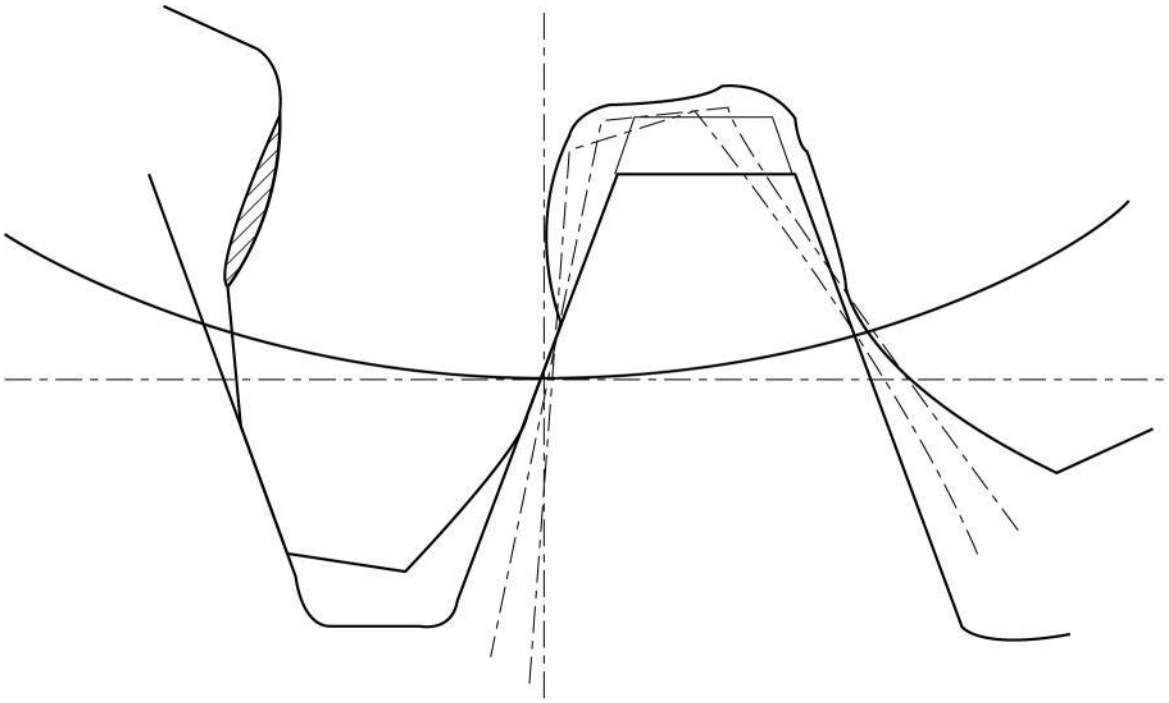
Lorsque le pignon comporte un très petit nombre de dents, le fond de l'intervalle est étroit. Quand la roue possède un grand nombre de dents le sommet de la dent est très large.

Il peut en résulter une impossibilité d'engrènement, le sommet de la dent ne pouvant se mouvoir dans le fond de l'intervalle.

13.11.2 Interférence de taillage

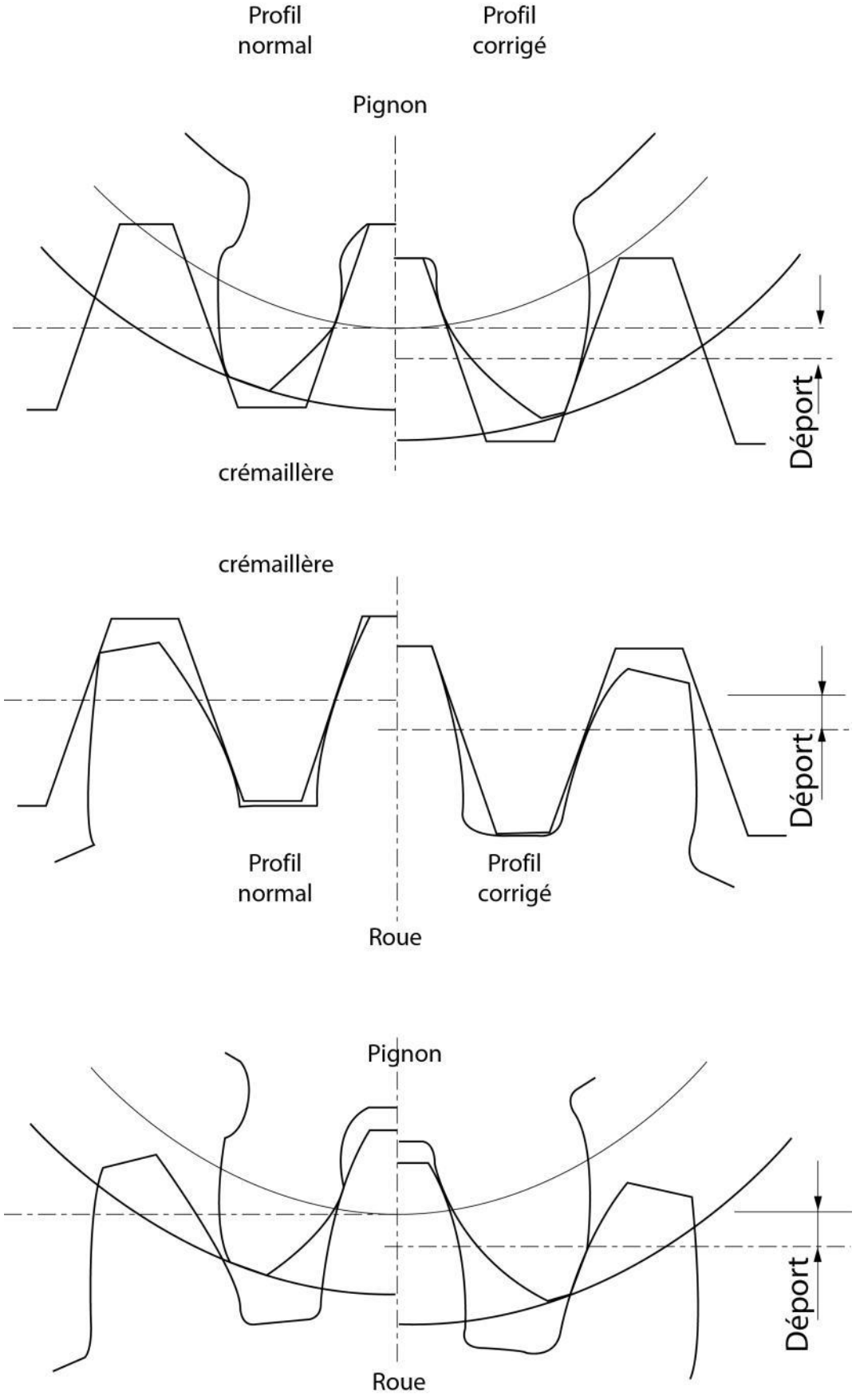
La figure ci-dessous montre l'interférence de l'outil de taillage (crémaillère ou fraise-mère).

Remarquons que l'interférence de taillage est supérieure à l'interférence d'engrènement.



13.11.3 Inconvénients des interférences

L'interférence de taillage conduit à un affaiblissement de la dent à la base.



13.11.4 Dentures déportées avec variation d'entraxe

Même s'il n'y a pas d'interférence, une correction peut être apportée, car ce procédé augmente la résistance à la base de la dent. De plus, on peut appliquer un déport positif sur la denture des deux roues, ce qui implique d'augmenter l'entraxe.

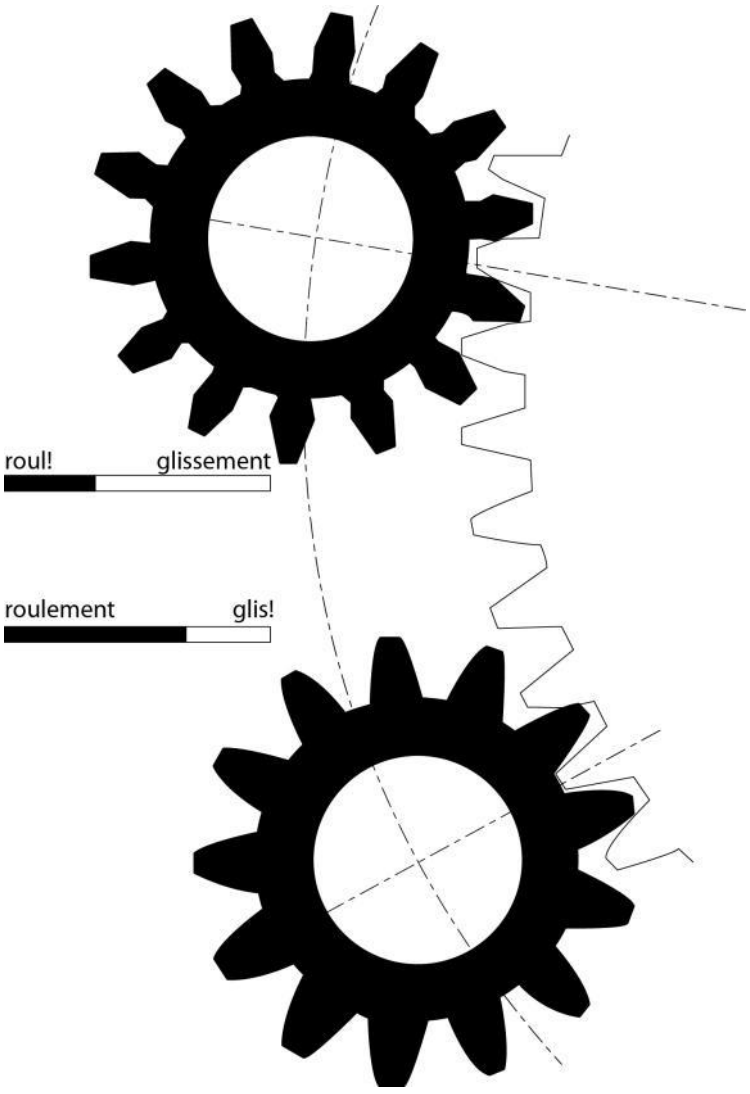
13.11.5 Autre application de la correction de denture par déport

- ✓ **Entraxe imposé**

Dans le cas où un entraxe est imposé, entraxe légèrement supérieur à la somme des rayons primitifs envisagés, un déport positif des dentures peut être la solution au problème.

- ✓ **Remplacement de roues en mesures anglaises par des roues en mesures métriques.**

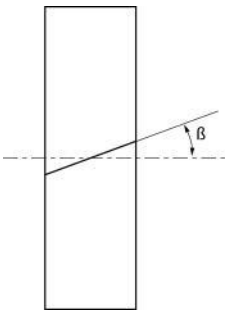
Imaginons qu'une roue avec une denture au diamétral pitch d'une machine anglaise soit cassée. Considérons aussi qu'il ne soit pas possible de la remplacer par une roue identique (par exemple à cause d'un délai trop long). L'usinage de roues avec une denture taillée au module métrique avec déport pourrait être une solution avantageuse.

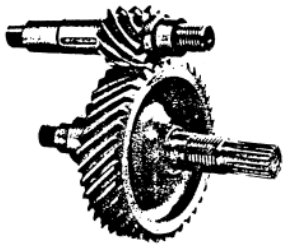


13.12 Roue cylindrique à denture hélicoïdale

Imaginons une roue cylindrique à denture droite que l'on aurait tronçonnée, par des coupes perpendiculaires à l'axe de rotation, en disques dentés de faible épaisseur. Imaginons aussi que l'on décale angulairement ces disques d'une même valeur les uns par rapport aux autres.

On a ainsi réalisé une roue à denture hélicoïdale. (Ceci est une image, car, du point de vue dimensions, le raisonnement n'est pas exact.)





13.13 Caractéristiques de la denture

Une denture hélicoïdale est taillée avec le même outil qu'une denture droite.

Il en résulte que le module de la denture mesuré normalement à l'hélice est égal au module de l'outil et est appelé module réel.

Pour les mêmes raisons d'uniformité d'outillage, la tête et le pied ont respectivement la même hauteur que la tête et le pied d'une denture droite.

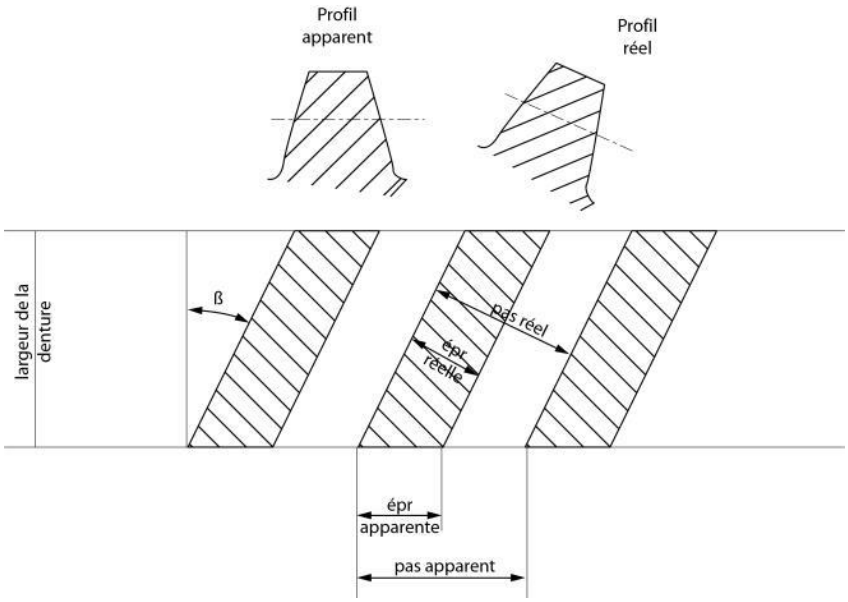
Par analogie avec une roue à denture droite ayant un nombre de dents égal à z et un diamètre primitif d,

- ✓ Le pas circonférentiel, appelé pas apparent est égal à $\frac{\pi d}{z}$
- ✓ Le rapport $\frac{d}{z}$ est appelé module apparent

Si β est l'angle d'hélice, on a la relation :

Module apparent = module réel divisé par cos β

Pas apparent = pas réel divisé par cos β

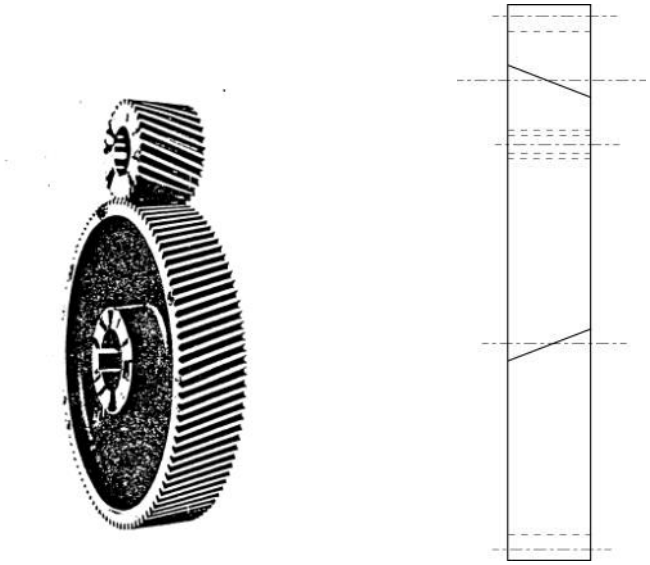


14 Engrenages parallèles hélicoïdaux

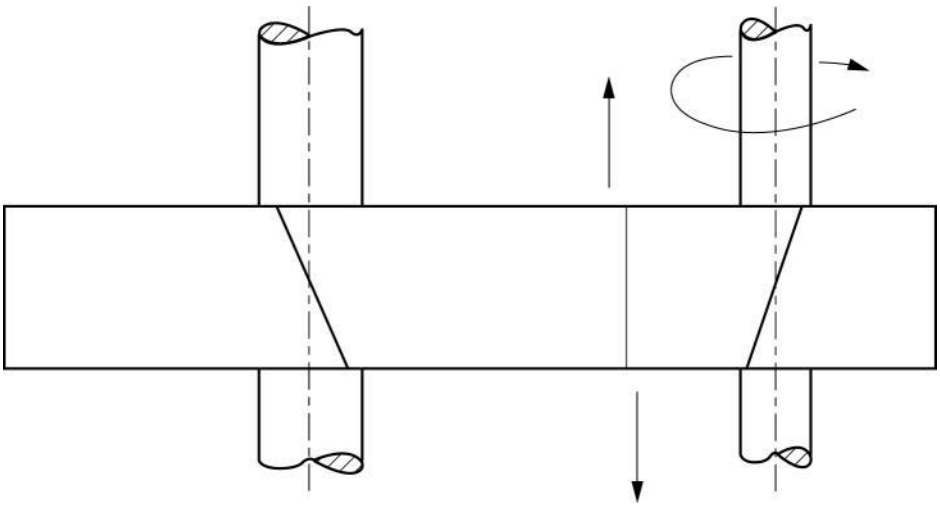
Remarques :

L'hélice peut être à gauche ou à droite.

Dans un engrenage parallèle, une roue aura une hélice à droite, la roue conjuguée, une hélice à gauche.



L'inclinaison de la denture crée une composante axiale de l'effort ; cet effort axial devra être repris par une butée.

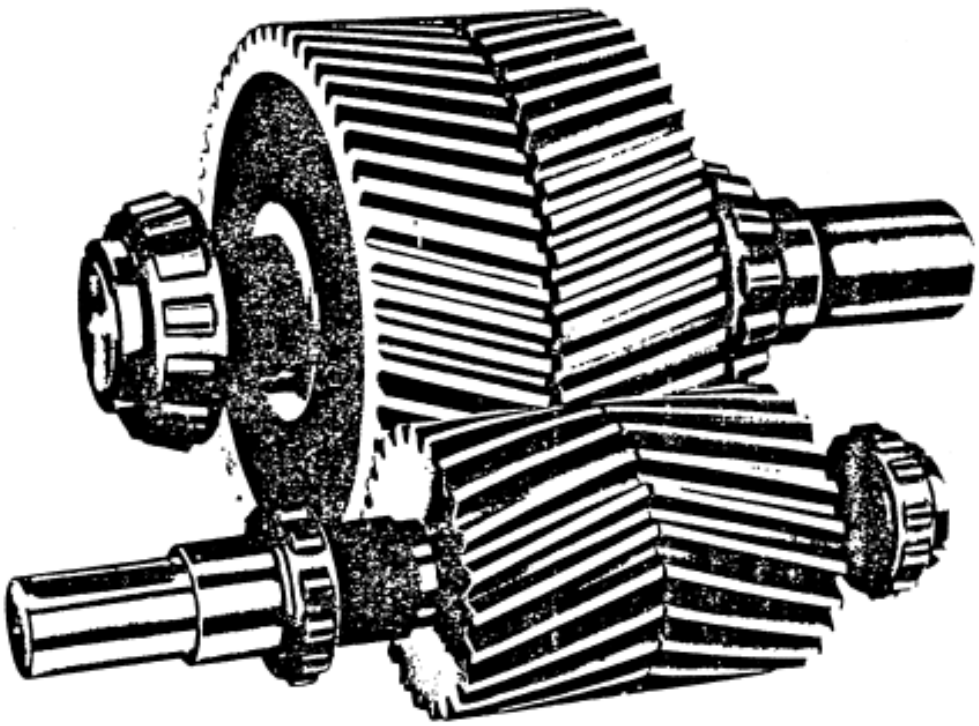


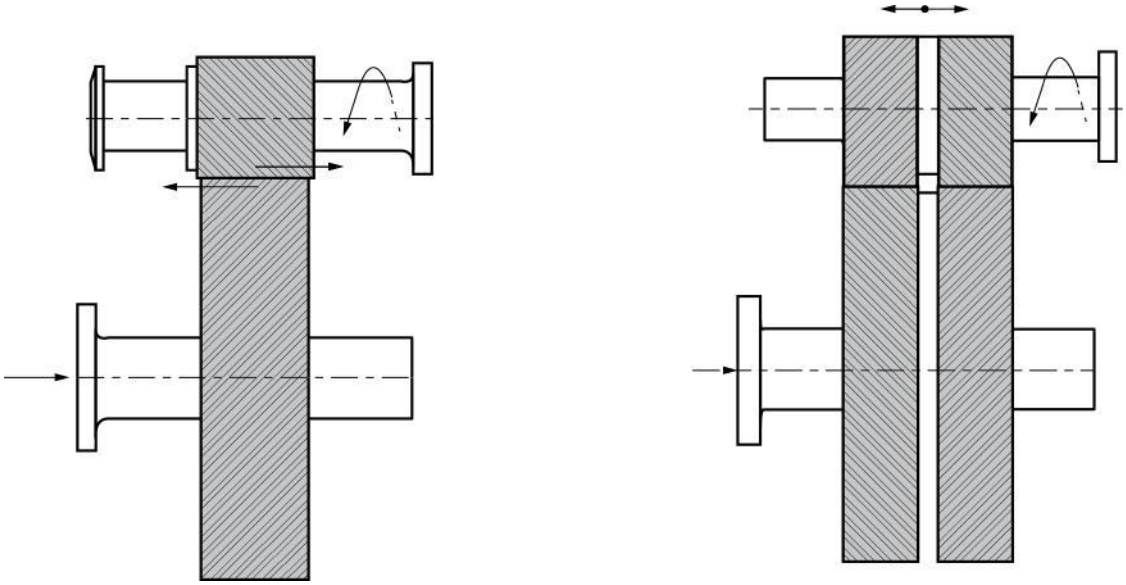
Une denture hélicoïdale permet d'établir le contact à une extrémité de la dent. Ce contact gagne progressivement toute la largeur de la denture et se perd à l'autre extrémité. On a donc une longueur de conduite plus grande et le contact progressif favorise un engrènement sans choc et sans bruit.

14.1 Denture à chevrons

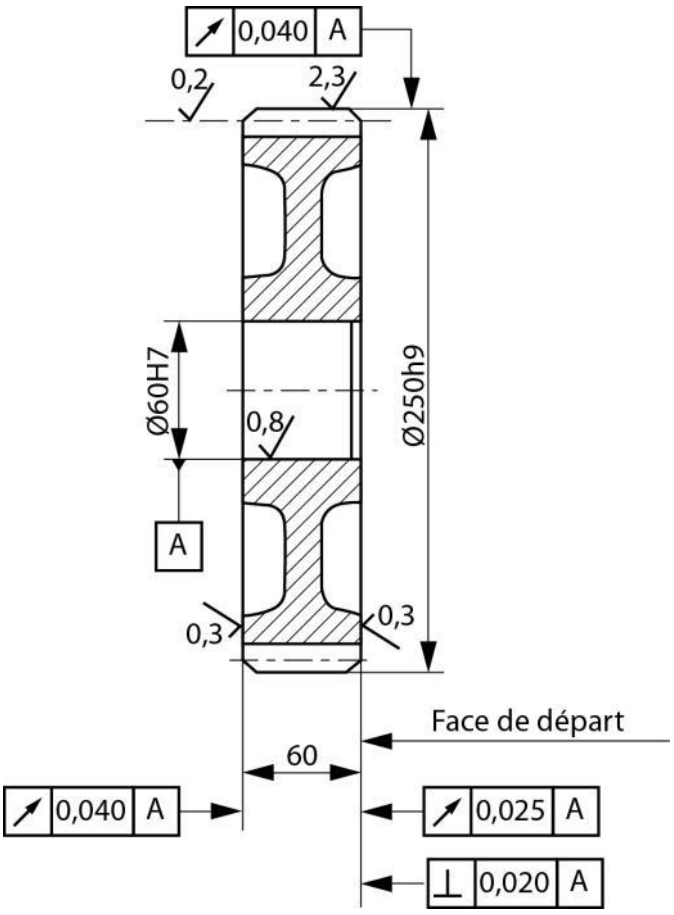
On peut supprimer la composante axiale, la roue menée étant constituée de 2 roues, l'une à denture à droite, l'autre à gauche, et la roue menante, constituée également de 2 roues, l'une à gauche, l'autre à droite.

Le même résultat sera obtenu avec une roue menée et une roue menante portant chacune une denture symétrique.



