

Sommaire – 09/09/09

1 - Modes de défaillance

2 - Maintenance préventive

2-1 Systématique

2-1-1 lubrification

2-1-2 étanchéité

2-1-3 montage, démontage remplacement roulement après durée de vie calculée

2-1-4 Calcul durée de vie

2-2 Conditionnelle

2-2-1 Surveillance vibratoire des roulements

2-2-2 Analyse de l'huile (en chantier)

2-2-3 Contrôle de la température du palier (en chantier)

3- Approche fiabilité, défaillances

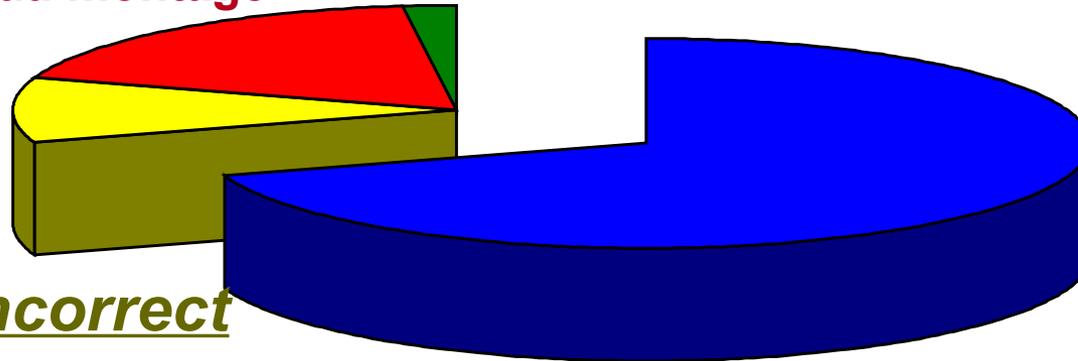
Avaries provoquées par des causes externes

18 % Contamination

- entrée de liquide en service
- d'abrasif en service
- de particules au montage

2 % Divers

- défauts de réglage
- usure provoquée par le contact
- passage de courant électrique



10 %

Montage incorrect

- montage brutal
- échauffement excessif
- ajustement et jeux
- serrage des manchons
- défaut géométriques

70 % Lubrification

- sélection du lubrifiant
- quantité (trop ou trop peu)
- fréquence
- placement

Lubrification : Grippage



Roul. à billes



Roul. conique



Roul. sphérique



Roul. conique

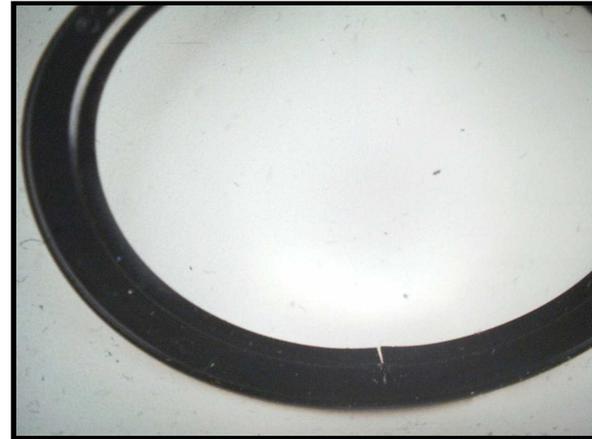
Montage : Brutal

Cassures dues à un montage brutal



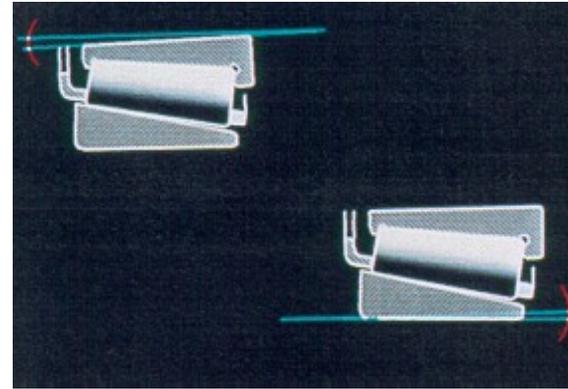
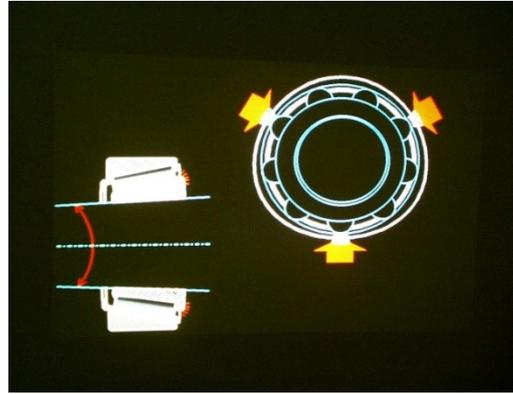
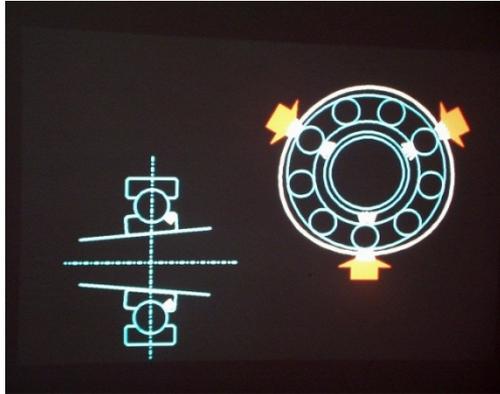
Arrachement de matière sur la piste par réalignement forcée

Cassure d'un joint due à un montage brutal



Empreintes au bord de la piste par montage dans l'arbre avec appui sur la bague extérieure

Montage : défauts géométriques



Défaut géométrique de l'arbre et du logement en roul. à billes



Défaut géométrique de l'arbre et du logement en roul. conique



Détérioration du cône due à un défaut d'alignement

Modes de défaillance

Défaut d'alignement

Entraîne une charge de bord sur le chemin de roulement, d'où écaillage se développant sur toute la périphérie



Modes de défaillance

Usure (dû à des défauts de montage ou à un mauvais entretien)

Bague tournant par rapport à la direction de la charge et montée libre. D'où roulage de la bague, détérioration de la portée ou du logement

L'alésage de la bague ou la surface extérieure de la bague extérieure acquiert un poli très brillant



Contamination :



Oxydation en arrêt
(entrée de liquide)



Oxydation en fonctionnement
(entrée de liquide)



Oxydation et usure en rotation
(entrée de liquide et re lubrification)



Usure par
entrée d'abrasif



Entrée de particules dures
(métal, plastique...)

Modes de défaillance

Corrosion

Provient le plus souvent de la présence d'eau ou d'humidité dans le roulement.

Si les propriétés du lubrifiant ne sont pas suffisantes, il y a formation de piqûre de rouille amorçant l'écaillage des surfaces



Modes de défaillance

– Usure par vibrations

Les vibrations d'une machine en fonctionnement peuvent entraîner une détérioration des roulements d'une machine située à côté et à l'arrêt (transport par camion, bateau,..).

L'usure se fait à l'emplacement des éléments roulants qui vibrent.



Lubrification

GRAISSAGE INSUFFISANT



Pelage du centre des pistes



cage usée

FAUX EFFET BRINELL



Roul. à billes