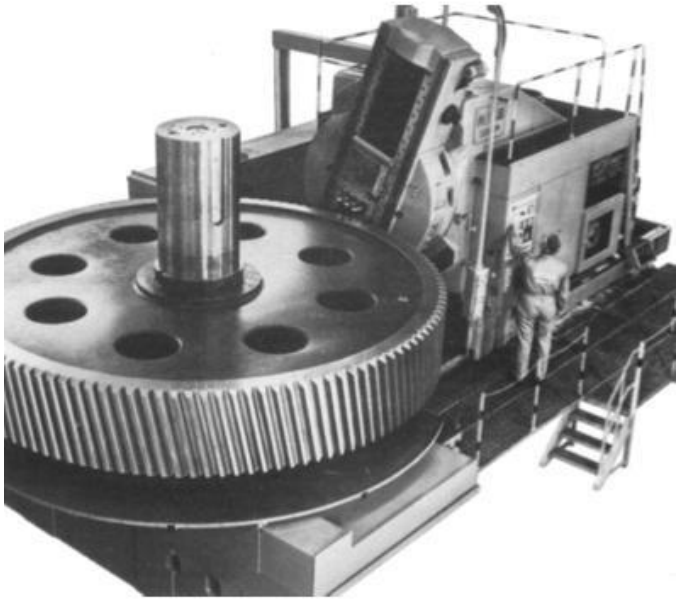


14.2 Indications figurant sur les plans en vue du taillage

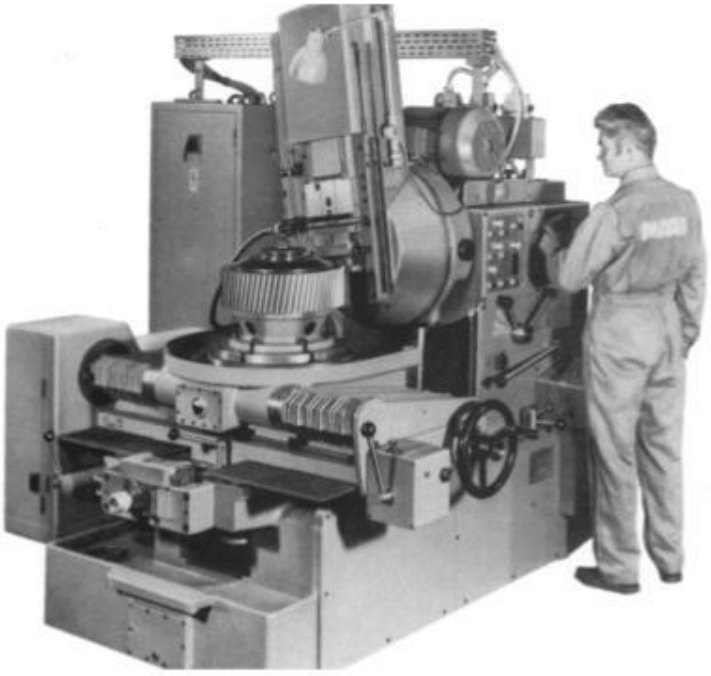


Caractéristiques de la denture	
Module	5
Nombre de dents	44
Crémaillère de référence	NBN 445 (20°)
Angle d'hélice	23,5565°
Sens de l'hélice	à droite
Diamètre primitif de référence	240,00
Coefficient de déport	0
Epaisseur de la dent : Mesure sur k dents (k=6)	$85{,}13\ ^{-0{,}04}_{-0{,}06}$
Qualité de tolérance (*)	6
Entraxe	240,00 ± 0,02
Roue conjuguée	Z=44 plan n°12345
(*) Suivant feuilles E230.151 et suivantes	

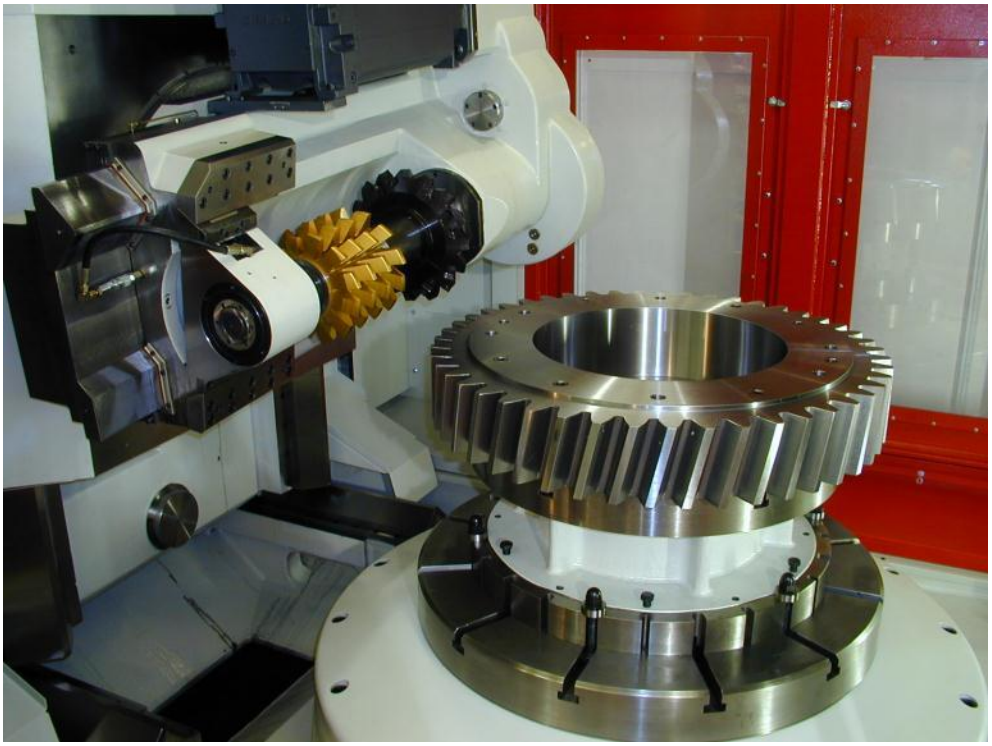
14.3 Taillage par outil-crémaillère

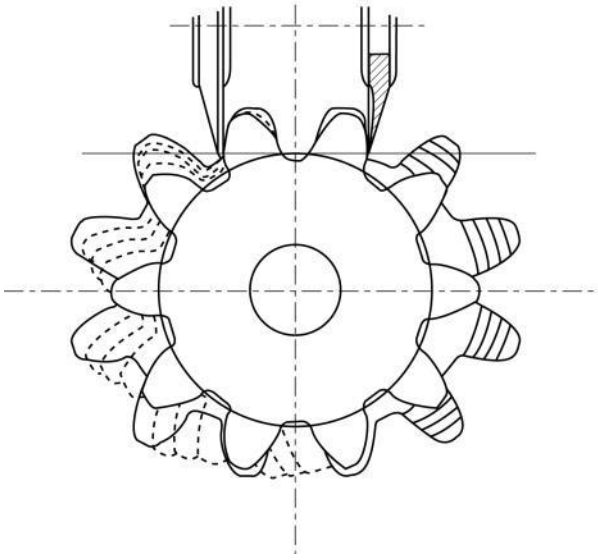


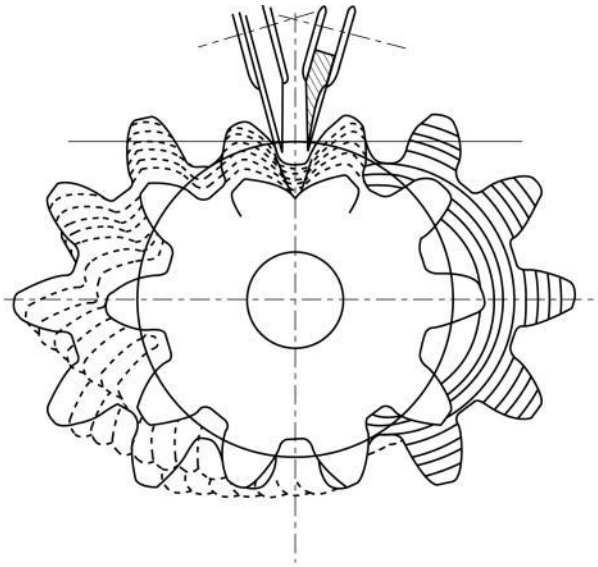
ⓑ engrenages à grande puissance (SH 600)



14.4 Rectification de la denture







14.5 Précision des engrenages parallèles en développante

L'ordre logique d'élaboration d'un engrenage étant :

- ✓ L'usinage du corps de chaque roue
- ✓ L'exécution de la denture de chaque roue
- ✓ Le montage des deux roues dentées dans les conditions de fonctionnement

Il est normal d'effectuer les contrôles successifs dans un ordre correspondant :

- ✓ Contrôle du corps de chaque roue
- ✓ Contrôle de la denture de chaque roue
- ✓ Contrôle des conditions de montage de l'engrenage

14.6 Système de tolérances

Le système couvre un domaine très vaste de l'engrenage, depuis les dentures de précision exceptionnelle, jusqu'aux dentures de qualité très grossière.

Il est prévu 12 qualités, numérotées de 1 à 12 par ordre de précision décroissante.

Les normes donnent les tolérances et les écarts pour chaque erreur.

14.7 Tolérances d'épaisseur

La tolérance d'épaisseur est fixée par les valeurs limites des écarts supérieur et inférieur.

Il est possible de définir la zone de tolérance, les différents échelons correspondant chacun à une lettre (j, h, g, …)

14.8 Mesure de l'épaisseur des dents des engrenages cylindriques à développante

14.8.1 Mesure de la corde constante

La corde constante est une caractéristique de la denture extérieure dont la valeur est indépendante du nombre de dents et du type de denture, droite ou hélicoïdale. Elle ne dépend que du coefficient de déport.

La corde constante vaut :

$$s_c = \left[\frac{\pi \cos^2\alpha}{2} + x \,.\, \sin 2\alpha\right] m$$

Elle est à une distance (saillie à la corde constante) :

$$h_c = \left[1 - \frac{\pi \sin 2\alpha}{8} + x \,.\, \cos^2\alpha\right] m$$

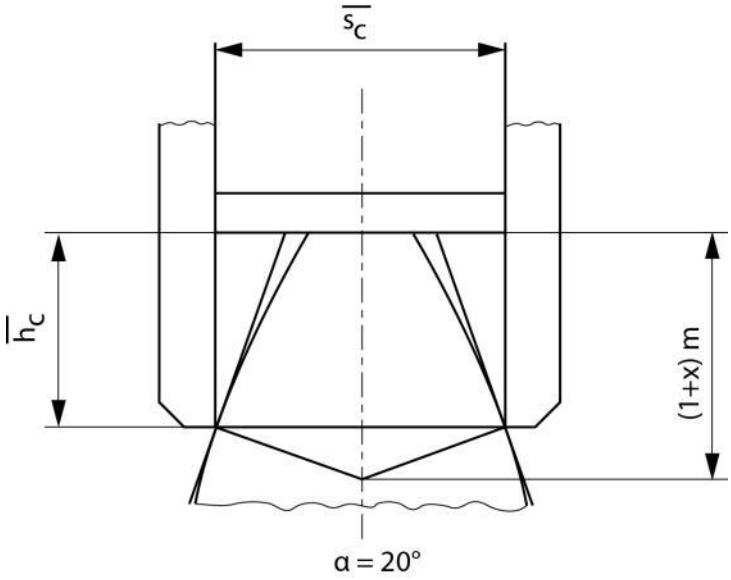
du sommet théorique de la dent, sommet situé sur le cercle de diamètre :

$$d = [z + 2\,(1 + x)]m \qquad \text{(denture droite)}$$

Ou

$$d = \left[\frac{z}{\cos\beta} + 2\,(1 + x)\right] m \qquad \text{(denture hélicoïdale)}$$

Le contrôle de la corde constante s'effectue à l'aide du vernier Brown & Sharpe.



m = module = angle de pression

s_c = corde constante

h_c = saillie à la corde constante

x = coefficient de déport

14.8.2 Remarques

Des tableaux donnent les valeurs ci-dessus des dents module = 1 et pour différents déports.

La valeur théorique de la corde constante est accompagnée sur les plans de deux écarts négatifs fonction des valeurs limites du jeu entre dents.

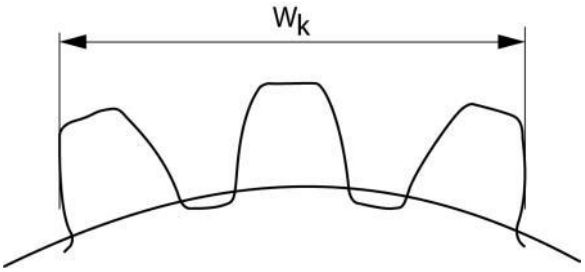
Avant le contrôle de l'épaisseur de la dent, il convient de contrôler le diamètre extérieur de la denture. La valeur théorique de la saillie à la corde constante sera corrigée de la moitié de la différence entre la valeur effective du diamètre extérieur et la cote théorique inscrite sur le plan.

14.9 Mesure sur plusieurs dents (Mesure de Wildhaber)

14.9.1 Denture droite

La mesure de l'épaisseur des dents d'une roue cylindrique à denture droite par la mesure sur plusieurs dents s'effectue en prenant entre les palpeurs d'un micromètre, un nombre de dents tel que ces palpeurs soient tangents aux flancs des dents aux environs de la mi-hauteur des dents.

La droite qui joint les points de contact est tangente au cercle de base.



Pour les dentures sans déport, la mesure W_k vaut (valeur théorique)

$W_k = m\left[(k - \frac{1}{2})\pi \cos\alpha + z \cos\alpha \, inv\alpha\right]$

Pour les dentures déportées, la mesure W_k vaut :

$W_k = W_{k\,(x=0)} + (2 \times \sin\alpha)\, m$

Avec m = module

z = nombre de dents de la roue contrôlée

k = nombre de dents pris entre palpeurs

x = coefficient de déport

14.9.2 Denture hélicoïdale

Pour les roues cylindriques à denture hélicoïdale, la mesure est effectuée perpendiculairement aux hélices de base.

La droite qui joint les points de contact est tangente au cylindre de base et fait avec l'axe de la roue un angle égal au complément de l'angle de l'hélice de base.

Pour les dentures, avec ou sans déport, la mesure W_k vaut (valeur théorique)

$W_{k\beta} = W_{k\,(x=0)} + z \cos\alpha_n \, (inv\alpha_t - inv\alpha_n)\, m_n$

Avec α_n = angle de pression réel

α_t = angle de pression apparent

m_n = module réel

Remarques :

Des tableaux donnent les valeurs de W et le nombre de dents correspondant.

La valeur théorique de W est accompagnée sur les plans de 2 écarts.

Le contrôle de l'épaisseur des dents des roues hélicoïdales n'est possible que si la largeur de la denture est suffisante.

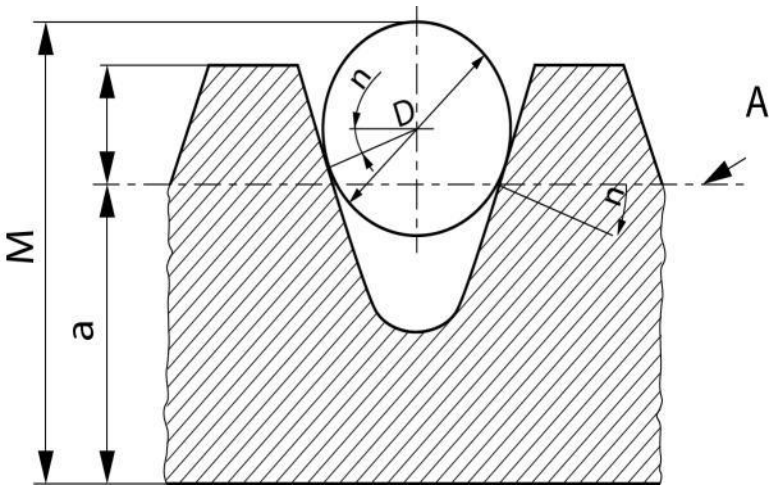
14.10 Contrôle de l'épaisseur des dents

Vernier pour le contrôle de l'épaisseur de la dent

Palmer pour la mesure sur plusieurs dents

14.11 Mesure de l'épaisseur des dents d'une crémaillère

L'épaisseur des dents d'une crémaillère est déterminée en mesurant la distance M qui sépare l'assise de la crémaillère et une surface parallèle à celle-ci reposant sur une cheville de diamètre convenablement choisie, déposée dans un entredent.



A = ligne de référence

m_n = module réel

A = distance nominale de la ligne de référence de la crémaillère normale à la face d'assise de celle-ci

D = diamètre de la cheville

α_n = angle de pression réel

Pour une crémaillère correspondant à la crémaillère de référence ISO d'angle de pression α_n = 20°, la mesure de M vaut :

$$M = a + (1{,}961902\ D^* - 2{,}157864)\ m_n \qquad D^* = \frac{D}{m_n}$$

Remarque :

Des tableaux donnent la valeur de l'expression entre parenthèses.

14.12 Jeu entre dents

14.12.1 Définitions

Le jeu entre dents est la plus courte distance entre les flancs arrière de deux roues, quand les flancs avant sont en contact.

Les valeurs limites du jeu entre dents résultent des tolérances sur l'épaisseur des dents et sur l'entraxe. Ceci est vrai pour des roues neuves. Pour des roues ayant déjà travaillé, le jeu augmente de la valeur de l'usure.

On peut distinguer le jeu circulaire et le jeu normal.

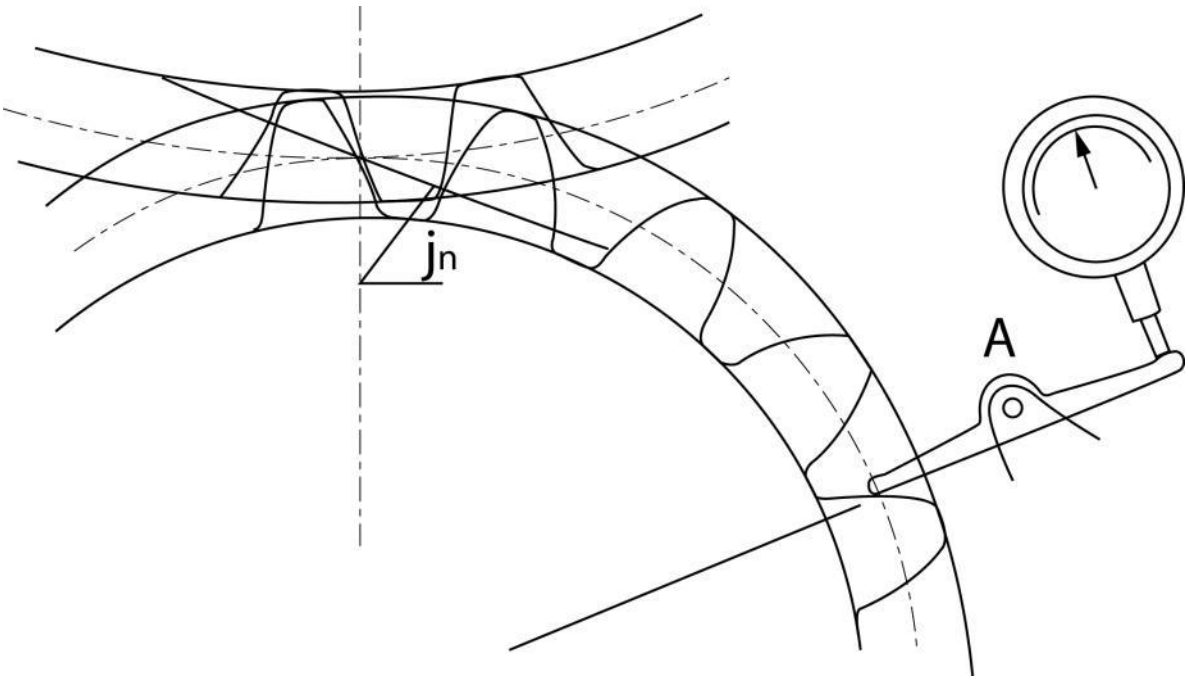
14.13 Jeu circulaire

Le jeu circulaire se définit comme suit :

L'un des organes de l'engrenage étant immobilisé, on communique à l'autre l'amplitude de battement maximale : c'est le déplacement maximal enregistré par exemple avec un comparateur dont la touche est positionnée au voisinage du cylindre primitif, et tangentiellement à ce cylindre.

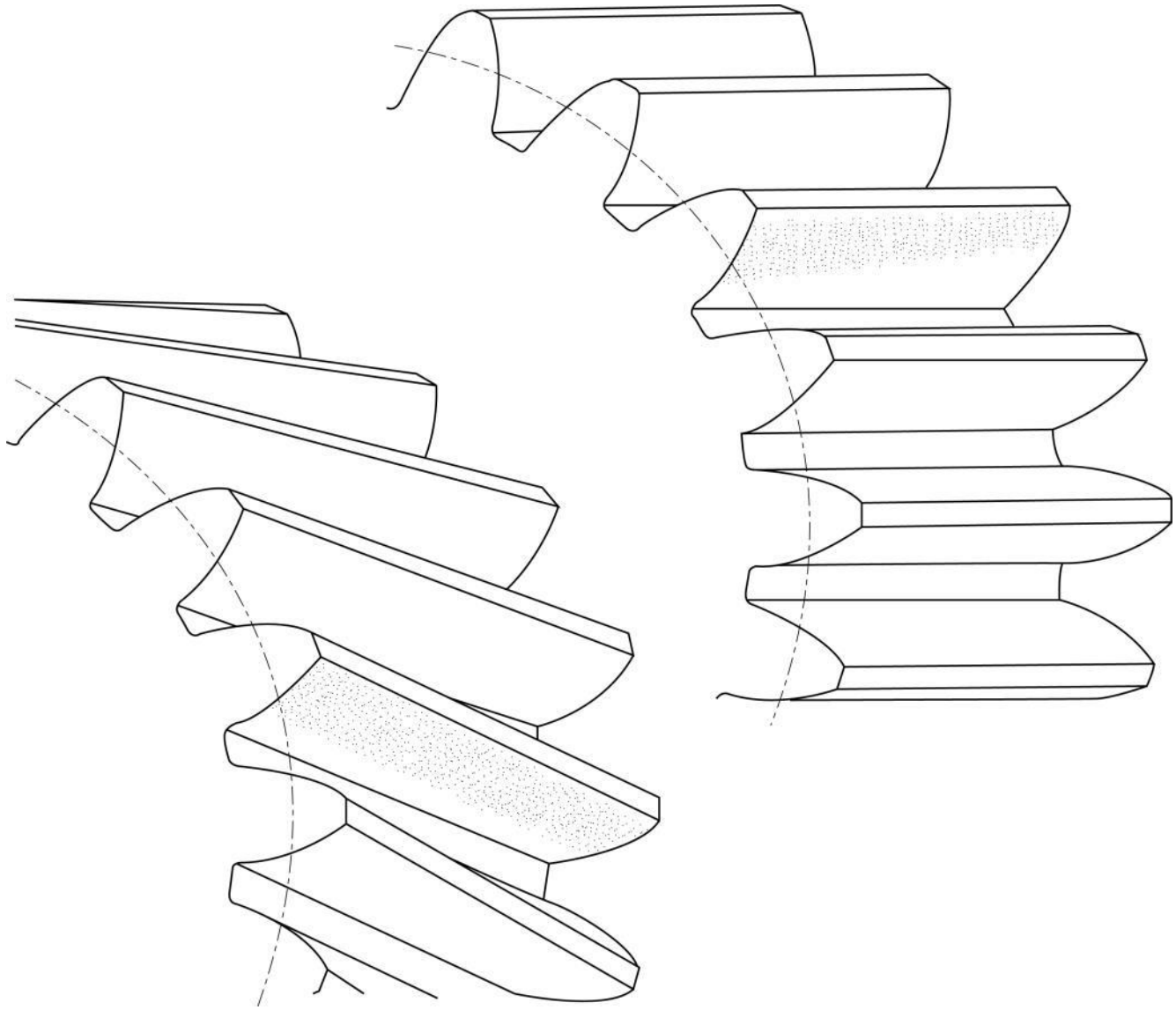
14.14 Jeu normal

Le jeu normal est le jeu total qui peut être déterminé avec une cale entre les dentures.

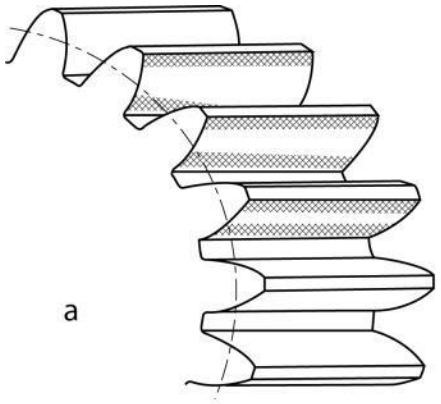


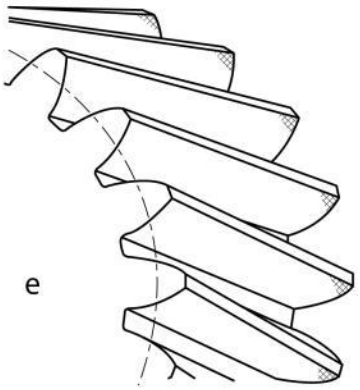
La valeur du jeu est déterminée par la qualité choisie, la zone de tolérances et les dimensions.

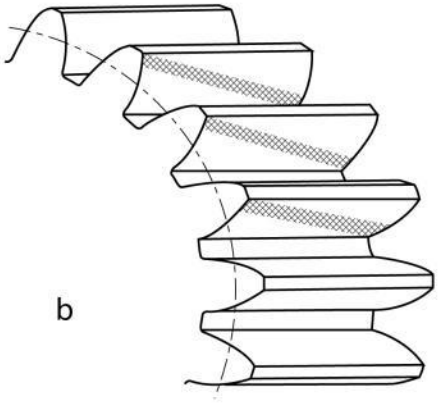
14.15 Contact correct

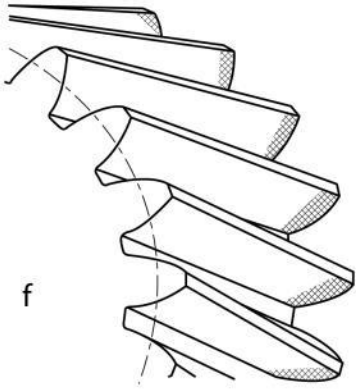


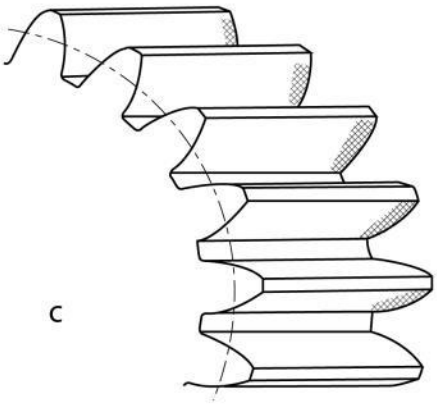
14.16 Contact incorrect

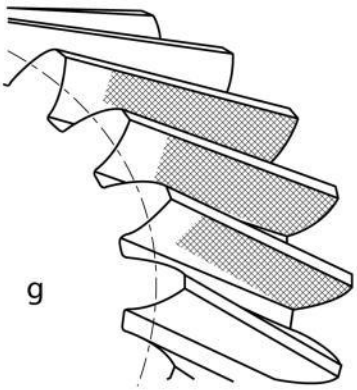


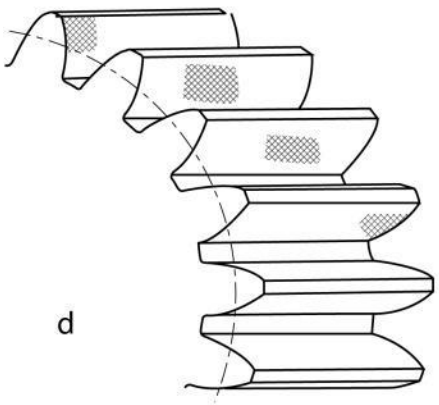


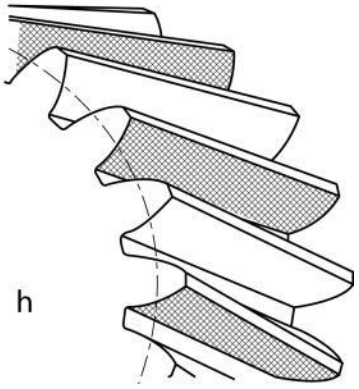






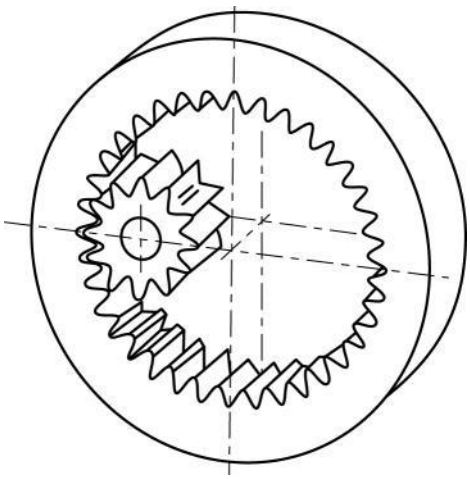




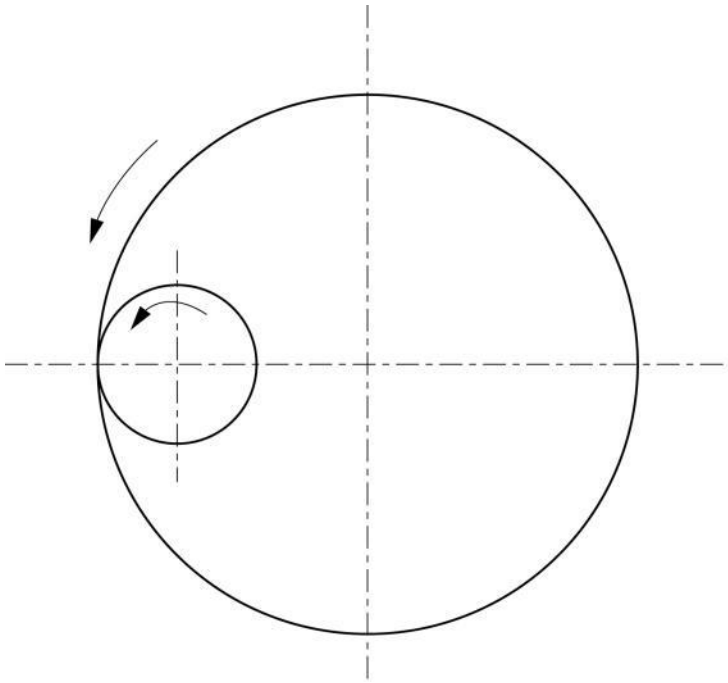


15 Denture intérieure

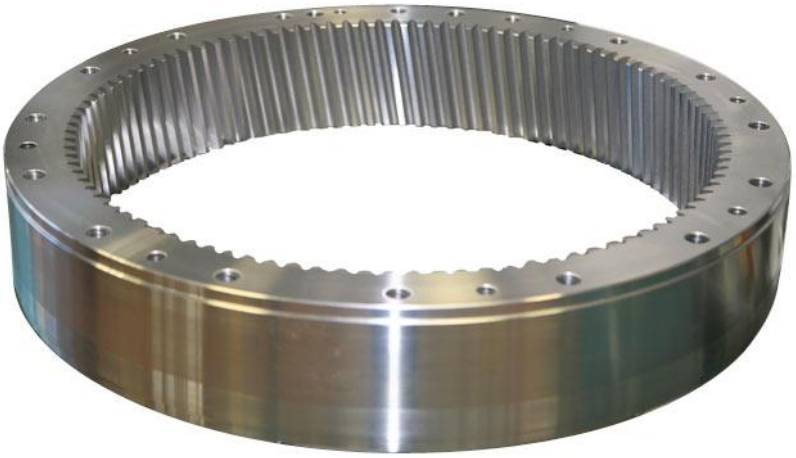
15.1 Denture cylindrique intérieure

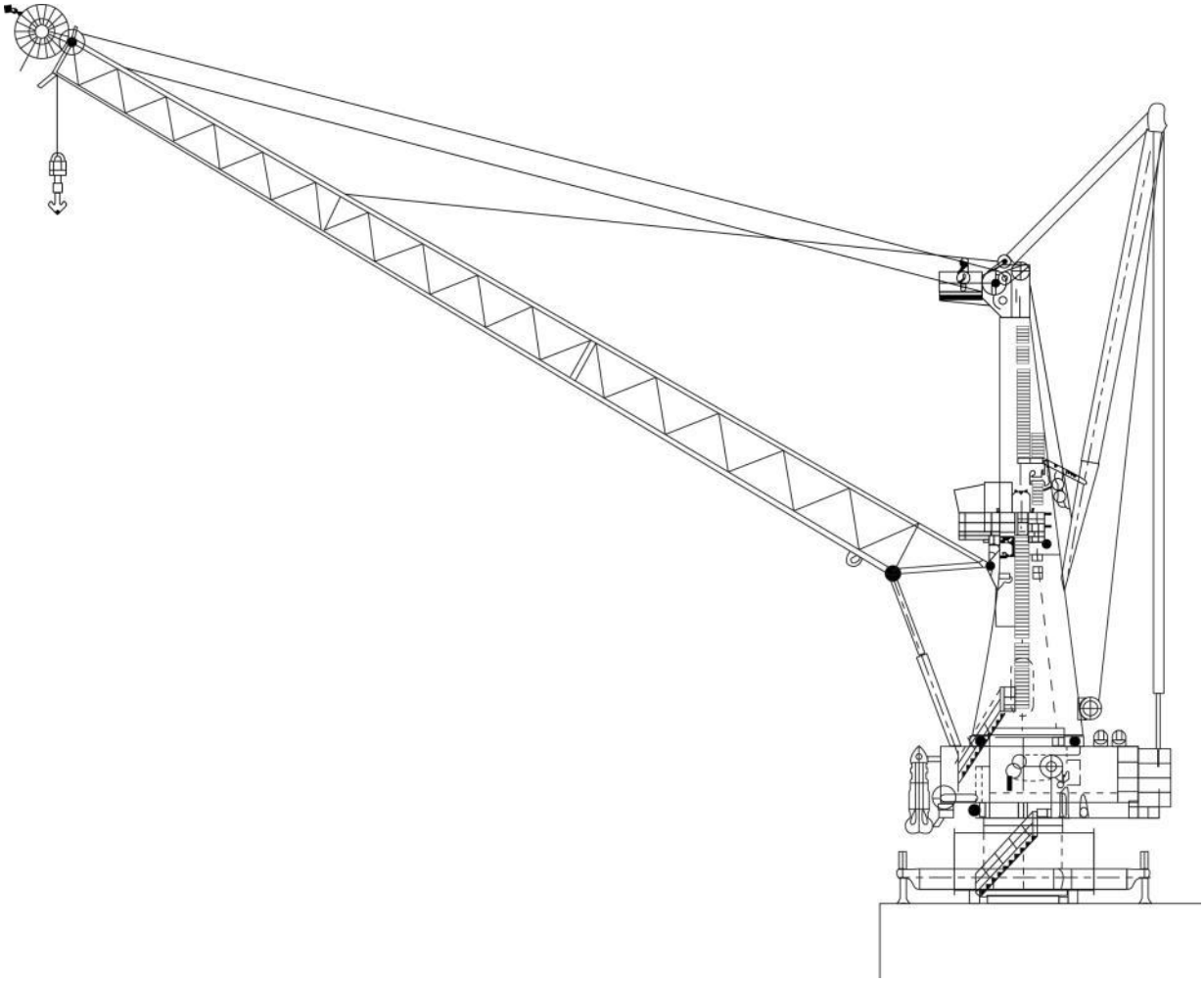


Dans un engrenage intérieur, les roues tournent dans le même sens.



15.2 Denture intérieure





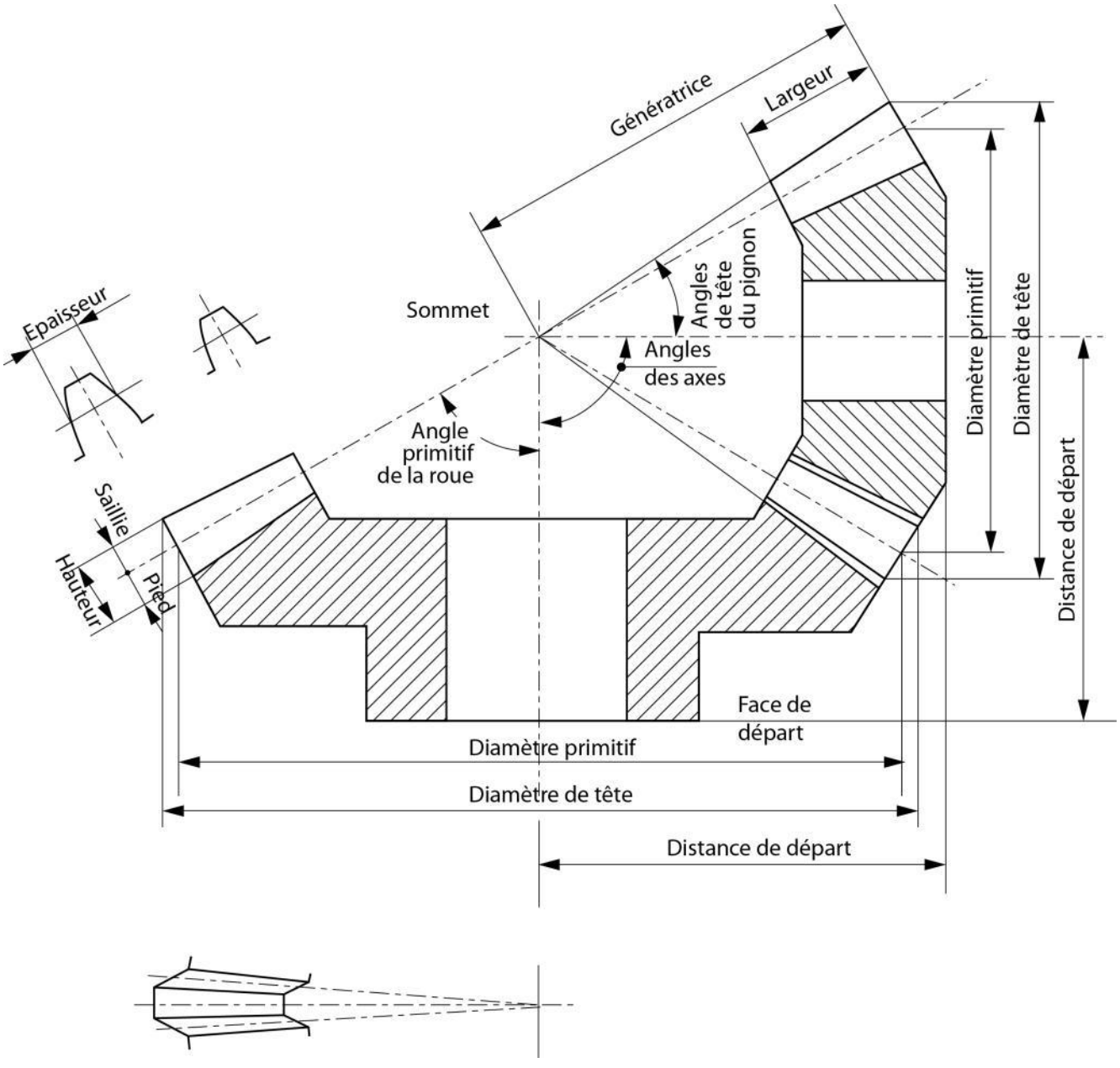
15.3 Taillage d'une denture intérieure

16 Engrenages coniques

16.1 Roues coniques à denture droite

Roues dentées dont les lignes de flanc sont les génératrices des cônes primitifs.

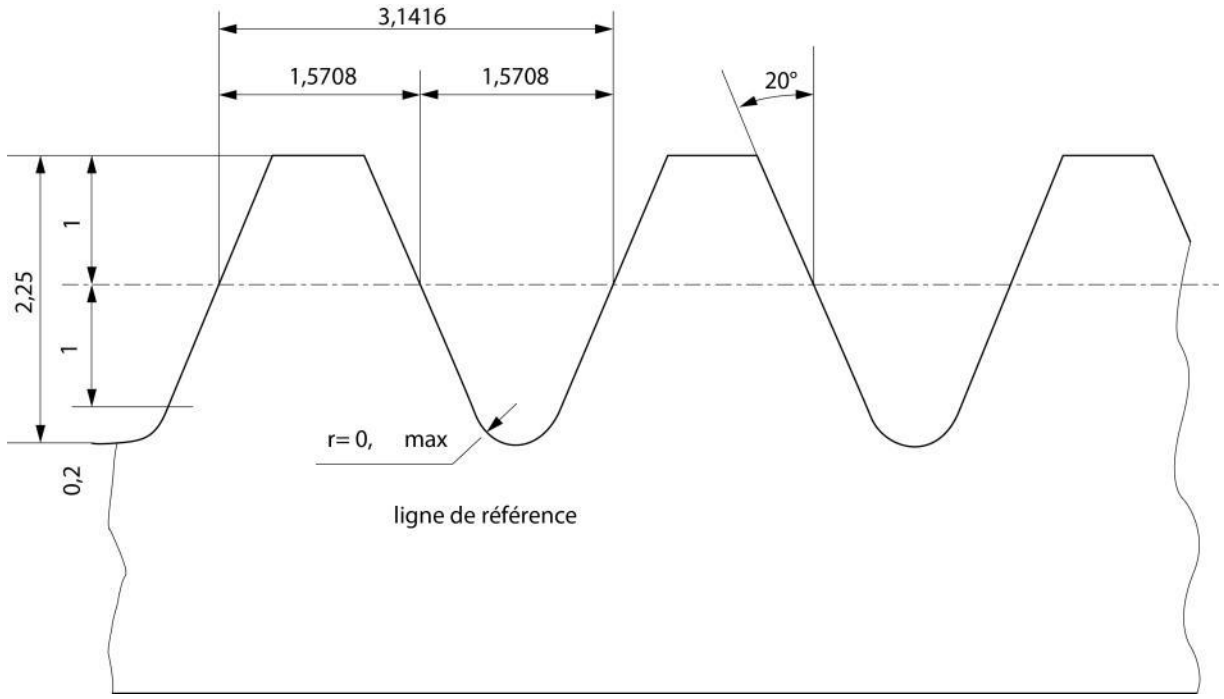
Le sommet des cônes primitifs des deux roues conjuguées est commun.



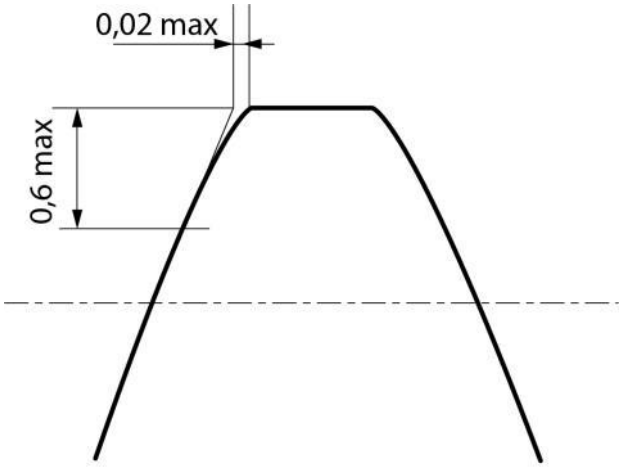
16.2 Crémaillère de référence

La crémaillère de référence décrite ci-après correspond aux engrenages coniques ayant un vide à fond de dent constant. Dans ces engrenages, l'angle de tête d'une roue est égal à la différence entre l'angle des axes et l'angle de pied de la roue conjuguée.

La crémaillère de référence correspond à une section normale à la denture d'une roue plate de rayon infiniment grand. Ce profil sert de base à la définition d'un système d'engrenages coniques à denture droite.

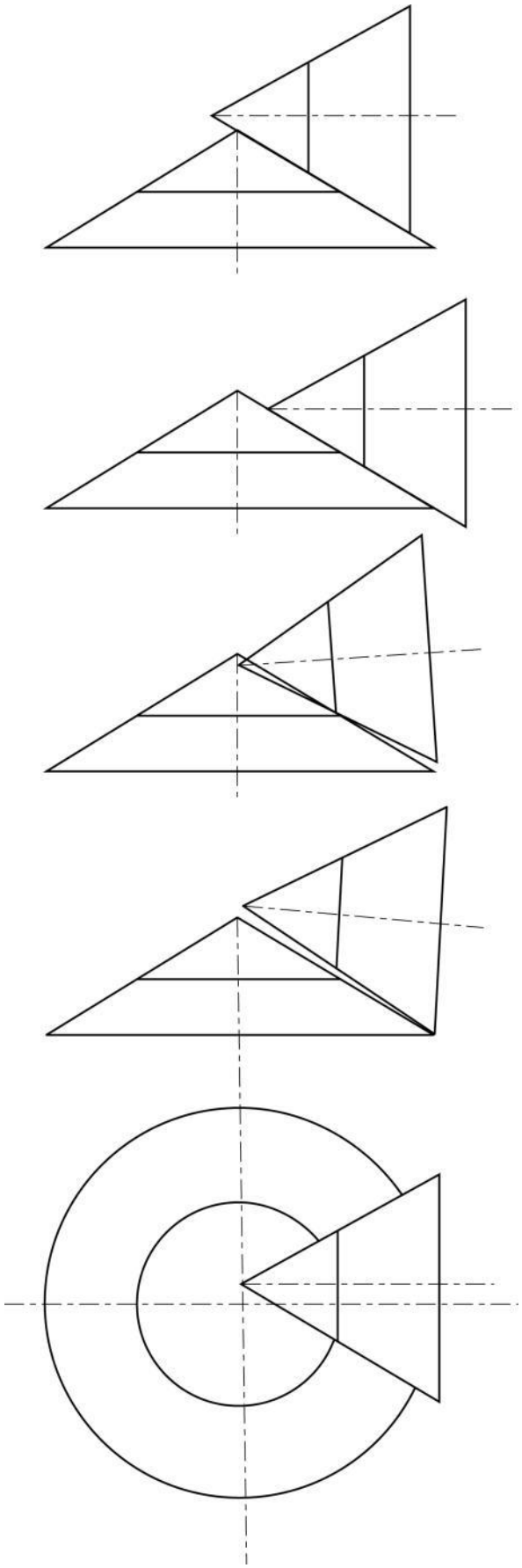


Profil de la crémaillère de référence des engrenages coniques module 1

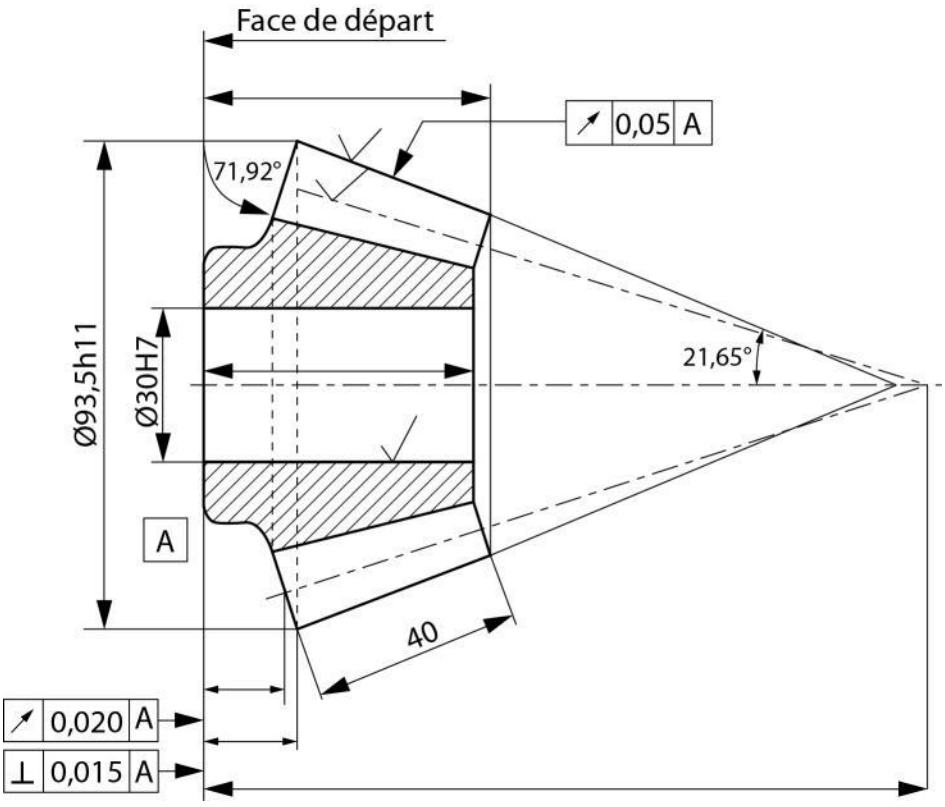


Au cas où on désire donner un dégagement au profil, ce dégagement sera, en principe, apporté à la tête des dents.

16.3 Défauts de montage de roues coniques



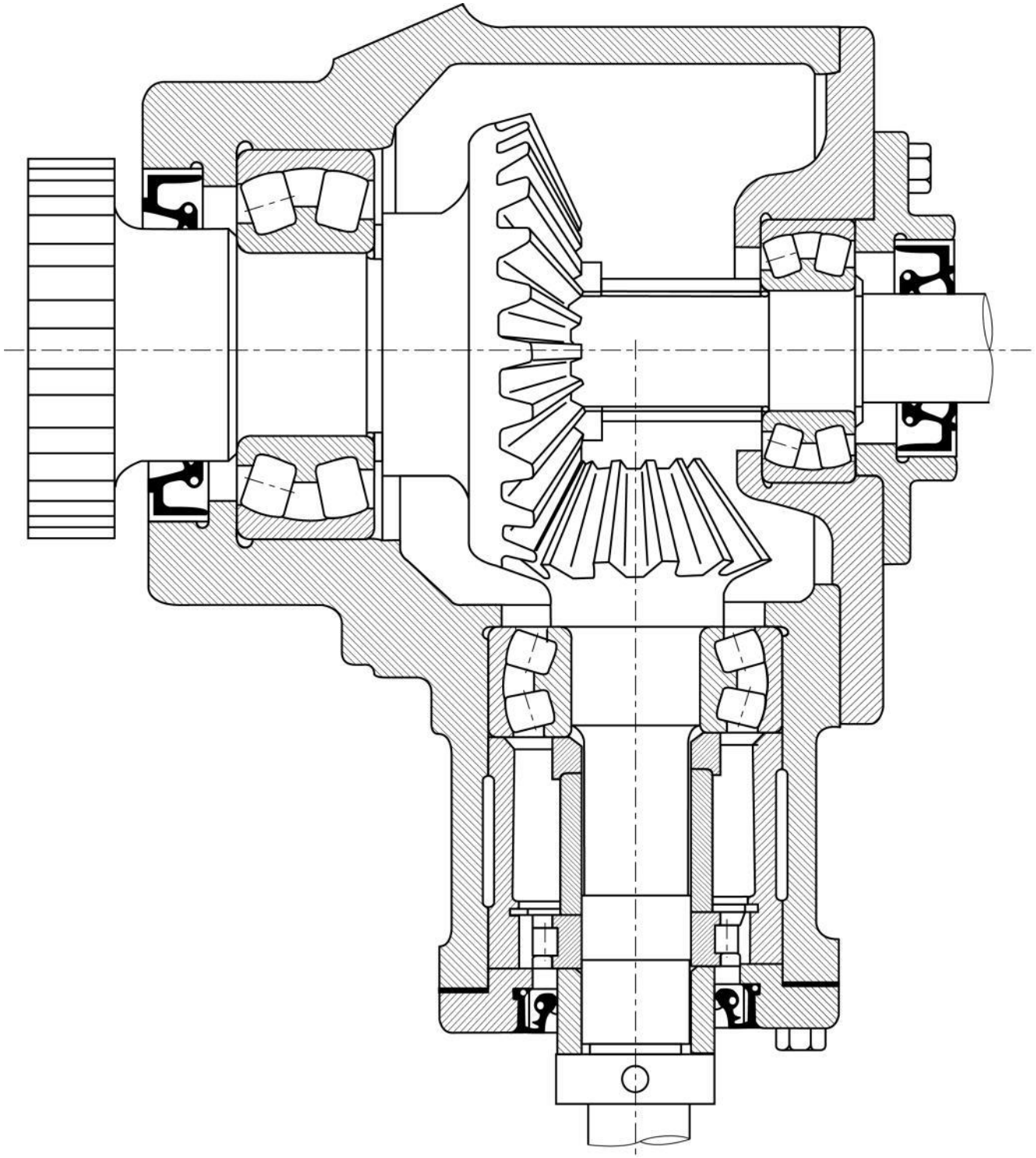
Exemple :



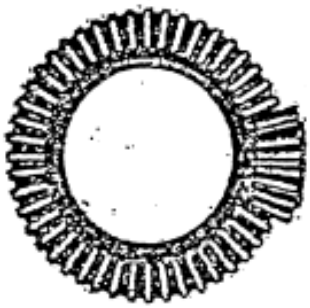
Caractéristiques de la denture	
Module	5
Nombre de dents	16
Crémaillère de référence	NBN 808 (20°)
Diamètre primitif de référence	80
Angle primitif de référence	18,08°
Génératrice	128,87
Coefficient de déport	0,42
Angle de pied	16,38
Epaisseur de la dent : Corde constante / Saillie	$8{,}54\ ^{-0{,}05}_{-0{,}08}$ / 5,95
Qualité de tolérance (*)	
Angle des axes	90°
Roue conjuguée	Z = 49 plan n°54321
(*) Suivant feuilles … (à l'étude)	

Source : Recommandation ISO/R 1341-1971 : NBN E 23-201 (1974)

16.4 Renvoi d'angle par roues coniques à denture droite



16.5 Roues coniques



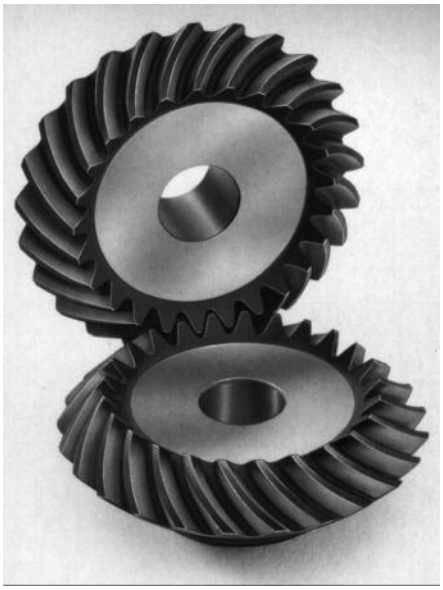
Roue conique à denture droite

Roue conique à denture spirale

Roue conique Zerol

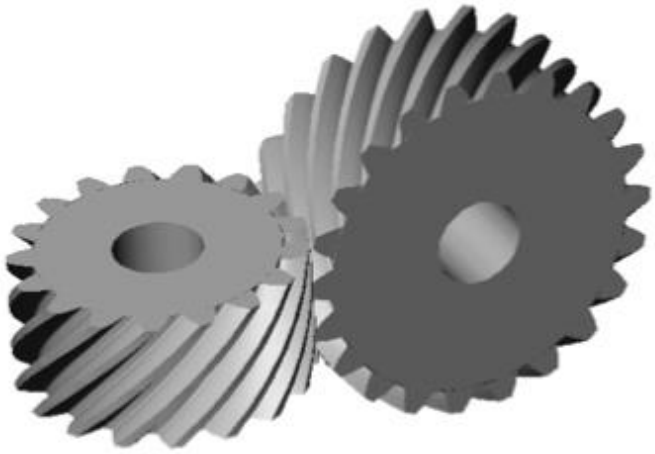
Roue conique hypoïde

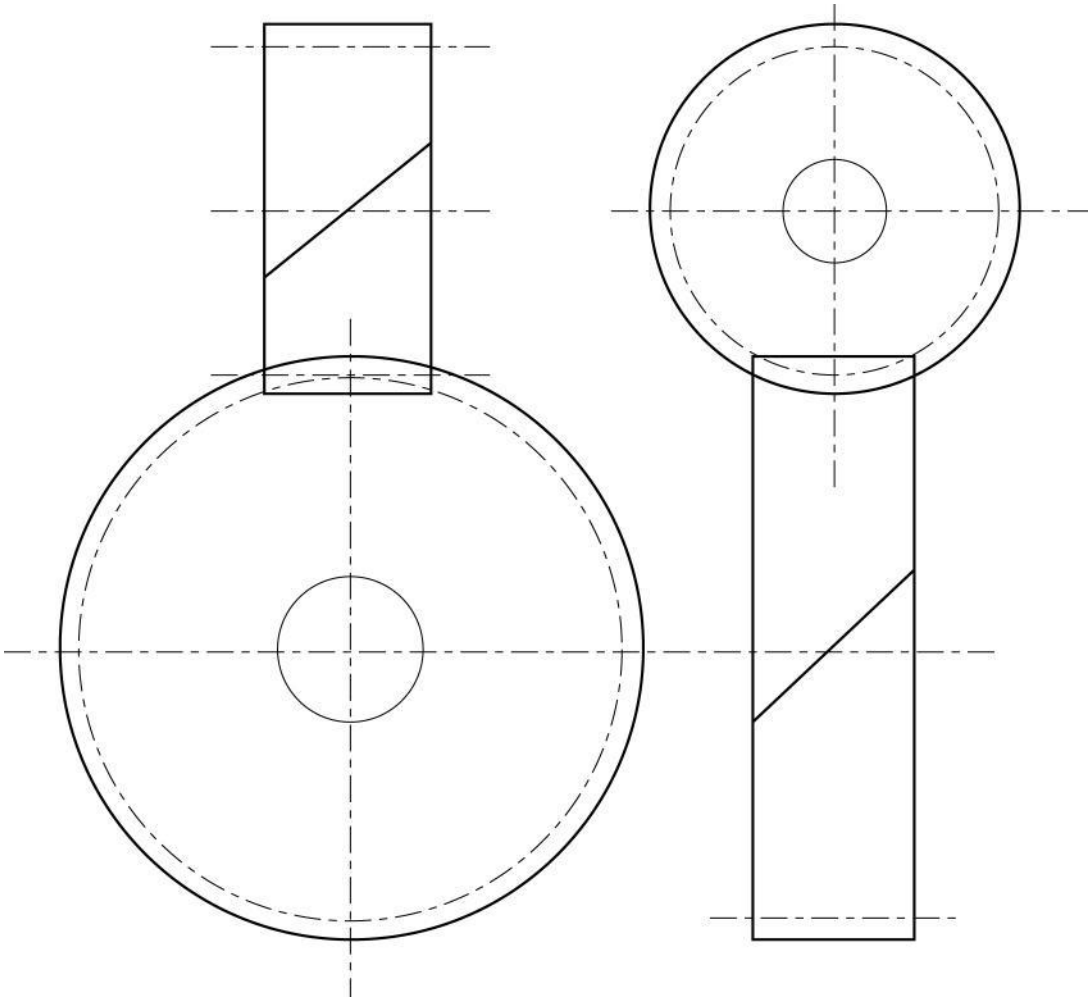
16.6 Roues coniques à dentures spirales



17 Engrenages à axes non coplanaires

17.1 Roues cylindriques à dentures hélicoïdales à axes non coplanaires





17.2 Roue hélicoïdale et vis sans fin

Si la vis a une entrée,

- ✓ Lorsque la vis fait un tour, la roue tourne d'une dent
- ✓ Lorsque la vis fait 2 tours, la roue tourne de 2 dents
- ✓ Lorsque la vis fait N tours, la roue tourne de N dents

Si la roue possède z dents et la vis une entrée, on a :

$n_2 = \frac{z}{n_1}$

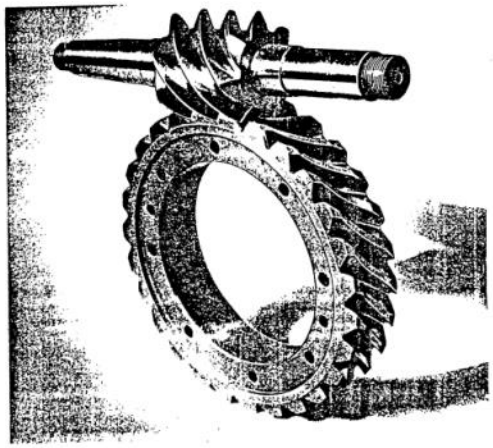
n_2 étant le nombre de dents de la roue

n_1 étant le nombre d'entrées de la vis

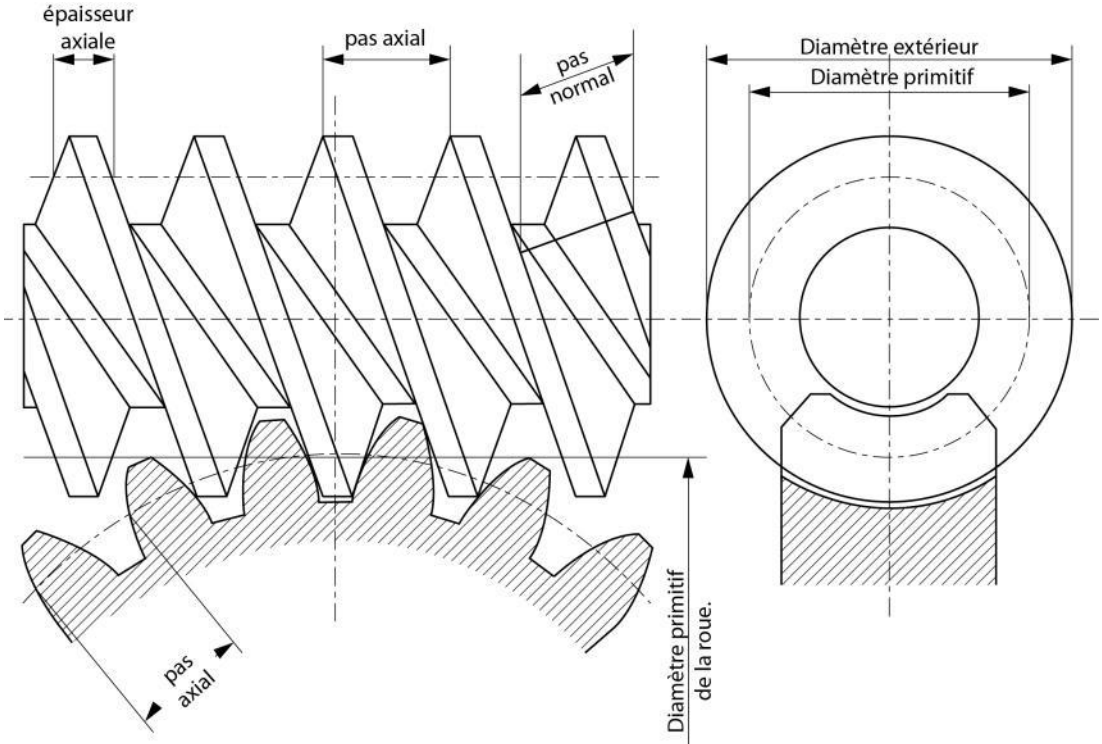
18 Roue creuse et vis sans fin

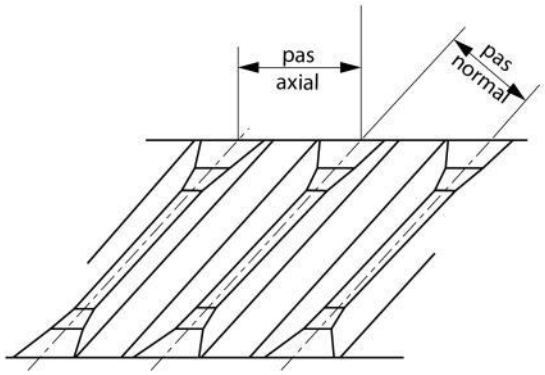
18.1 Roue hélicoïdale creuse et vis sans fin à 2 entrées

18.2 Roue hélicoïdale creuse et vis sans fin à 8 entrées

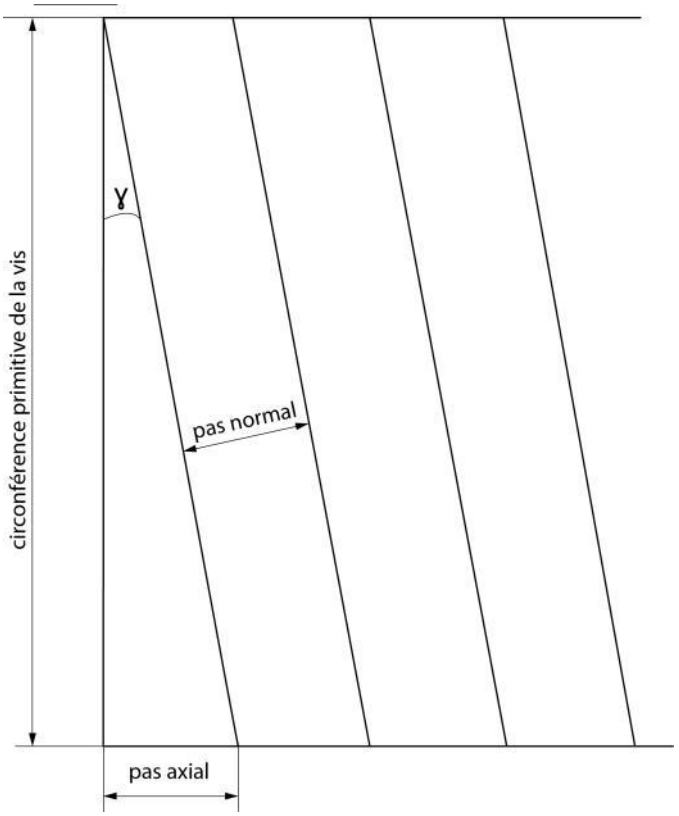


Roue et vis sans fin à 2 entrées à droite.

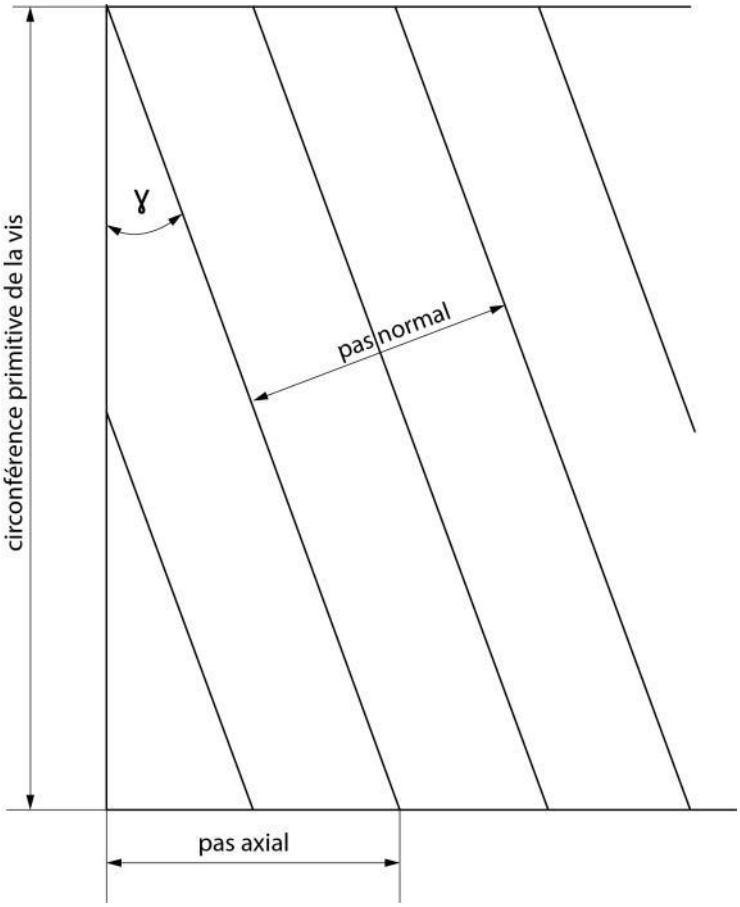




Développement de la denture
de la roue.



1 entrée à droite

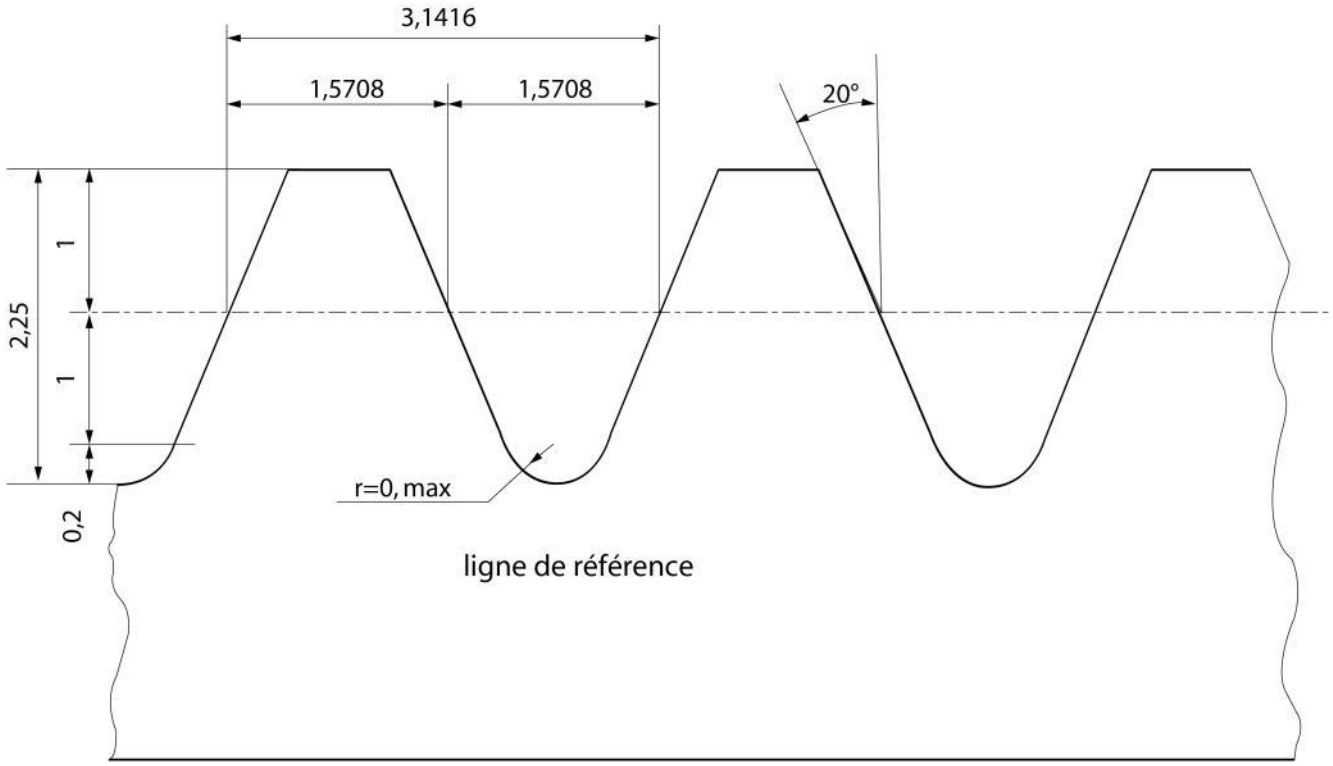


2 entrées à droite

18.3 Tracé de référence

Le tracé de référence détermine les caractéristiques de la section axiale de la denture de la vis. Dans cette section sont fixées les relations normalisées entre le module axial d'une part et la hauteur, l'épaisseur de dent et le vide à fond de dent d'autre part. La forme des flancs de la vis dépend du type de vis (ZA – ZN – ZK – ZI) réalisé et du profil de l'outil de génération.

Le profil axial de la vis est le profil de référence pour la denture de la roue dans le plan médian de cette roue.



Profil de la crémaillère de référence des engrenages de module = 1

18.4 Montage des roues hélicoïdales et vis-sans-fin

Le fonctionnement optimal d'un couple roue-vis-sans-fin ne peut être assuré que si le réglage des différentes pièces a été correct à l'assemblage.

18.5 Alignement de la roue

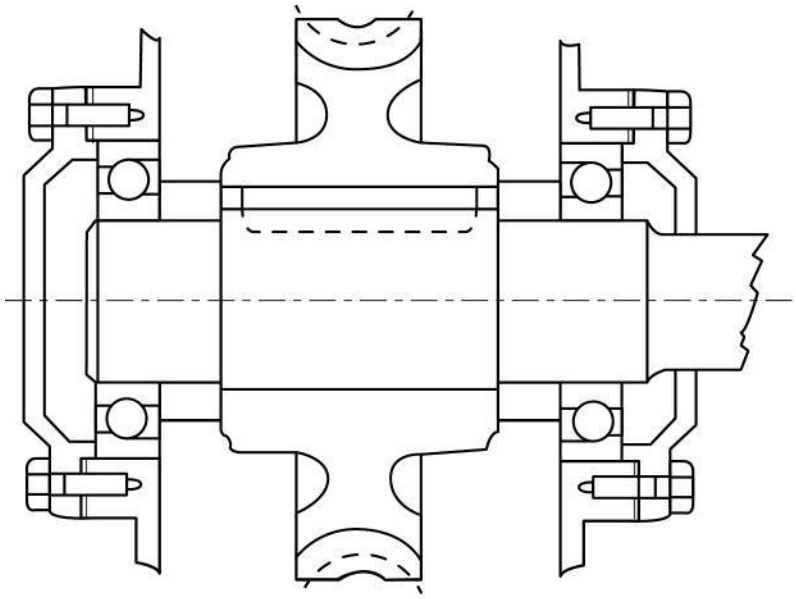
L'assemblage d'une vis-sans-fin avec la roue ne nécessite qu'un seul réglage, celui de la position latérale de la roue par rapport à l'axe de la vis.

Aucun autre réglage n'est demandé.

Les raisons de ce réglage sont les suivantes :

Si des moyens pour effectuer le réglage n'étaient pas prévus, la position de la roue dépendrait uniquement de la précision d'usinage de plusieurs pièces, telles que rondelles d'écrasement, couvercles de bouts d'arbre, roulement, moyeu de la roue et certains éléments du carter. Il est préférable d'adopter des tolérances d'usinage moins serrées et de prévoir un seul dispositif de réglage plutôt que de rectifier avec des tolérances très serrées un tel nombre de pièces (en cas d'erreur, l'effet cumulatif sur la position de la roue serait la somme algébrique de toutes les erreurs).

Quelle que soit la rigidité de l'ensemble, tous les réducteurs de vitesse à vis-sans-fin subissent sous charge une certaine déformation des carters, roulements et arbres, ce qui provoque un désalignement entre vis et roue. La valeur de cette déformation est difficile à évaluer ; il convient donc dans certains cas de faire fonctionner d'abord l'appareil en charge et de constater par la suite les marques de contact entre vis-sans-fin et roue. L'alignement correct en charge de la vis et de la roue peut alors être assuré.



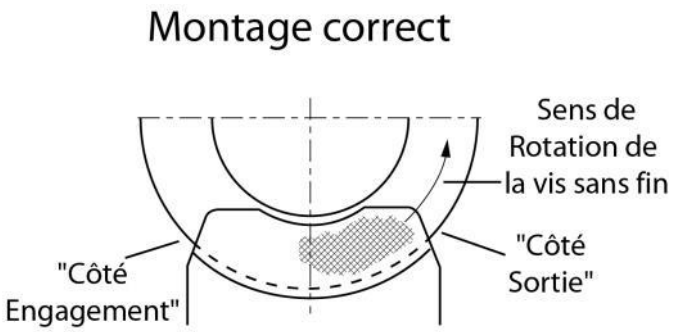
18.6 Jeu d'entrée d'huile

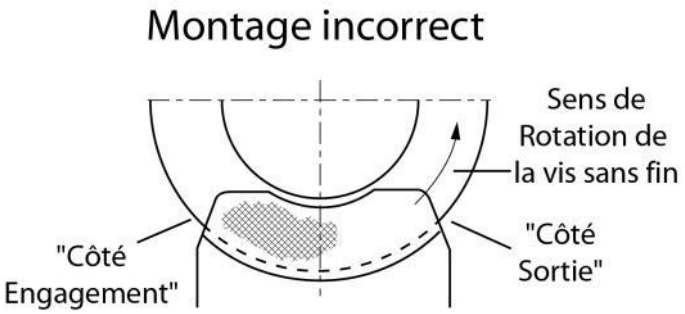
Il faut qu'il existe un jeu d'entrée d'huile côté « engagement » pendant l'engrènement de la denture. Ce jeu est réalisable en assurant le contact côté « sortie » des deux éléments.

18.7 Surface de contact des dentures des roues hélicoïdales et vis-sans-fin

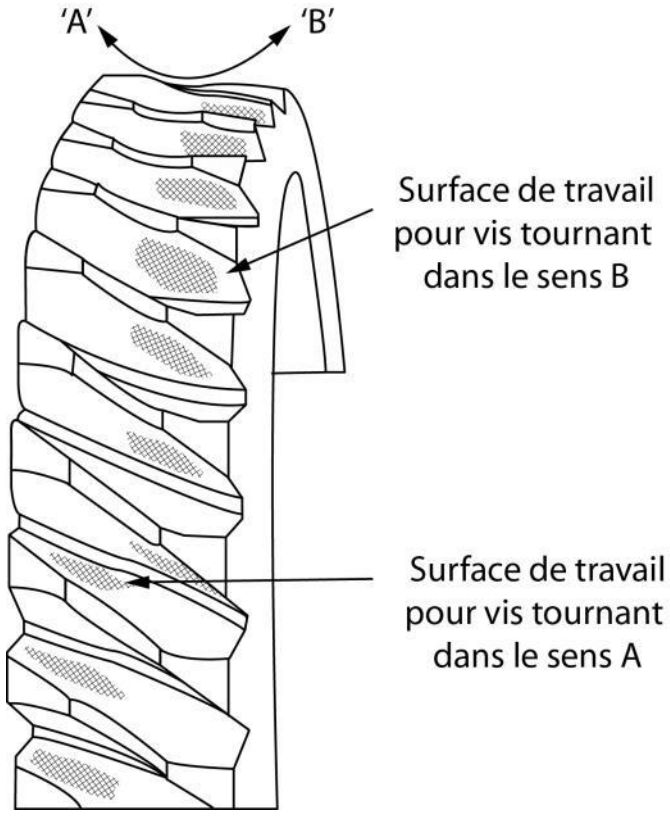
La position du contact assure automatiquement l'entrée d'huile qui se maintient en charge, malgré le léger déplacement du contact vers le milieu de la denture de la roue.

La position du contact « côté engagement » représente les plus mauvaises conditions que puisse subir un couple roue et vis-sans-fin. En effet, une semblable situation aurait pour effet de racler l'huile au lieu de lui permettre de s'insérer entre les flancs de la denture. Il s'ensuivrait une élévation de température anormale et une usure rapide.





Contact idéal à atteindre sur chaque face des dents de la roue pour fonctionnement dans les deux sens.



18.8 Réglage du contact

Assembler d'abord l'appareil de telle façon que le centre de la roue se situe approximativement au-dessus de l'axe de la vis. Appliquer alors au filet de la vis un produit tel que le bleu de Prusse et faire tourner à la main l'appareil afin que soient marquées sur la roue les surfaces de contact avec la vis sans fin. En cas de besoin, régler la position de contact en déplaçant la roue latéralement par rapport à l'axe de la vis-sans-fin.

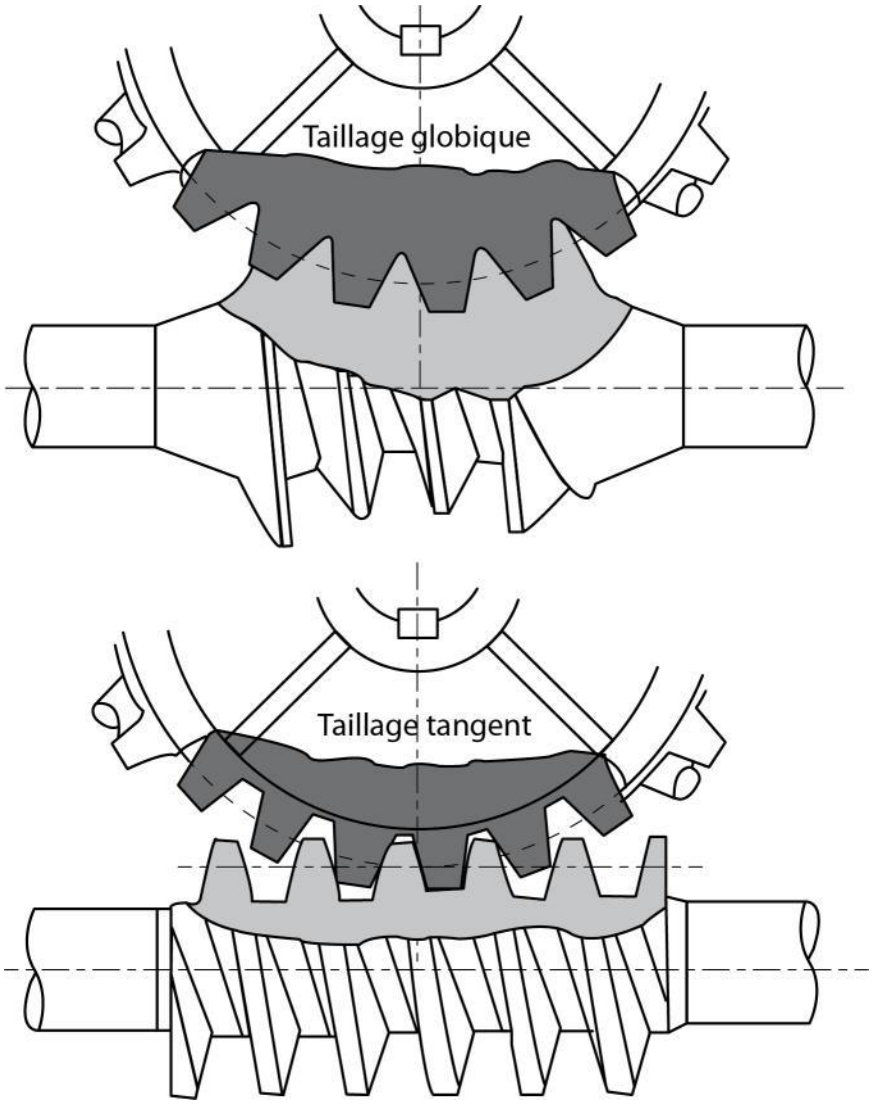
La translation vers la gauche de la position latérale de la roue provoquera, bien entendu, un déplacement du contact vers la droite et vice versa.

Il est à noter que les vis à filets multiples dont l'angle d'attaque est élevé sont plus sensibles à un tel réglage.

Que le sens du filet de la vis soit à droite ou à gauche, le principe de contact côté « sortie » est d'application.

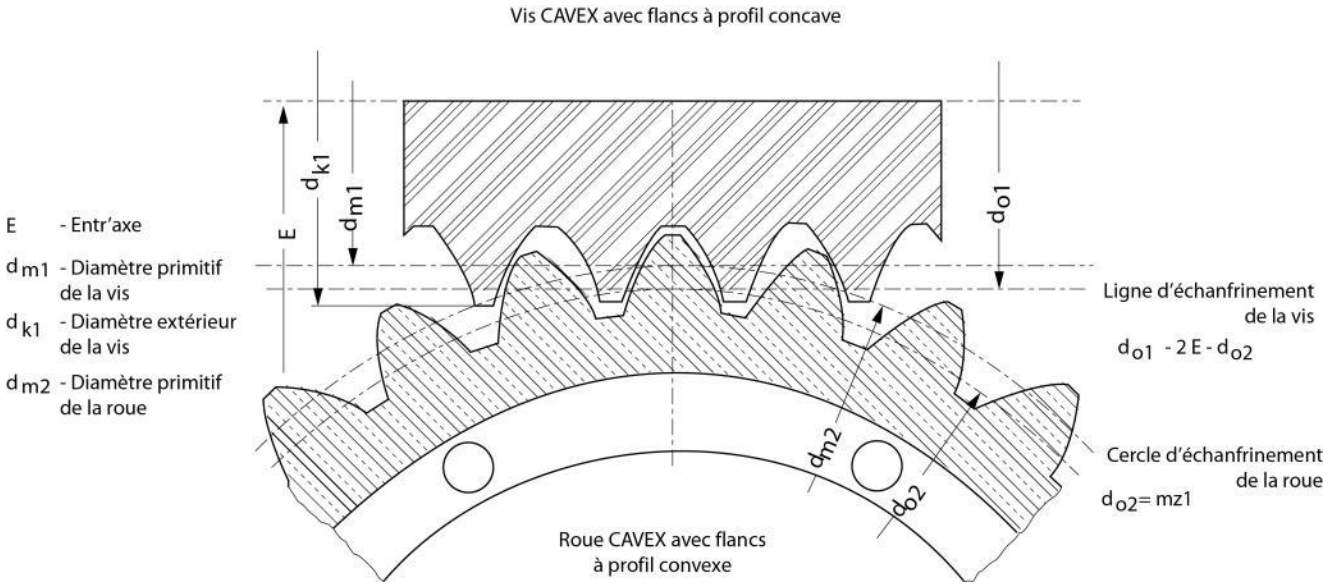
Si la rotation doit avoir lieu dans les 2 sens (la dent travaillera sur les deux flancs), on veillera à obtenir le contact entre vis et roue tel qu'il est indiqué sur le croquis ci-dessus.

18.9 Roue hélicoïdale et vis globique



Comparaison entre vis globique et roue creuse

18.10 Roue hélicoïdale et vis de Cavex



La vis-sans-fin à flancs concaves, avec sa roue dentée, présente une différence fondamentale par rapport aux dentures courantes.

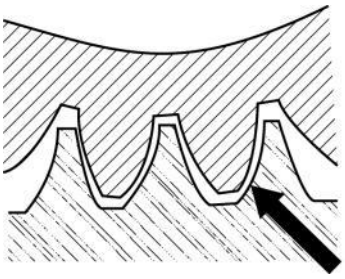
Les deux dents de la vis ont des flancs à profil concave au lieu d'un profil droit ou convexe. Il en résulte des avantages caractéristiques qui sont représentés ci-après d'une manière simplifiée.

Du fait de la forme concave de la denture, la pression spécifique entre les flancs est moindre. L'engrènement des flancs concaves de la vis avec les flancs convexes de la roue facilite le maintien d'un film d'huile.

À la page suivante est représenté un arbre supporté par un coussinet lisse (contact concave-convexe) et le même arbre sur une surface convexe (contact convexe-concave). Il est aisé de comprendre que le film d'huile pourra être maintenu plus facilement dans le premier cas.

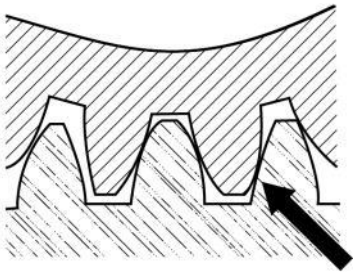
Autre avantage : on constatera que la base de la dent est plus large et, partante, plus résistante.

Denture Cavex



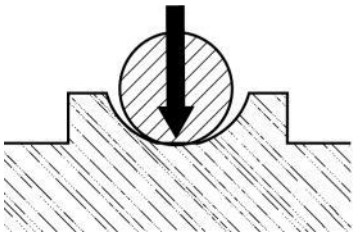
Contact Concave-Convexe

Denture ordinaire

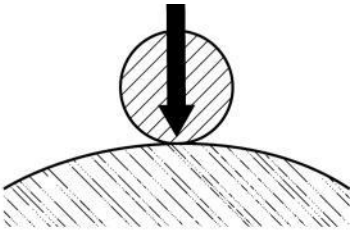


Contact Convexe-Concave

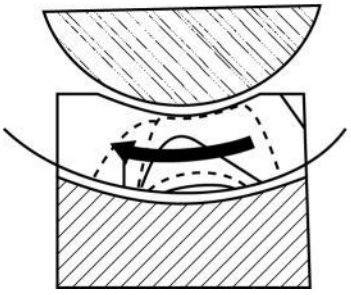
Très faible pression spécifique entre les flancs et maintien d'un film d'huile grâce à la forme des flancs de la denture Cavex

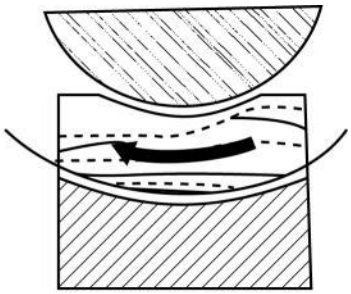


Lignes de contact avec bonne formation d'un film d'huile

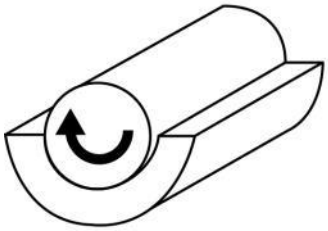


Lignes de contact avec mauvaise formation d'un film d'huile

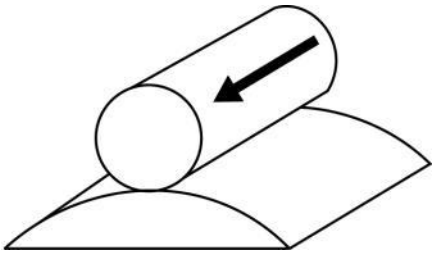




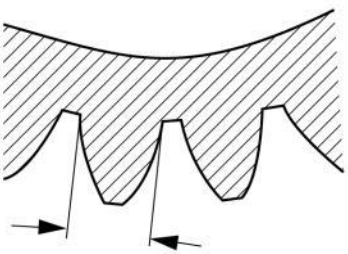
La position particulièrement favorable des lignes de contact – la plupart parallèle au sens de glissement – favorise la formation d'un film d'huile entre les flancs de la denture Cavex

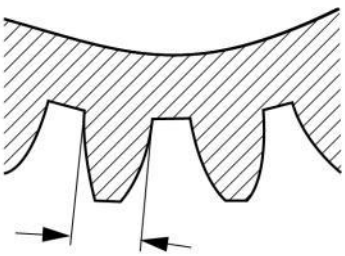


Base de dent plus large



Base de dent moins large

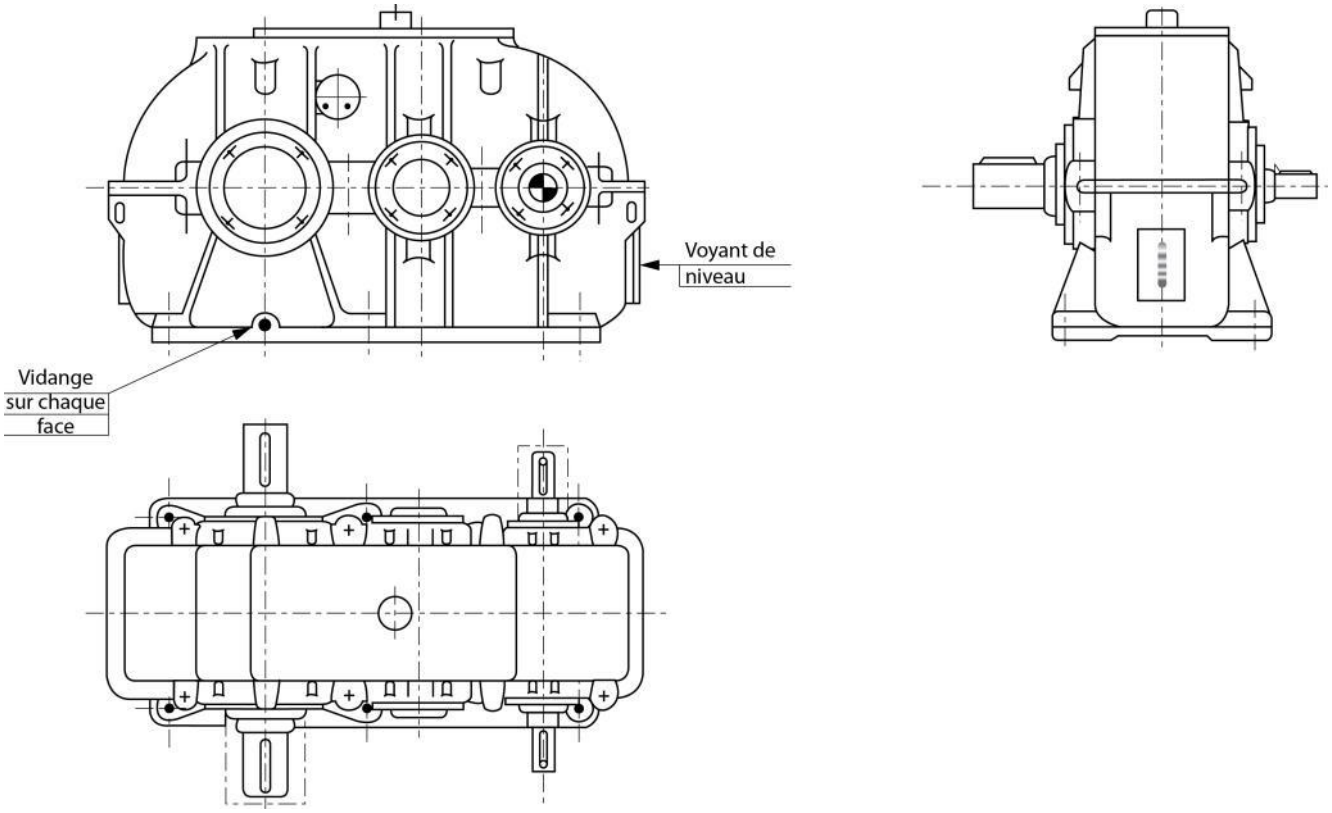




19 Réducteurs

19.1 Réducteurs à engrenages

Les réducteurs de commerce sont livrés entièrement mis au point et ne demandent pas d'interventions à l'intérieur.



19.2 Installation

La fixation doit être assurée de façon rigide sur un massif avec interposition de plots noyés ou sur une ossature métallique.

Le montage des organes de liaison (poulie, accouplement, etc.) sur l'arbre d'entrée ou sur l'arbre de sortie se fera sans chocs.

Lors de la mise en place du réducteur, les arbres seront soigneusement alignés par rapport à la machine. Les tolérances d'alignement tiendront compte du type d'accouplement.

Il convient de contrôler que la fixation ne déforme pas le réducteur.

19.3 Lubrification

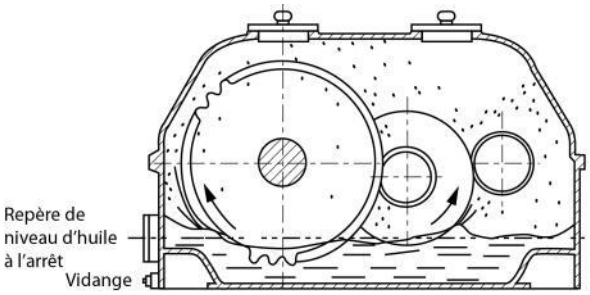
Généralement, les réducteurs de commerce sont livrés sans huile. Il appartient donc à l'utilisateur de verser l'huile nécessaire au bon fonctionnement. La quantité et la qualité du lubrifiant sont communiquées par le constructeur. Souvent, il indiquera des types d'huile de différentes marques.

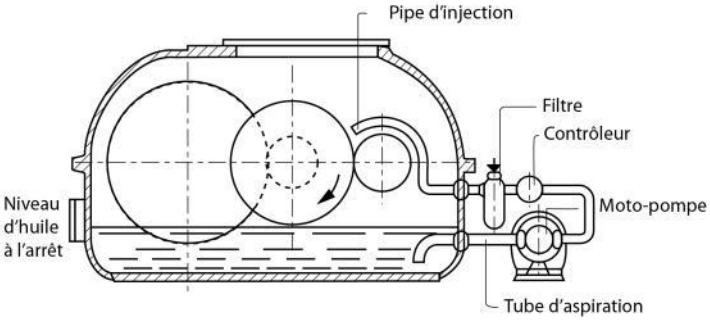
19.3.1 Mode de lubrification

La lubrification des engrenages peut être assurée par le barbotage dans le bain d'huile formé dans la partie inférieure du carter ou par injection dans les dentures au moyen d'une pompe de circulation.

Les roulements peuvent être lubrifiés automatiquement par des projections d'huiles des engrenages et par des ruissellements sur les parois ou dérivations du circuit d'huile.

Dans certains cas, un ou plusieurs roulements peuvent être isolés des projections et lubrifiés à la graisse.





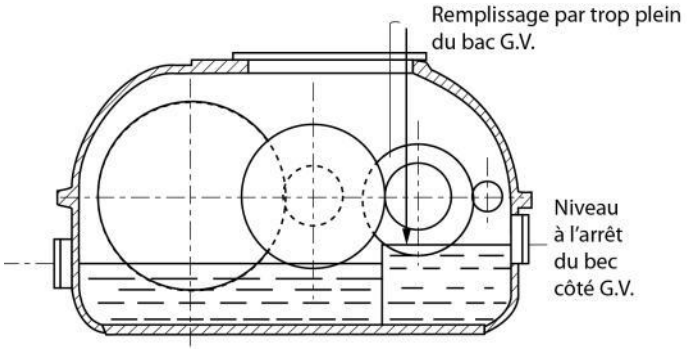
19.3.2 Remplissage

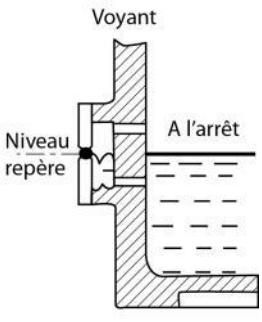
Le remplissage s'effectue par un orifice spécialement prévu à cet effet ou par un couvercle de visite situé dans la partie supérieure.

Avant chaque démontage de ce couvercle, celui-ci sera nettoyé afin de ne pas introduire de corps étrangers à l'intérieur de carter.

Au remontage, s'assurer du bon état des surfaces et éventuellement refaire le joint.

Lorsque le carter est cloisonné pour former plusieurs bacs de niveaux différents, le lubrifiant sera versé dans celui où le niveau est le plus élevé. Il remplira les autres compartiments par débordement.





19.3.3 Niveau d'huile

Le plein est obtenu lorsque l'huile atteint le niveau repéré sur la juge ou sur le voyant. Le niveau indiqué doit être respecté. Un excès d'huile n'ajoute rien à l'efficacité du graissage mais produit un échauffement anormal et des fuites d'huile par les sorties d'arbres.

19.3.4 Mise en route

La mise en route de toute installation nécessite généralement une période de mise au point qui est mise à profit pour assurer une mise en charge progressive de l'appareil.

Vérifier éventuellement le fonctionnement de la pompe au moyen du dispositif de contrôle incorporé dans le circuit d'huile.

L'entrainement de la pompe par un moteur électrique rend la lubrification indépendante de la rotation de l'appareil. Il permet un graissage préalable des pièces mobiles. Cet avantage peut être obtenu par asservissement du démarrage du moteur principal à celui du moteur de la pompe.

19.3.5 Contrôle de la lubrification

Le contrôle du niveau d'huile se fera, comme il a été dit plus haut, au moyen d'une jauge ou au travers d'un voyant.

La circulation de l'huile pourra être vérifiée au travers d'un voyant, parfois équipé d'une petite hélice que fait tourner un jet d'huile.

Certains contrôleurs de lubrification comportent des contacts électriques qui permettent d'assurer l'asservissement du démarrage du moteur principal à celui du moteur de la pompe. Ils peuvent également signaler, par témoins ou par avertisseur sonore, un manque de débit d'huile.

19.3.6 Entretien

L'entretien consistera le plus souvent à :

- ✓ Maintenir l'efficacité de la lubrification
- ✓ Procéder à quelques examens sommaires
- ✓ Procéder à un examen plus poussé lors d'un arrêt annuel

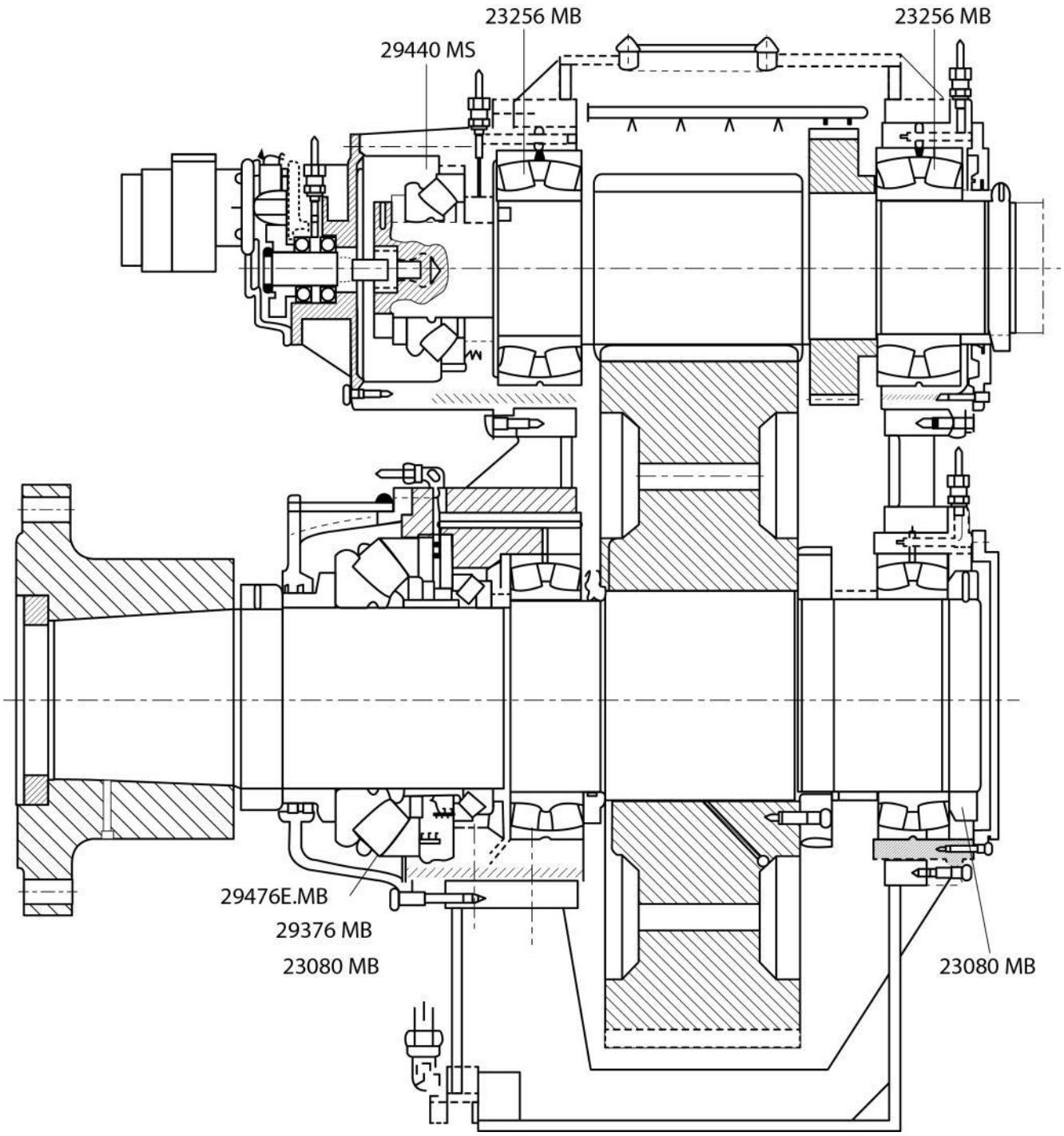
En dehors des examens de routine qui consistent à vérifier le niveau et la circulation de l'huile, le nettoyage des filtres et les vidanges se feront suivant un calendrier établi par le constructeur, corrigé éventuellement par l'expérience acquise.

Généralement, la première vidange se fait après un temps de fonctionnement plus court que pour les autres vidanges ; cela résulte de la période de rodage.

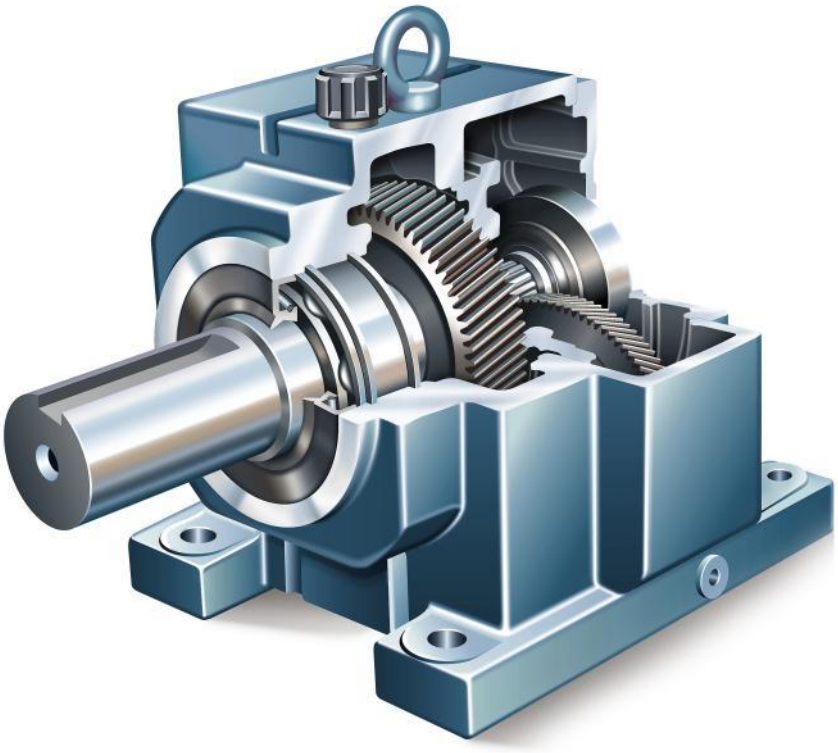
Dans le cas de grosses installations, il est conseillé de procéder à des prélèvements d'huile pour analyse par le fournisseur qui pourra ainsi juger de son remplacement.

Le bruit émis par les roues d'engrenages et par les roulements permettra de déceler des anomalies. Cet examen peut se faire au moyen d'un stéthoscope ou tout simplement d'un tournevis dont la pointe est appuyée sur le carter, l'autre extrémité contre l'os qui se trouve derrière l'oreille.

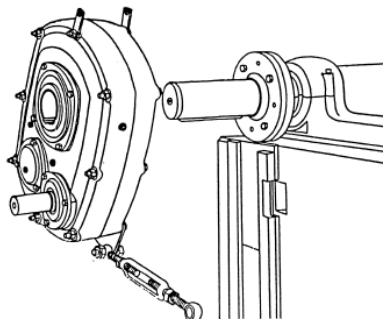
Une attention sera apportée à l'efficacité des bagues d'étanchéité pour ainsi déceler les fuites éventuelles.


23256 MB
29440 MS
23256 MB
29476E.MB
29376 MB
23080 MB
23080 MB

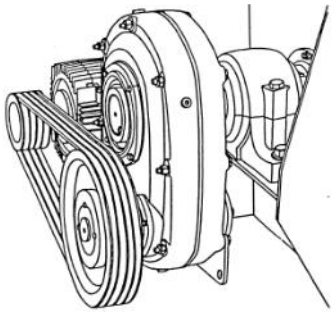
19.4 Réducteurs à engrenages cylindriques



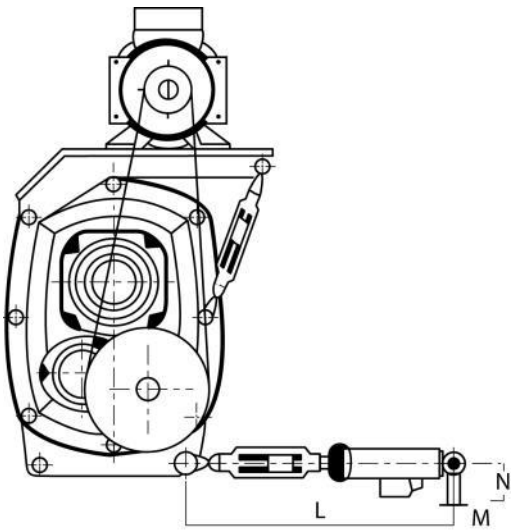
19.5 Réducteur à arbre creux



Réducteur à arbre creux prêt à être emmanché sur l'arbre.



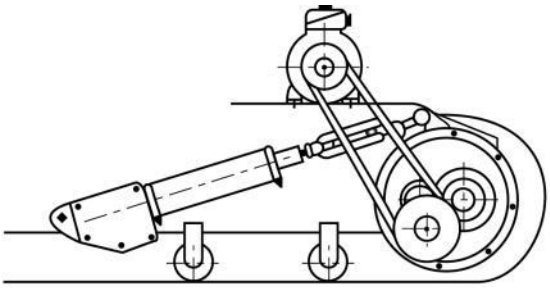
Réducteur à arbre creux monté.

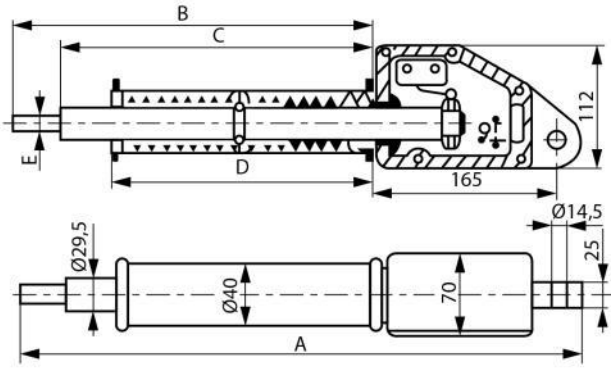


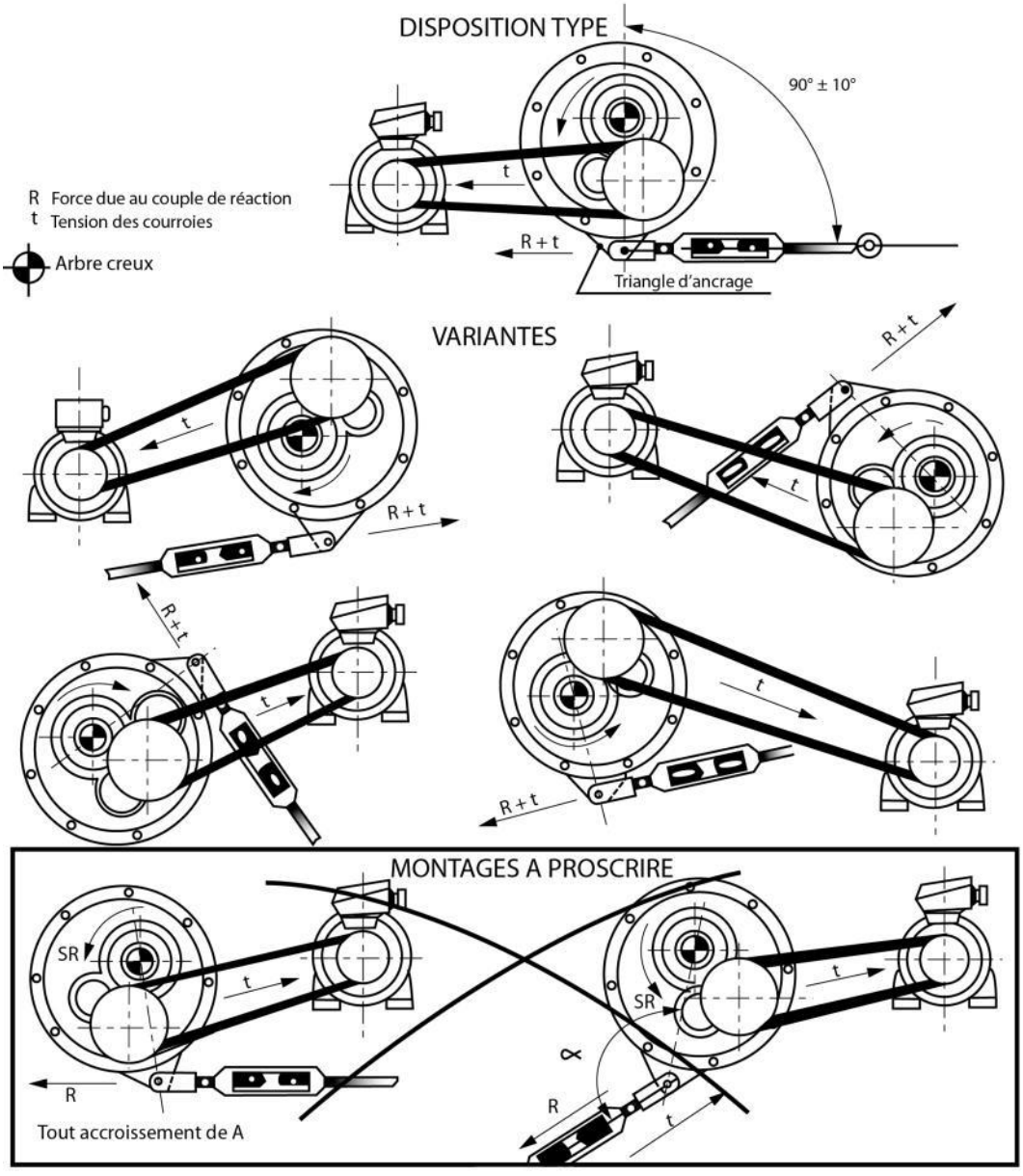
Réducteur à arbre creux et moteur.

On remarque l'ensemble de réglage de la tension de la courroie, ainsi que le bras de réaction, réglable également.

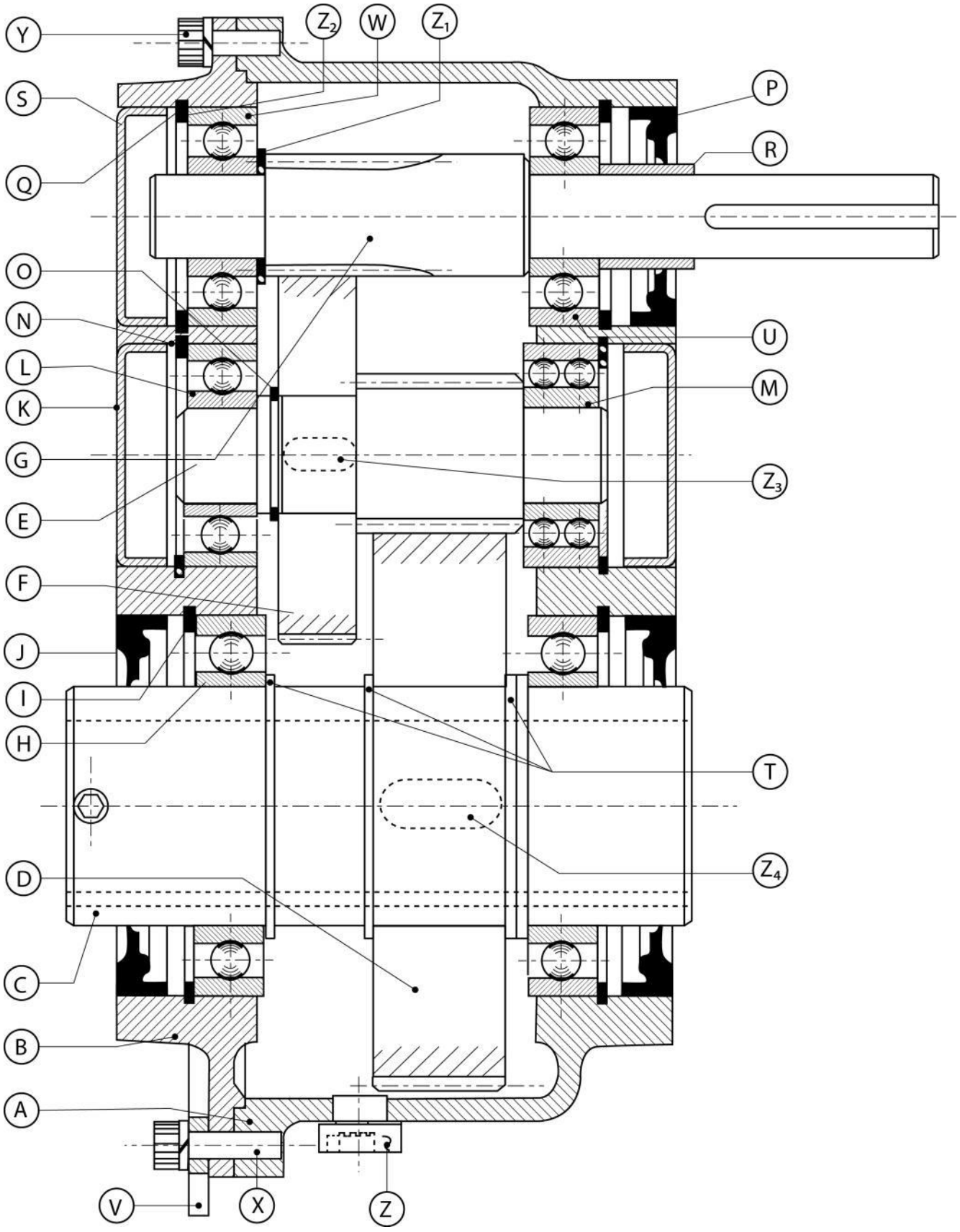
19.6 Bras de réaction et limiteur de couple







19.7 Réducteur à arbre creux. Coupe.

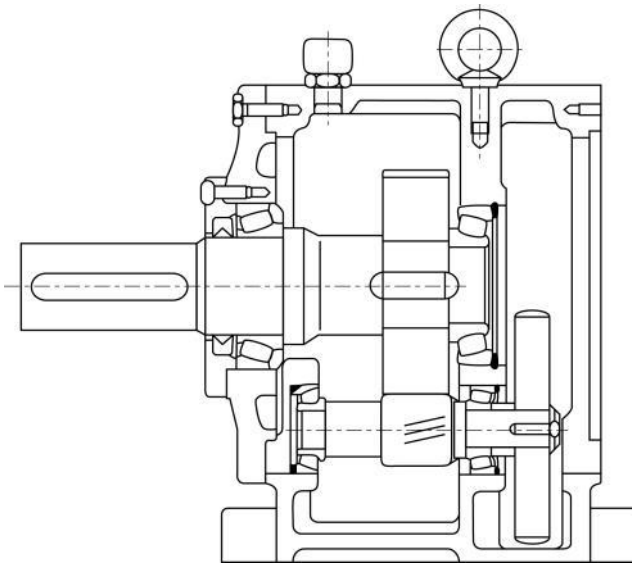


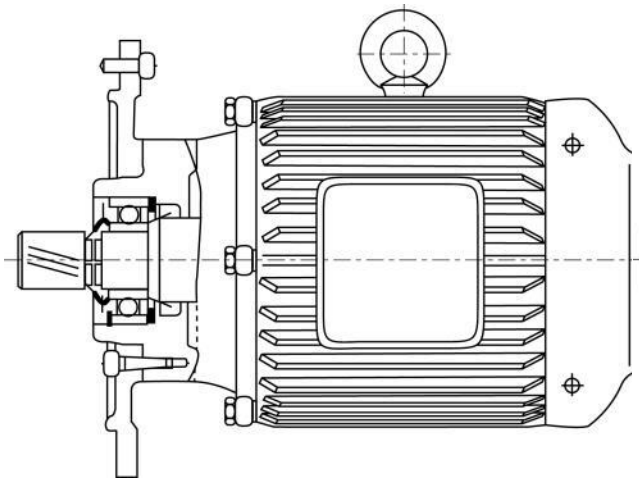
19.8 Réducteur à arbre creux. Nomenclature des pièces.

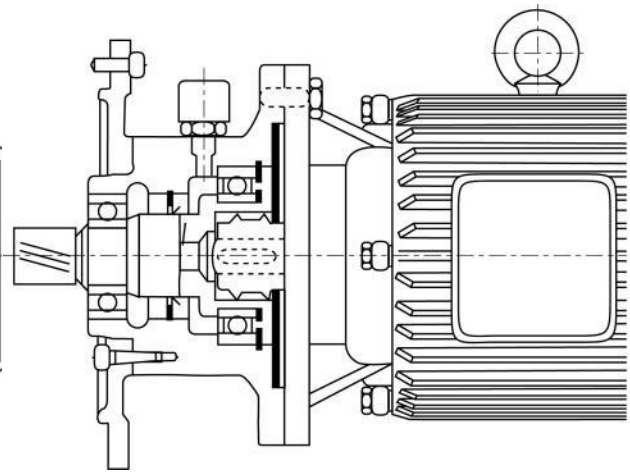
REP	DESIGNATION	Nbr	1710c	1712c	2012c	2015c	2417c	2520c	Observations
			TYPE :						
Z_4	CLAVETTE	1	12x8x26	12x8x25	12x8x40	12x8x40	12x8x50	12x8x50	
Z_3	CLAVETTE	1	8x7x15	8x7x15	8x7x25	8x7x25	10x8x25	10x8x25	
Z_2	CALES CLINQUANTS				Ø 47	Ø 47	Ø 62	Ø 62	Ep. 0,2-0,1-0,05
Z_1	CIRCLIPS EXTERIEURS	1	Ø 18						N'existe que pour le type 1710c
Z	BOUCHONS DE VIDANGE	6	½ Gaz	½ Gaz	½ Gaz	½ Gaz	½ Gaz	½ Gaz	
Y	VIS S.P.C.		8x20	8x20	10x25	10x25	12x30	12x30	
X	VIS S.P.C	2	8x25	8x25	10x30	10x30	12x35	12x35	
W	ROULEMENT G.V.	1	6303	6204	6303	7204	6305	7206	
V	TRIANGLE D'ANCRAGE	1	4024	4024	401	401	412	412	
U	ROULEMENT G.V.	1	6204	6204	7204*	7204*	7206*	7206*	
T	CIRCLIPS EXTERIEURS	4	Ø 50	Ø 50	Ø 55	Ø 55	Ø 65	Ø 65	
S	CAPOT EMBOUTI	1	Ø 47	Ø 47	Ø 47	Ø 47	Ø 62	Ø 62	
R	BAGUE D'EPAULEMENT	1			402*	402*	402*	402*	Voir instructions de service (1)
Q	CIRCLIPS INTERIEURS	2	Ø 47	Ø 47	Ø 47	Ø 47	Ø 62	Ø 62	
P	JOINT G.V.	1	20X47	20X47	25X47	25X47	35X62	35X62	EPAISSEUR MAXI 13
O	CIRCLIPS EXTERIEURS	1	Ø 24	Ø 24	Ø 29	Ø 29	Ø 38	Ø 38	
N	CIRCLIPS INTERIEURS	2	Ø 47	Ø 47	Ø 52	Ø 25	Ø 62	Ø 62	
M	ROULEMENT INTERMEDIAIRE	1	4204	4204	4205	4205	4206	4206	
L	ROULEMENT INTERMEDIAIRE	1	6204	6204	6205	6205	6206	6206	
K	CAPOTS EMBOUTIS	2	Ø 47	Ø 47	Ø 52	Ø 52	Ø 62	Ø 62	
J	JOINTS P.V.	2	50x80	50x80	55x90	55x90	65x100	65x100	Épaisseur maxi 13
I	CIRCLIPS INTERIEURS	2	Ø 80	Ø 80	Ø 90	Ø 90	Ø 100	Ø 100	
H	ROULEMENTS P.V.	2	6010	6010	6011	6011	6013	6013	
G	PIGNON G.V.	1	3058	3048	3079*	3078*	3060*	3046*	Voir instructions de service
F	ROUE INTERMEDIAIRE	1	4137	4122	4138	4117	4139	4118	
E	PIGNON ARBRE INTERMEDIAIRE	1	4120	4120	3042	3042	3045	3045	
D	ROUE P.V.	1	4121	4121	4116	4116	4119	4119	Voir instructions de service
C	ARBRE CREUX	1	3062	3062	3063	3063	3064	3064	Voir instructions de service (2)
B	COUVERCLE	1	204	204	202	202	105	105	
A	CARTER	1	1016	1016	1014	1014	1017	1017	

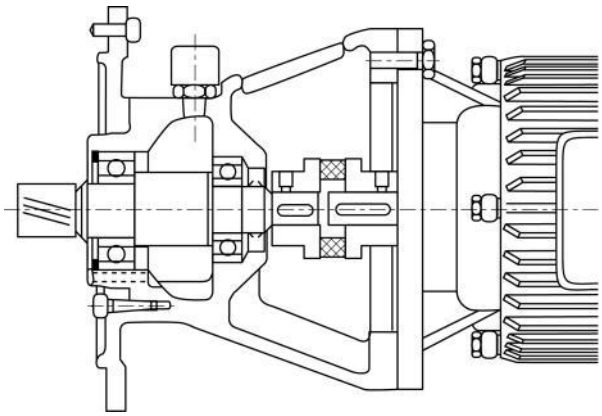
19.9 Moto-réducteur

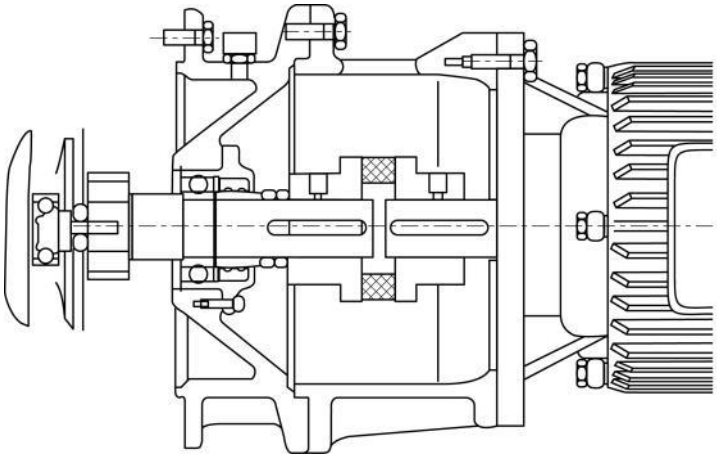
19.9.1 Moto-réducteur. Variantes d'accouplement



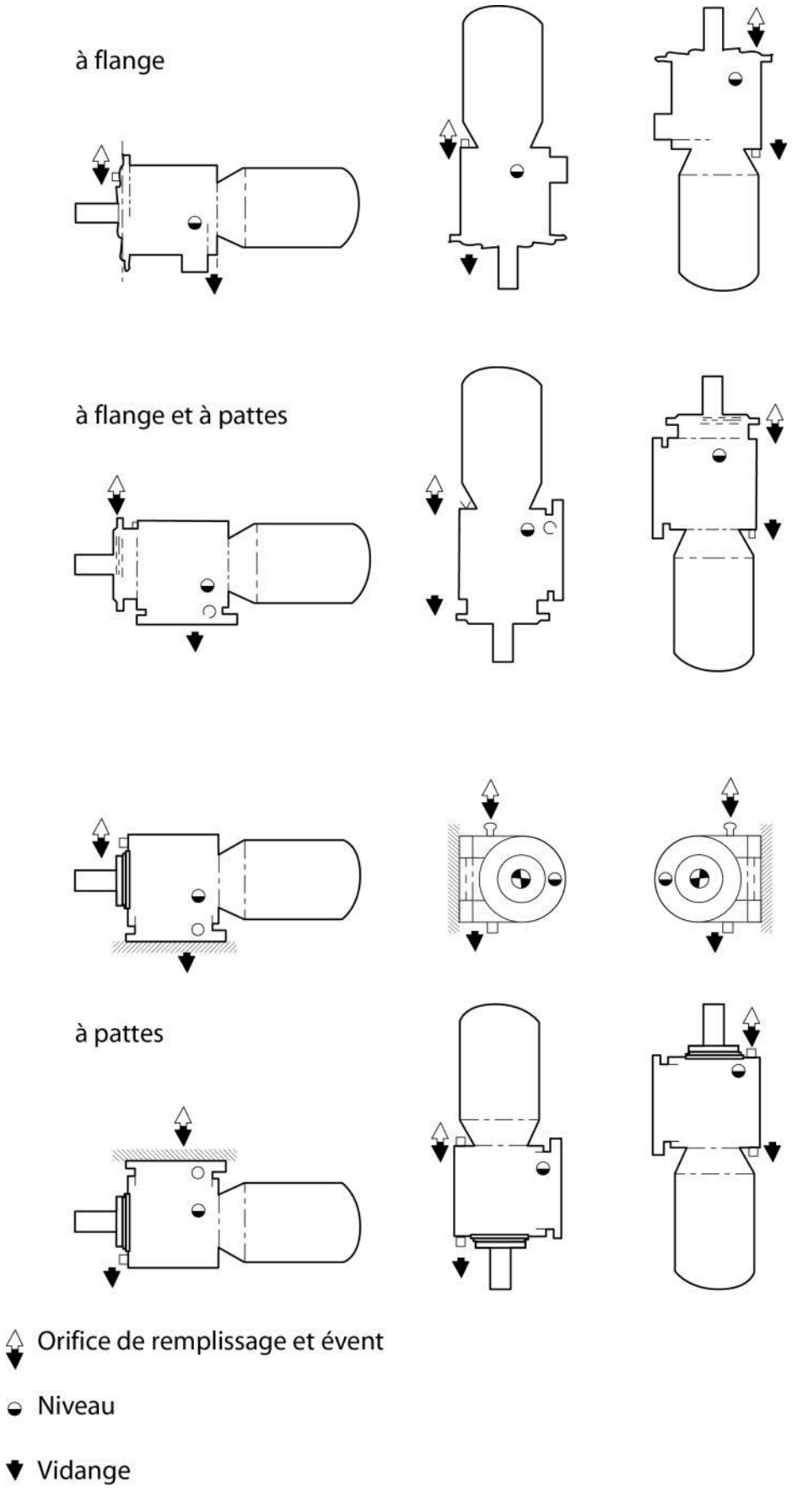




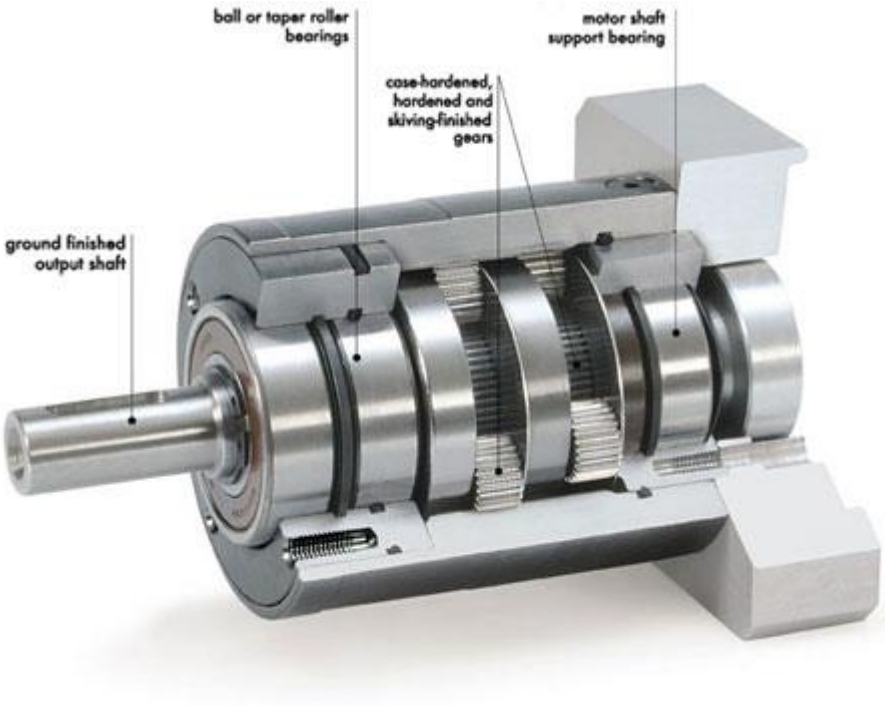




19.9.2 Moto-réducteur

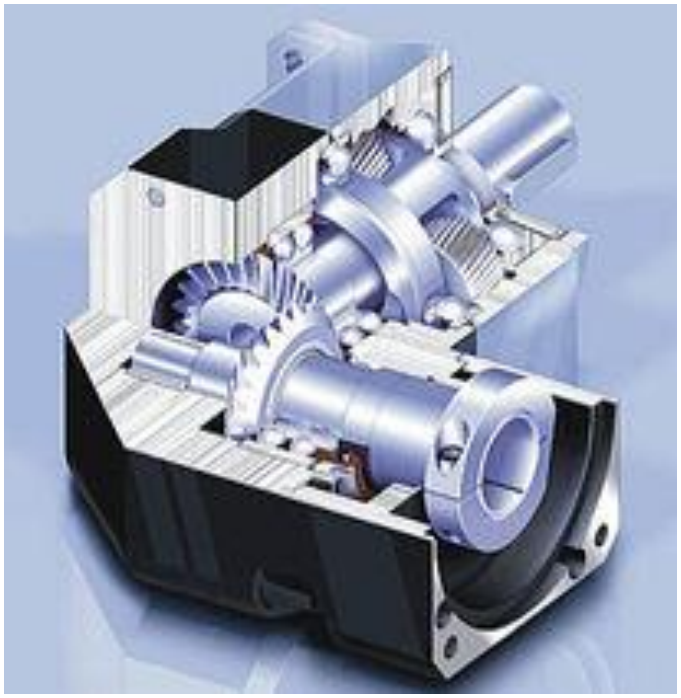


19.10 Réducteur planétaire

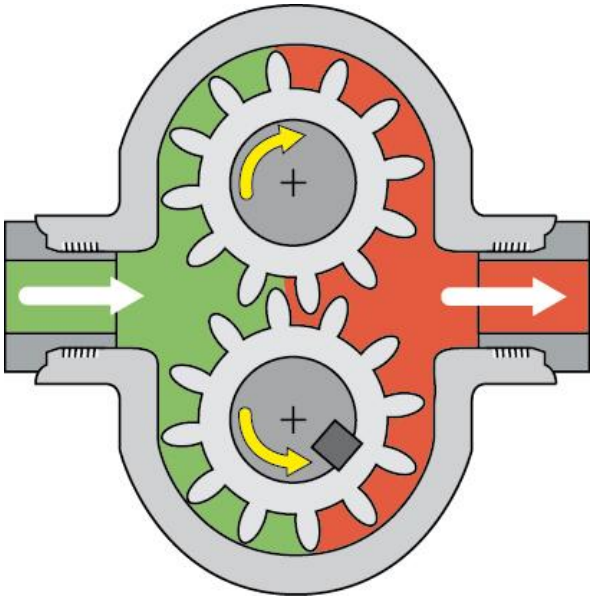


Exemple de réducteur

19.11 Réducteur à roues coniques à denture spirale

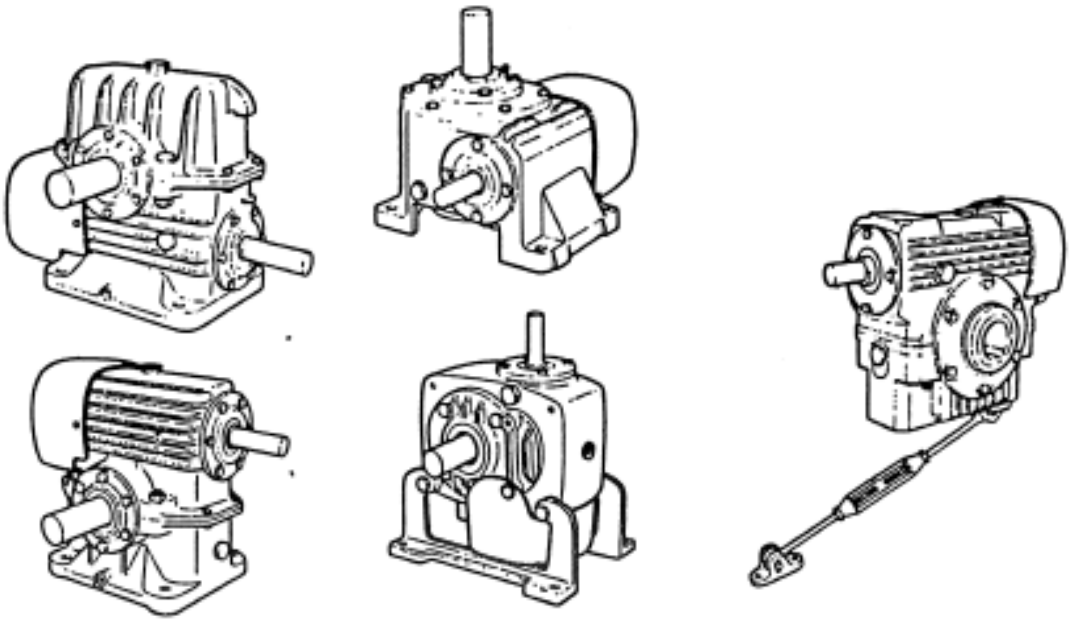


19.12 Pompes à engrenage



19.13 Réducteur à vis-sans-fin

19.13.1 Différentes dispositions



Norme belge	DESSINS **ROUES DENTEES**	**NBN 671** **1966** **COU : 744 : 621.83**

En harmonie avec ISO 2203

erratum compris

0. INTRODUCTION

Une roue d'engrenage ou une roue à chaîne[2] peut être représentée de trois manières :

- ✓ complète, c'est-à-dire conforme aux conventions habituelles du dessin (dessin et détail d'ensemble) ;
- ✓ simplifiée (dessins d'ensemble, dessins d'avant-projets et de fonctionnement) ;
- ✓ symbolique (schémas de fonctionnement).

1. REPRESENTATION COMPLETE

1.1. PRINCIPE DE BASE

Par convention, une roue dentée est représentée comme une pièce pleine non dentée, avec la seule adjonction du tracé de la surface primitive en trait mixte fin. Toutefois, en coupe axiale, la denture n'est pas coupée.

1.2. DESSINS DE ROUES ISOLEES

1.2.1 Contours et arêtes

Représenter les contours et arêtes de chaque roue dentée comme s'il s'agissait (Fig. 1 à 3) :

- ✓ en vue, d'une roue non dentée limitée par la surface de tête,
- ✓ en coupe axiale, d'une roue à denture droite ayant deux dents diamétralement opposées, représentées non coupées (même dans le cas d'une denture non droite, ou d'un nombre impair de dents).

1.2.2. Surface primitive

Tracer la surface primitive en trait mixte fin, même dans les parties cachées et dans les coupes (Fig. 1 à 3) :

- ✓ en projection sur le plan perpendiculaire à l'axe, la représenter par son cercle primitif (cercle primitif externe dans le cas d'une roue conique, cercle primitif central dans le cas d'une roue à vis[3]),
- ✓ en projection sur un plan parallèle à l'axe, la représenter par son contour apparent, en faisant dépasser le trait de part et d'autre du contour de la roue. (Dans le cas d'une roue à vis, remplacer le contour apparent par celui d'une portion de surface conique schématisant la forme de la roue : Fig. 3)

1.2.3. Surface de pied

En règle générale, ne pas représenter la surface de pied sauf dans les coupes (Fig. 4). Toutefois, s'il est utile de la représenter aussi sur des vues, la tracer toujours, dans ce cas de trait continu fin (Fig. 5 et 6).

1.2.4. Profil de denture

Définir le profil de denture, soit par référence à une norme, soit par un dessin à échelle convenable. S'il est indispensable de faire figurer une ou plusieurs dents sur le dessin lui-même (soit pour délimiter les extrémités d'un secteur denté ou d'une crémaillère, soit pour préciser la position de la denture par rapport à un plan axial donné), les tracer en traits continus forts (Fig. 5 et 6).

[2] Voir NBN 696 – Engrenage – Terminologie et symboles (actuellement à l'état de projet).
[3] Dans le cas des roues plates, le cercle moyen d'action est représenté en trait mixte fin malgré qu'il ne s'agisse pas ici d'un cercle primitif.

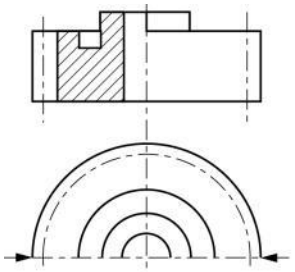


FIG. 1

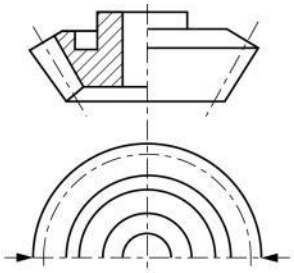


FIG. 2

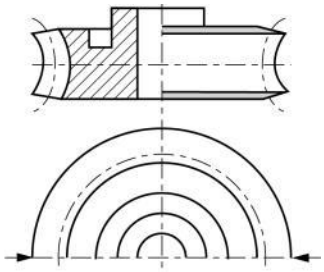


FIG. 3

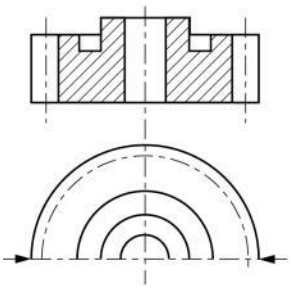


FIG. 4

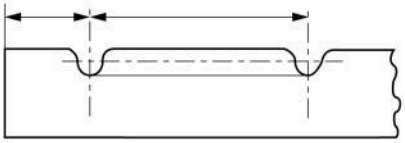


FIG. 5

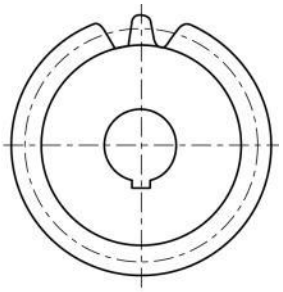
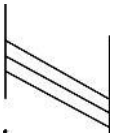
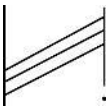


FIG. 6

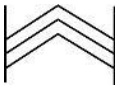
1.2.5. Type de denture

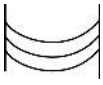
Dans le cas de représentation d'une roue à denture autre qu'une denture droite, le type et l'orientation de la denture[4] doivent, s'il y a lieu, être indiqués sur la vue parallèle à l'axe de la roue à l'aide d'un des symboles suivants :

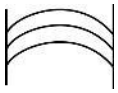
Denture hélicoïdale à droite 

Denture hélicoïdale à gauche 

Denture en chevron (vers le bas)

Denture en chevron (vers le haut) 

Denture spirale (vers le bas) 

Denture spirale (vers le haut) 

1.3. DESSIN D'ENSEMBLE (Fig. 7 à 11)

1.3.1. Engrenages

Utiliser les mêmes conventions que sur les dessins de détail pour la représention de chacune des roues d'un engrenage représenté sur un dessin d'ensemble.
Toutefois, pour une roue conique en projections sur un plan parallèle à l'axe, prolonger le tracé de la surface primitive jusqu'à son point de rencontre avec l'axe (Fig. 8 et 9).
Aucune des deux roues d'un engrenage n'est supposée cachée par l'autre dans la partie en prise (Fig. 7), sauf dans les deux cas ci-après :

- ✓ si l'une des roues, située entièrement en avant de l'autre, la cache effectivement en partie (Fig. 8 à 10),
- ✓ si les deux roues sont représentées en coupe axiale, auquel cas l'une des deux roues, arbitrairement choisie, est supposée cachée en partie par l'autre (Fig. 8).

Dans ces deux cas, la représentation des contours et arêtes cachés peut être omise, si elle n'est pas indispensable pour la clarté du dessin (Fig. 8 et 9). Le jeu au fond de denture est représenté à la figure 8. Cette représentation n'est toutefois pas indispensable.

[4] Voir NBN 466 – Engrenages cylindriques – Indications à fournir au tailleur d'engrenages par le client afin d'obtenir la denture désirée.

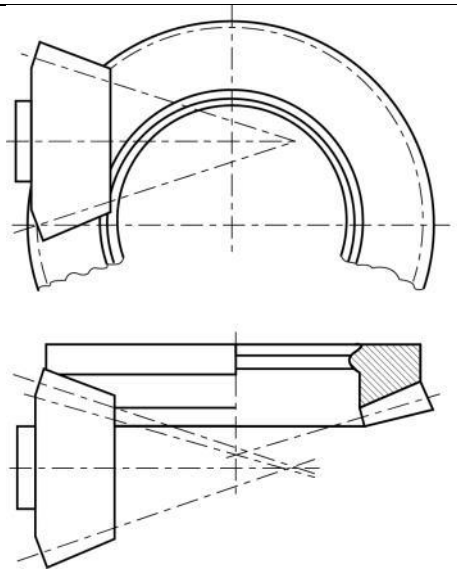


FIG. 9

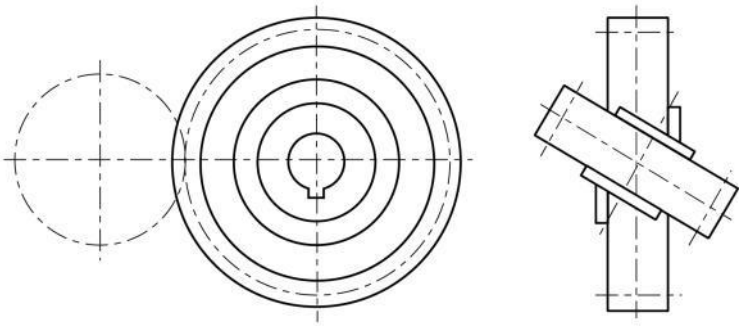


FIG. 10

1.3.2. Roues à chaîne

Pour la représentation des roues à chaîne s'inspirer de la figure 11.

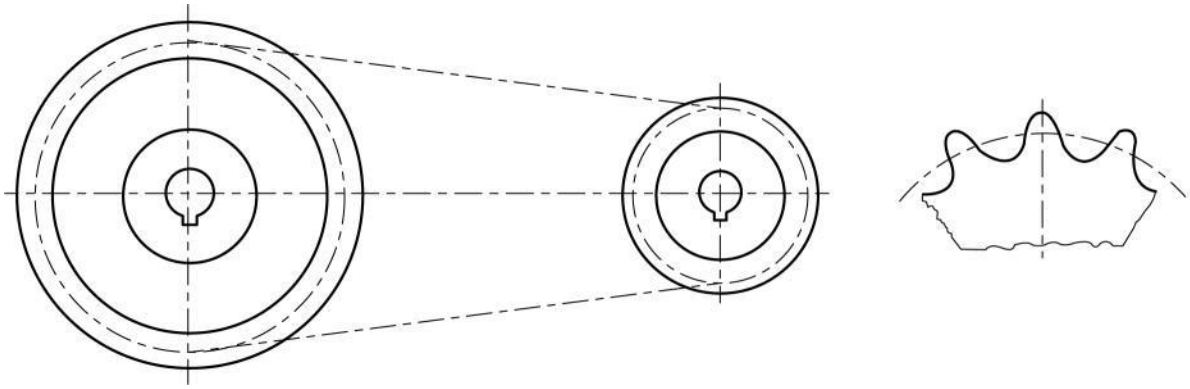


FIG. 11

2. REPRESENTATION SIMPLIFIEE ET SYMBOLIQUE

2.1. Le Tableau I donne, en regard de la représentation complète, les représentations simplifiée et symbolique des roues d'engrenage et des roues à chaîne dans lesquelles peuvent être utilisés les symboles supplémentaires suivants. Le Tableau II en donne des exemples.

2.1.1. Sens de rotation ou de translation

Le sens de rotation ou de translation est symbolisé par une flèche droite ou courbe. Cette indication est indispensable en cas d'ambiguïté.

2.1.2 Liaison de la roue avec l'axe

La liaison avec l'axe peut être indiqué sur la vue de profil par un des symboles suivants :

Liberté de rotation et de translation

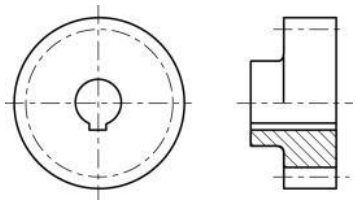
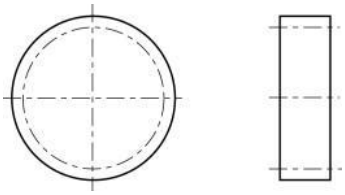
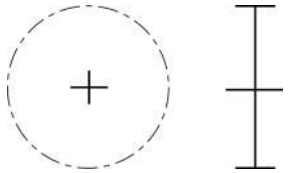
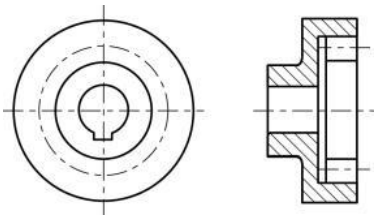
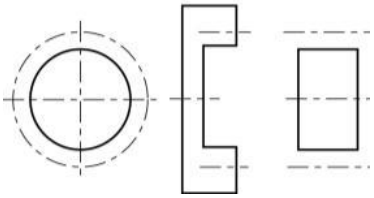
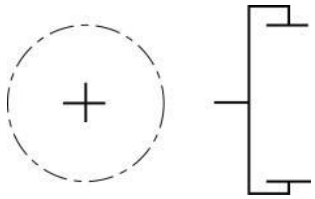
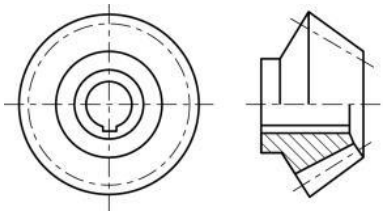
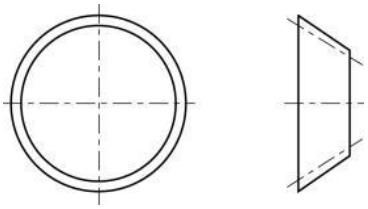
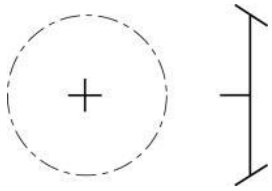
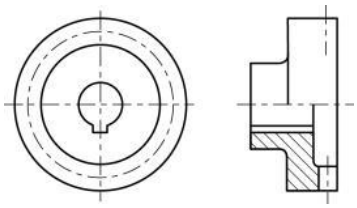
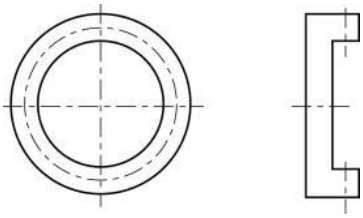
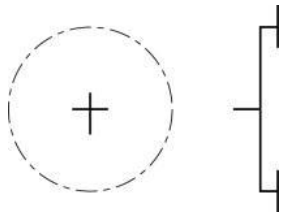
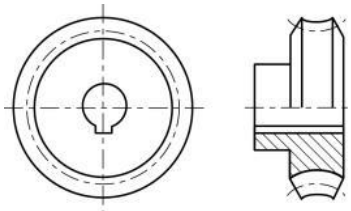
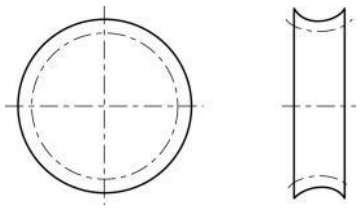
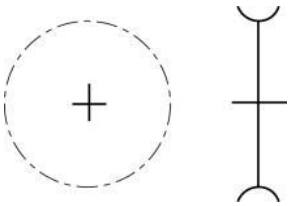
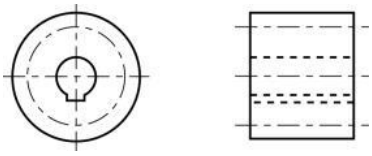
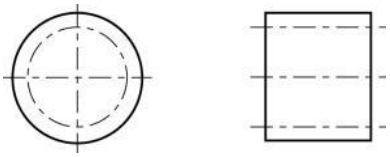
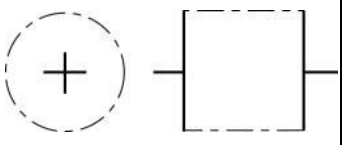
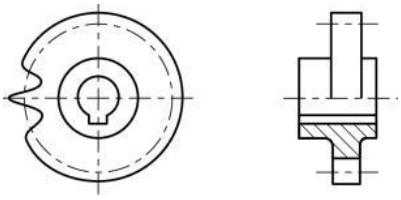
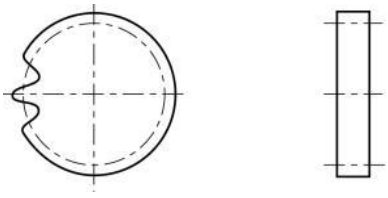
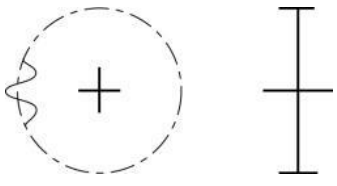
Liberté de rotation

Liberté de translation

Liaison complète avec l'axe

TABLEAU 1

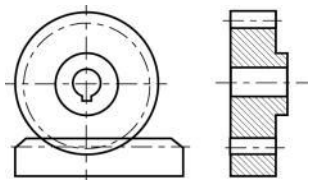
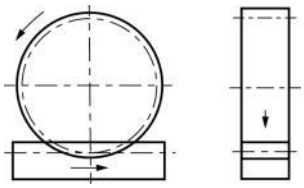
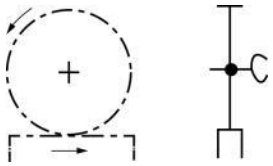
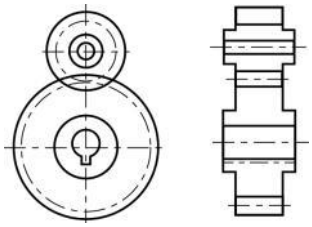
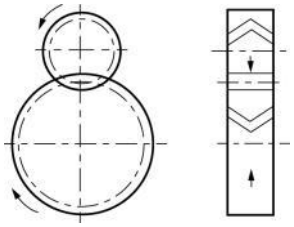
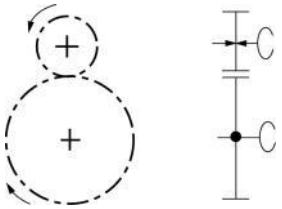
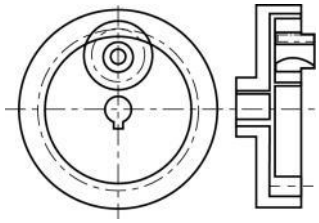
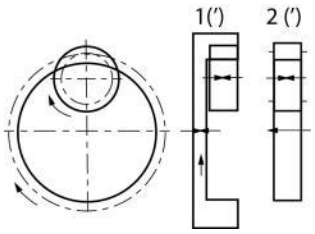
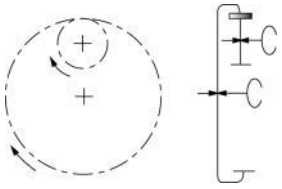
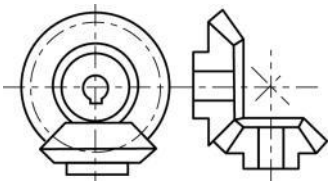
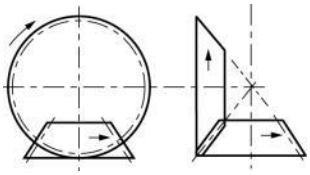
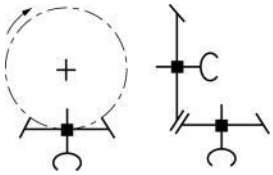
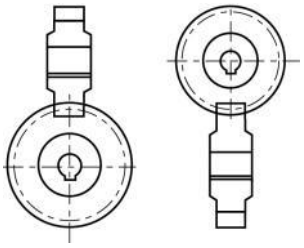
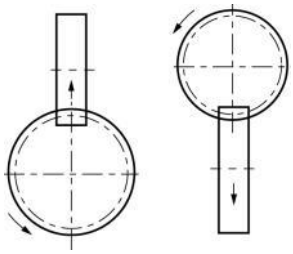
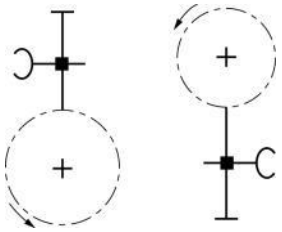
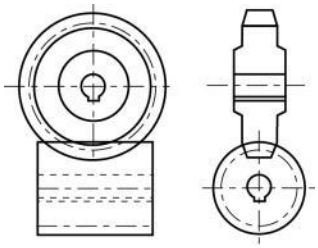
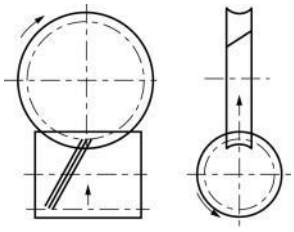
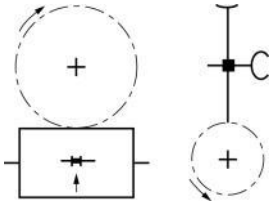
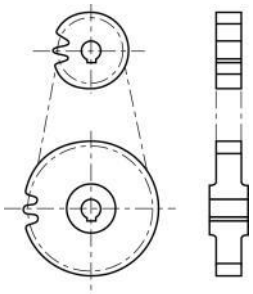
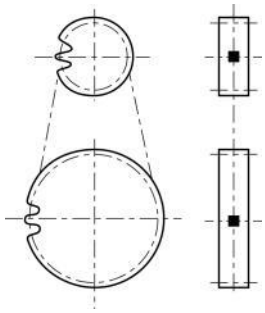
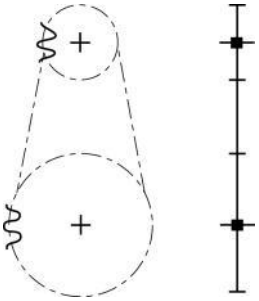
Représentation des roues d'engrenage et des roues à chaîne

Type de roue	Complète	Simplifiée	Symbolique
Crémaillère			
Cylindrique à denture extérieure			
Cylindrique à denture intérieure			
Conique			
Plate			
Roue à vis			
Vis cylindrique			
Roue à chaîne			

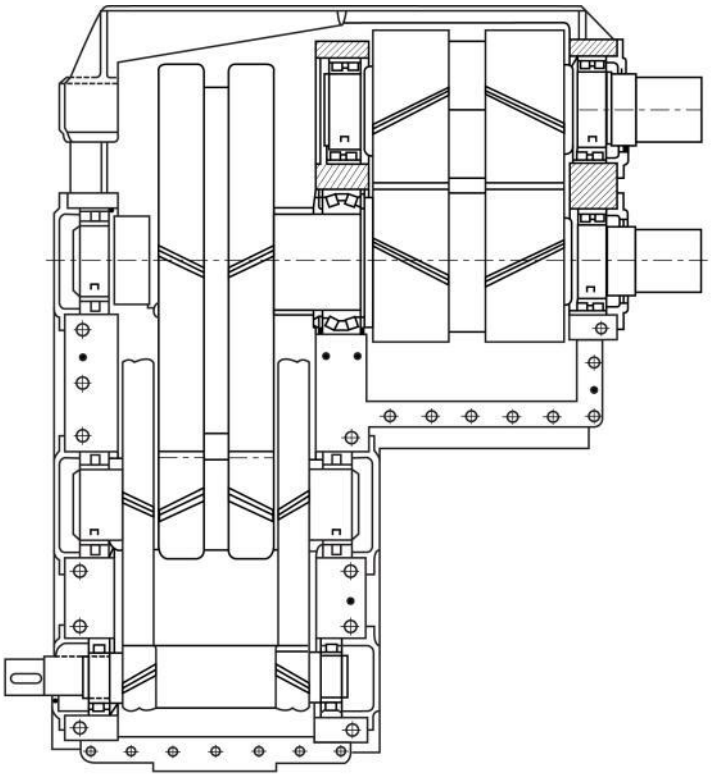
Pour la vue latérale, on peut employer indifféremment les représentations 1 ou 2.

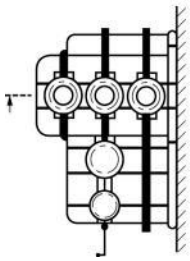
TABLEAU II

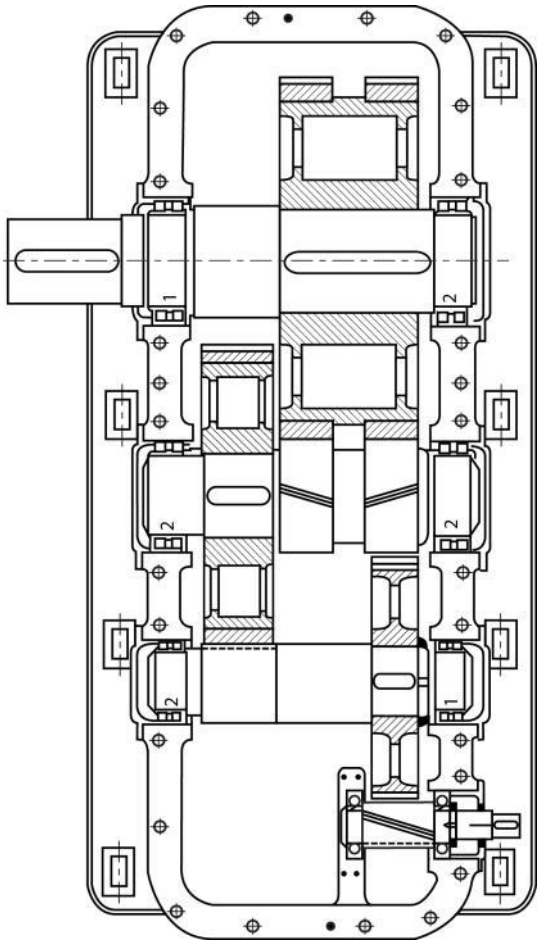
Exemple de représentation d'engrenages et de roue à chaîne

	Complète	Simplifiée	Symbolique
Engrenage à crémaillère à denture droite ; liaison complète de la roue avec l'axe			
Engrenage cylindrique parallèle à denture extérieure en chevron, liberté de rotation du pignon ; liaison complète de la roue avec l'axe			
Engrenage cylindrique intérieur ; liaison complète des deux roues avec leurs axes			
Engrenages coniques à denture droite ; liaison complète des deux roues avec leurs axes			
Engrenage cylindrique gauche à denture extérieure hélicoïdale, liaison complète des deux roues avec leurs axes			
Engrenage à vis ; liaison complète de la vis et de la roue avec leurs axes			
Transmission par roues à chaînes ; liaison complète des deux roues avec leurs axes			

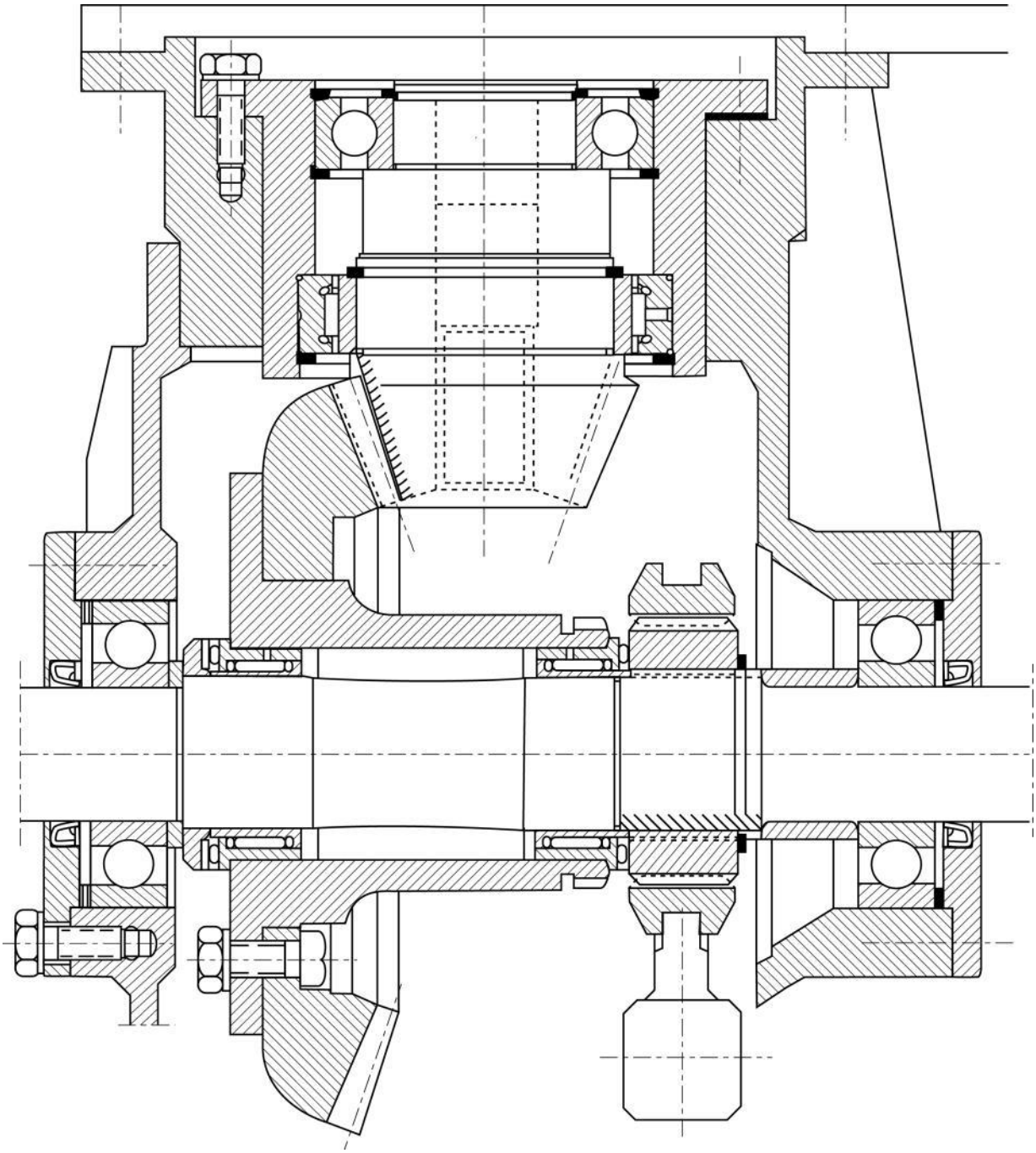
19.14 Réducteur



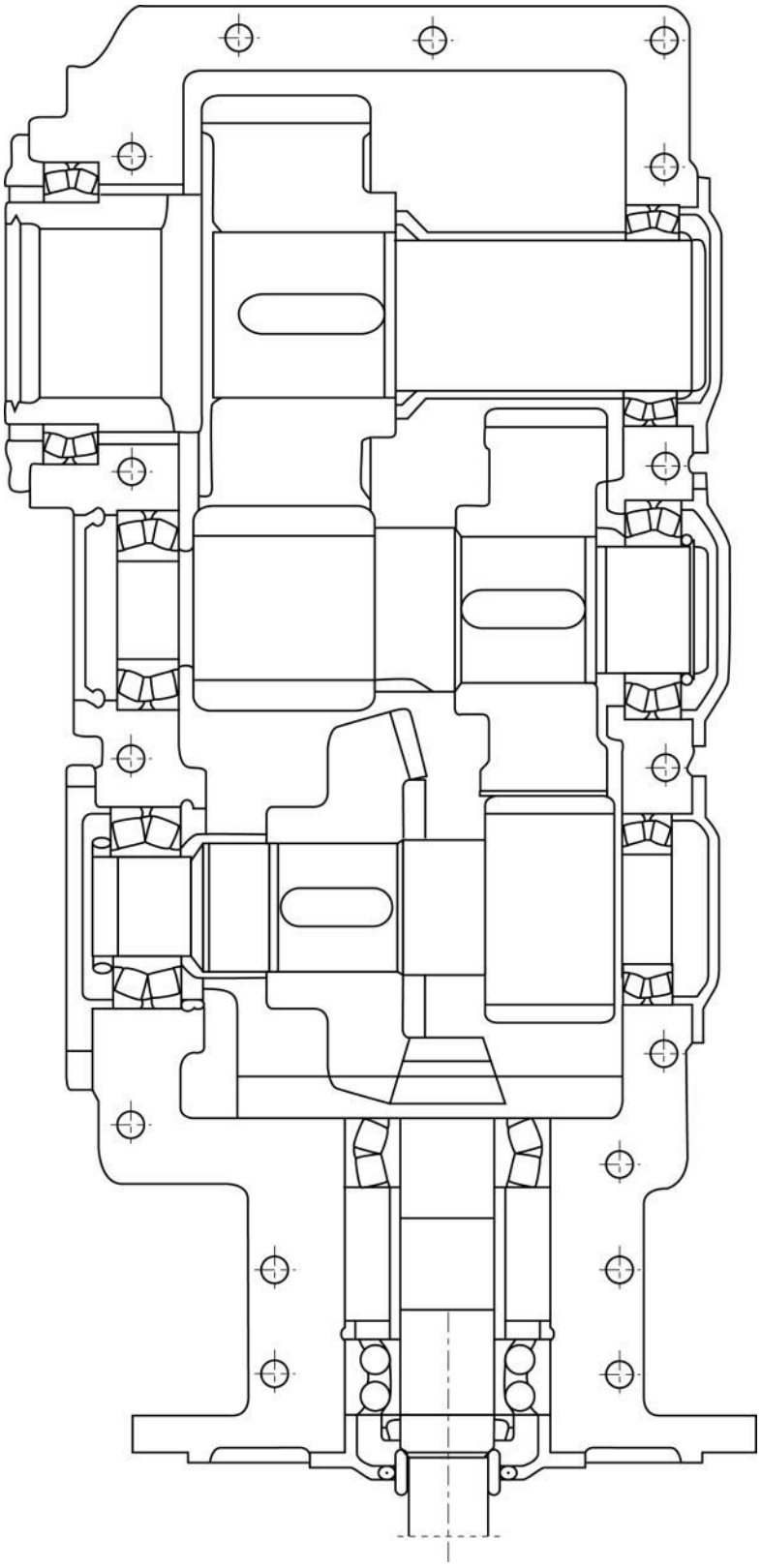




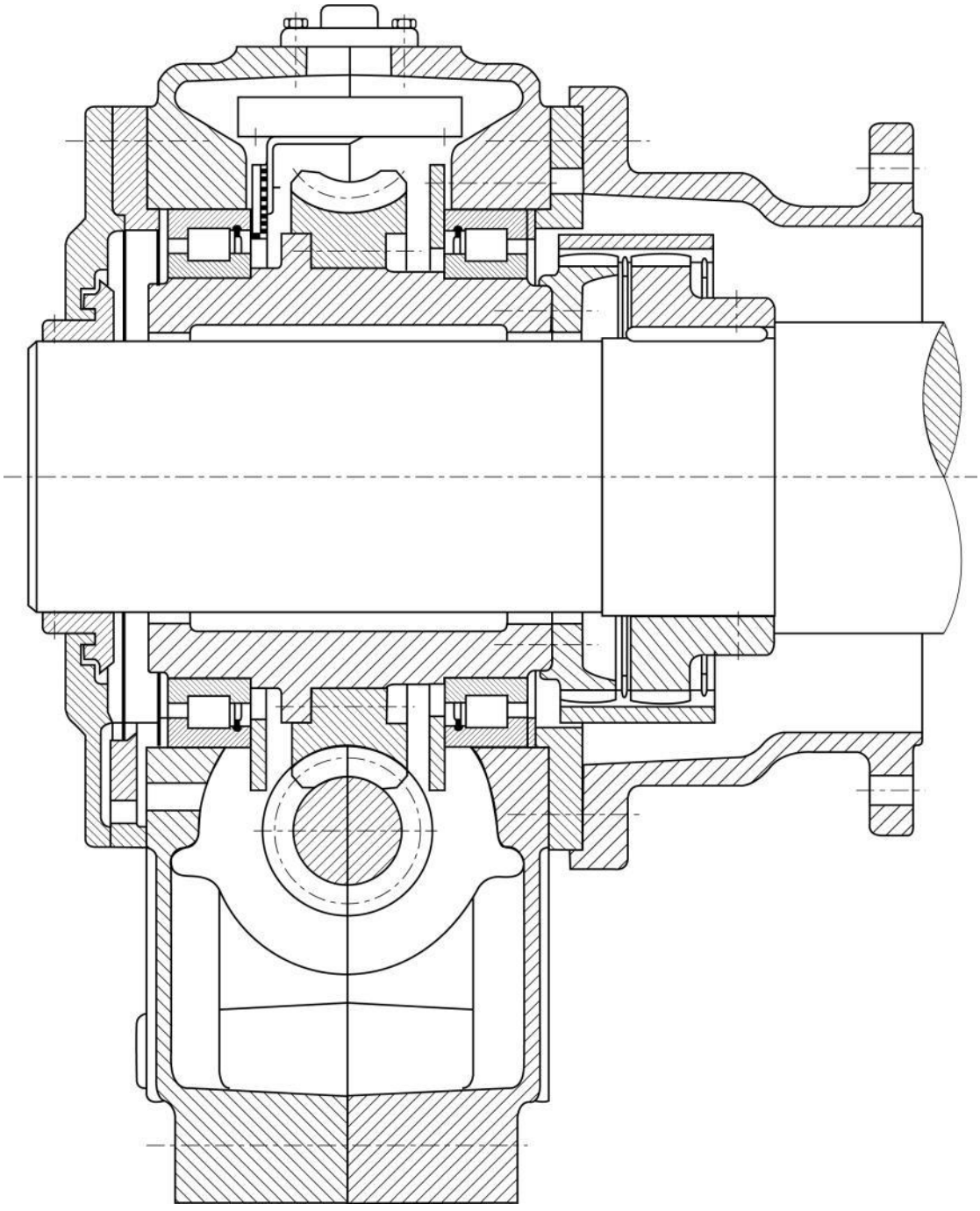
19.15 Renvoi d'angle



19.16 Réducteurs à engrenages droits et coniques



19.17 Réducteur à vis-sans-fin



20 Lubrification

20.1 Lubrification des engrenages

Le choix d'un lubrifiant pour engrenages est souvent délicat, car il dépend d'un grand nombre de facteurs tels que :

- ✓ vitesse de rotation
- ✓ pression spécifique sur les dentures
- ✓ glissement
- ✓ nature des métaux
- ✓ finition des surfaces des dentures
- ✓ précision de l'usinage
- ✓ traitement des surfaces
- ✓ mode de lubrification
- ✓ degré d'étanchéité des carters
- ✓ température
- ✓ degré d'humidité de l'air ambiant
- ✓ présence de poussières
- ✓ etc.

20.2 But du graissage

Le graissage des engrenages a pour but principal :

- ✓ réduction de l'usure
- ✓ amélioration du rendement
- ✓ protection contre la corrosion
- ✓ réduction du bruit

20.3 Propriétés que doivent posséder les lubrifiants pour engrenages

- ✓ Propriétés anti-usure
- ✓ Protection contre la rouille et la corrosion
- ✓ Stabilité à l'oxydation
- ✓ Stabilité thermique
- ✓ Propriété de séparation avec l'eau
- ✓ Propriété anti-mousse
- ✓ Bas point de congélation

20.4 Modes de lubrification

La lubrification des engrenages peut se faire :

- ✓ par bain d'huile et barbotage
- ✓ par circulation forcée
- ✓ par brouillard d'huile

20.5 Elévation de la température

Un engrenage qui chauffe n'est pas forcément un engrenage mal conçu ou mal utilisé, une certaine élévation de température est normale (40°C pour les engrenages droits et hélicoïdaux, 60 à 70°C pour les roues à vis sans fin).

Cette élévation de température provient de deux sources différentes :

- ✓ Les frottements de glissement
- ✓ Le barattage de l'huile

La température de l'huile s'élève ainsi jusqu'à ce que grâce aux pertes par convection ou conduction, à travers la masse de l'huile et du carter, un équilibre s'établisse. Cet équilibre est donc fonction d'une part de la chaleur produite et d'autre part du refroidissement. Le refroidissement sera d'autant plus grand que les courants de convection dans l'huile et dans l'air environnant seront plus importants. Une bonne agitation de l'huile, surtout pour les huiles de viscosité élevée, et une surface de carter propre intérieurement et extérieurement et éloignée de toute source de chaleur, abaisseront la température de fonctionnement.

Les causes d'une élévation anormale de température peuvent être les suivantes :

- ✓ Barattage excessif dû à une quantité d'huile trop importante et à une viscosité de l'huile trop élevée.
- ✓ Frottement de glissements exagérés dus à des conditions de fonctionnement anormales (mauvais alignement, manque de rigidité).
- ✓ Frottement métal sur métal entre dentures résultant de l'utilisation d'huiles ayant des propriétés lubrifiantes insuffisantes (trop fluides, trop chaudes, manque d'additif).
- ✓ Mauvaise agitation de l'huile due à un engrenage tournant trop lentement, à un carter mal dimensionné ou à une réserve d'huile insuffisante.
- ✓ Position et propreté du carter laissant à désirer. Soit le carter est situé près d'une source de chaleur , dans un endroit exigu ou à la ventilation insuffisante, soit le carter est recouvert intérieurement de boues et de gommes ou extérieurement de boues et de poussières.

20.6 Bruits. Vibrations

Lorsque les engrenages sont en fonctionnement, les dentures engrènent plus ou moins bruyamment et l'ensemble train-carter peut entrer en vibration. En fait, le bruit est amplifié par le carter ou la machine qui servent de caisse de résonnance. D'autre part, les vibrations sont transmises dans la machine.

Les causes du bruit et des vibrations peuvent être :

- ✓ Engrenage n'ayant qu'une dent en prise
- ✓ Denture taillée grossièrement
- ✓ Manque de rigidité du carter
- ✓ Jeu excessif

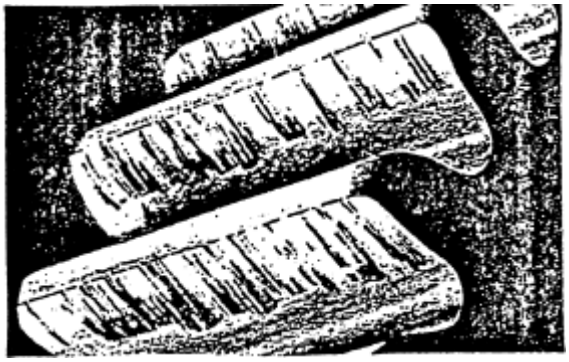
L'emploi d'une huile plus visqueuse que nécessaire peut réduire le bruit des vibrations.

21 Avaries

21.1 Détériorations typiques des dentures d'engrenages

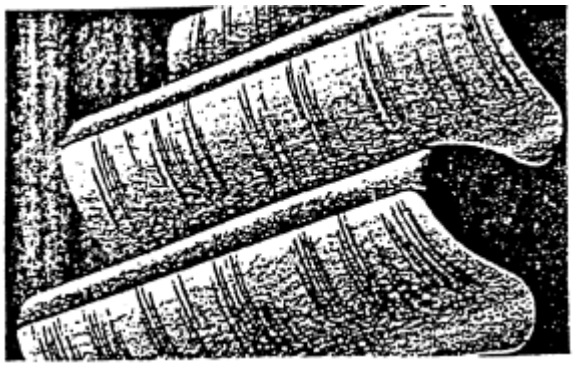
Usure normale

Caractérisée par un lissage ou polissage progressif des surfaces. Résulte de l'action de glissement et de roulement des dents. Un lubrifiant approprié doit réduire cette usure après la période de rodage.



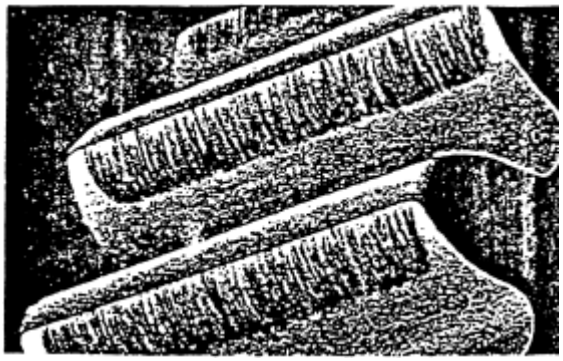
Usure par abrasion

Caractérisée par une usure rapide et uniforme des dents, avec présence de minuscules rayures réparties sur toute la surface. Résulte généralement de la présence dans le lubrifiant de particules abrasives (poussières, sable, etc.). Un graissage insuffisant peut accélérer le phénomène.



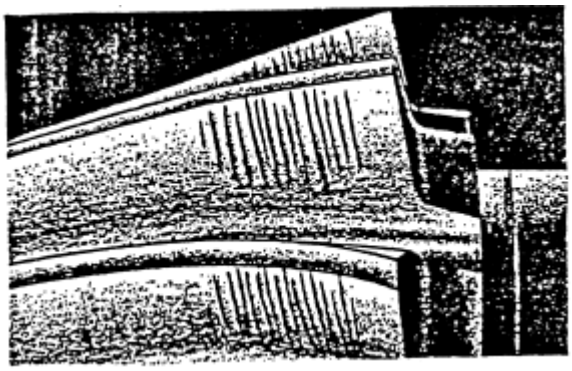
Rayures

Avarie caractérisée par des rayures semblables à celles causées par l'abrasion, mais plus profondes et nettement séparées les unes des autres. Résulte de la présence dans l'huile d'impuretés de grandes dimensions. Le lubrifiant n'en est pas la cause.



Usure par surcharge

Caractérisée par la présence simultanée de minuscules cavités et de rayures à la surface des dents. Les cavités sont dues à un micro-écaillage par fatigue du métal et les rayures à l'arrachement du métal par les écailles détachées des dents.
Résulte d'une pression trop élevée.
Ce phénomène est indépendant de la qualité de l'huile, mais une huile trop fluide le favorise.

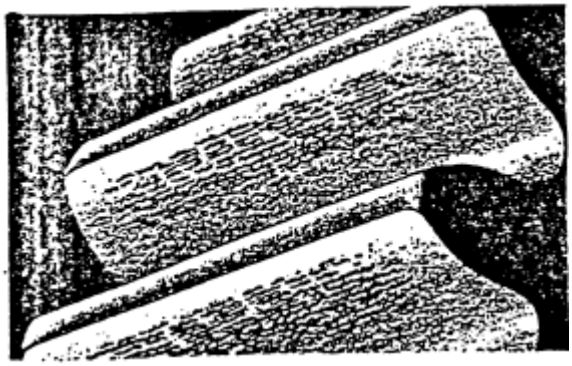


Crêtes

Avarie caractérisée par des crêtes et des rayures orientées dans la direction du glissement sur des pignons hypoïdes travaillant sous fortes charges.
Résulte de défauts d'origine métallurgique ou d'un traitement thermique non approprié.
Le lubrifiant peut être en cause. Des additifs E.P. peuvent éviter cette avarie.

Laminage et matage

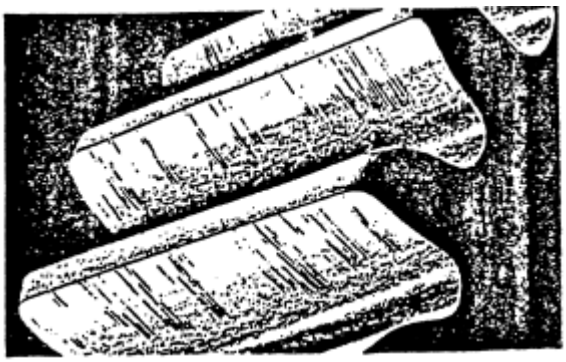
Avarie caractérisée par la formation d'une arête faisant saillie sur la tête des dents. Peut être accompagnée ou non de rayures.
Résulte d'un fluage superficiel du métal sous l'action de charges permanentes excessives (laminage) ou de chocs fréquents (matage).
Le lubrifiant n'est pas en cause.



Rides

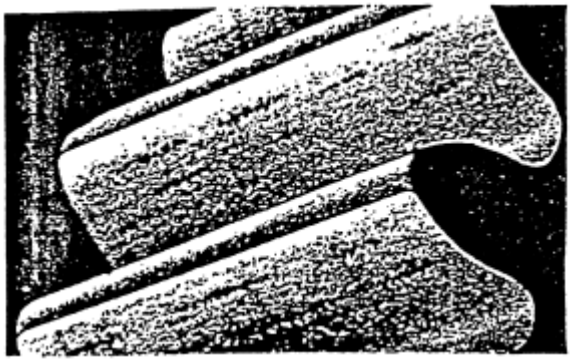
Avarie caractérisée par la formation d'ondes, parallèles entre elles et perpendiculaires à la direction du roulement, rappelant les ondes de sable sur la plage.
Résulte d'un fluage superficiel du métal sous l'action de charges supérieures à la limite d'élasticité.

Le lubrifiant n'est pas en cause.



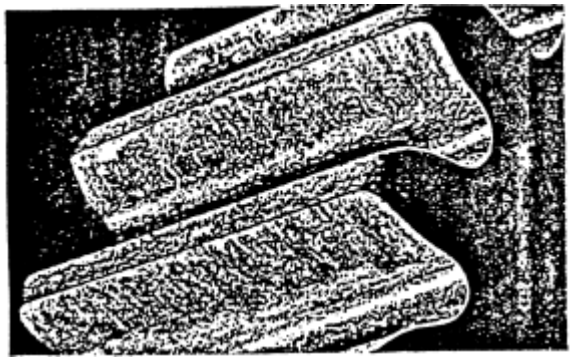
Grippage superficiel

Avarie caractérisée par des rayures et griffes perpendiculaires au diamètre primitif et comportant habituellement une petite cavité à l'extrémité de la rayure dans le flanc des dents.
Résulte de contact métal/métal provoqué par des conditions opératoires anormales.
Un lubrifiant plus efficace, E.P. par exemple, pourra l'éliminer lorsqu'elle est prise à son stade initial.



Usure par corrosion

Caractérisée par des cratères peu profonds mais allongés dans le sens de la longueur de la dent.
Résulte de l'attaque du métal par les acides présents dans les huiles usées.
La présence d'eau peut accélérer l'attaque.
Le lubrifiant est en cause et doit être immédiatement remplacé.

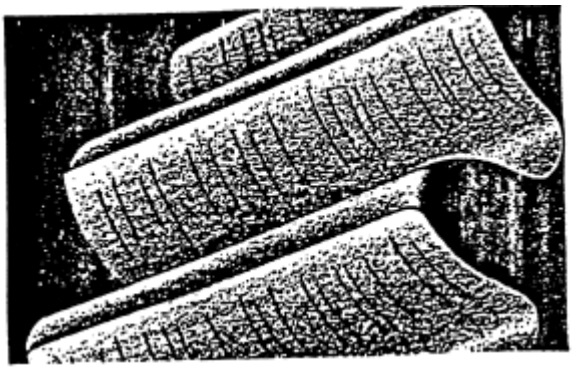


Brunissage

Avarie caractérisée par la coloration de la surface des dents.
Résulte de hautes températures dues à une trop grande vitesse, une charge excessive, un graissage défectueux.
La dureté du métal s'en trouve généralement réduite.
La viscosité et la classe du lubrifiant peuvent être en cause.

Interférence

Avarie caractérisée par un arrachement de métal à la base de la dent du pignon. Le même phénomène peut se présenter dans un engrenage à v. s. f.
Résulte d'une interférence entre le flanc du pignon et l'extrémité de la dent de la roue.
Le lubrifiant n'est pas en cause.



Critiques de rectification

Avarie caractérisée par de légères criques perpendiculaires au diamètre primitif. Elles ne sont généralement pas décelables avant un certain temps de fonctionnement.
Résulte d'une rectification défectueuse ou d'un traitement thermique impropre. Le lubrifiant n'est pas en cause.

Rupture par surcharge

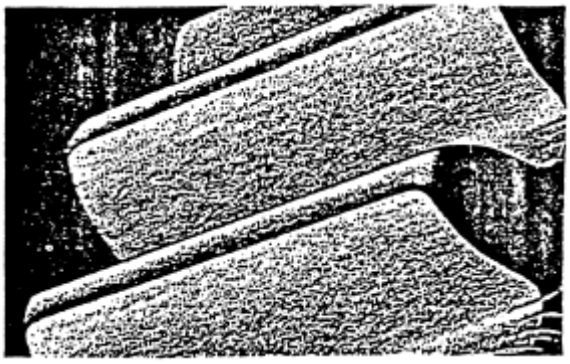
Caractérisée par une cassure franche de la dent sans présence de criques autour de la fracture.
Résulte d'un choc ou d'une surcharge brutale et subite.
Le lubrifiant n'est pas en cause.

Rupture par fatigue

Caractérisée par la formation de craquelures sur une plage très réduite, craquelures qui s'étendent en longueur et en profondeur jusqu'à la rupture de la dent.
Résulte de surcharges répétées ou alternées.
Le lubrifiant n'est pas en cause.

Criques

Avarie caractérisée par la présence de petites failles réparties au hasard sur la surface des dents. Elles ne donneront pas forcément des avaries graves.
Résulte des conditions de charge ou d'un graissage défectueux causant des variations de température excessives. Le choix du lubrifiant est éventuellement à revoir.



Tapure de trempe

Avarie caractérisée après un certain temps de fonctionnement par de fines craquelures qui se dirigent dans toutes les directions.
Résulte d'une trempe défectueuse.
Les tapures conduisent rapidement à un écaillage de la surface des dents.
Le lubrifiant n'est pas en cause.

22 Bibliographie

BAUER

BENZLER-SALA

CATEP

Ets DSN

FLENDER

GIRARD TRANSMISSIONS

HANSEN TRANSMISSIONS INTERNATIONAL

HOLROYD

KOELLMANN

MAAG

RENOLD

ROTHE ERDE

NBN

SEW

FORMATION ifpm

ALIMENTO

WWW.IFPM.BE - WWW.TECHNIOS.BE

IFPM.TECHNIOS

WWW.ALIMENTO.BE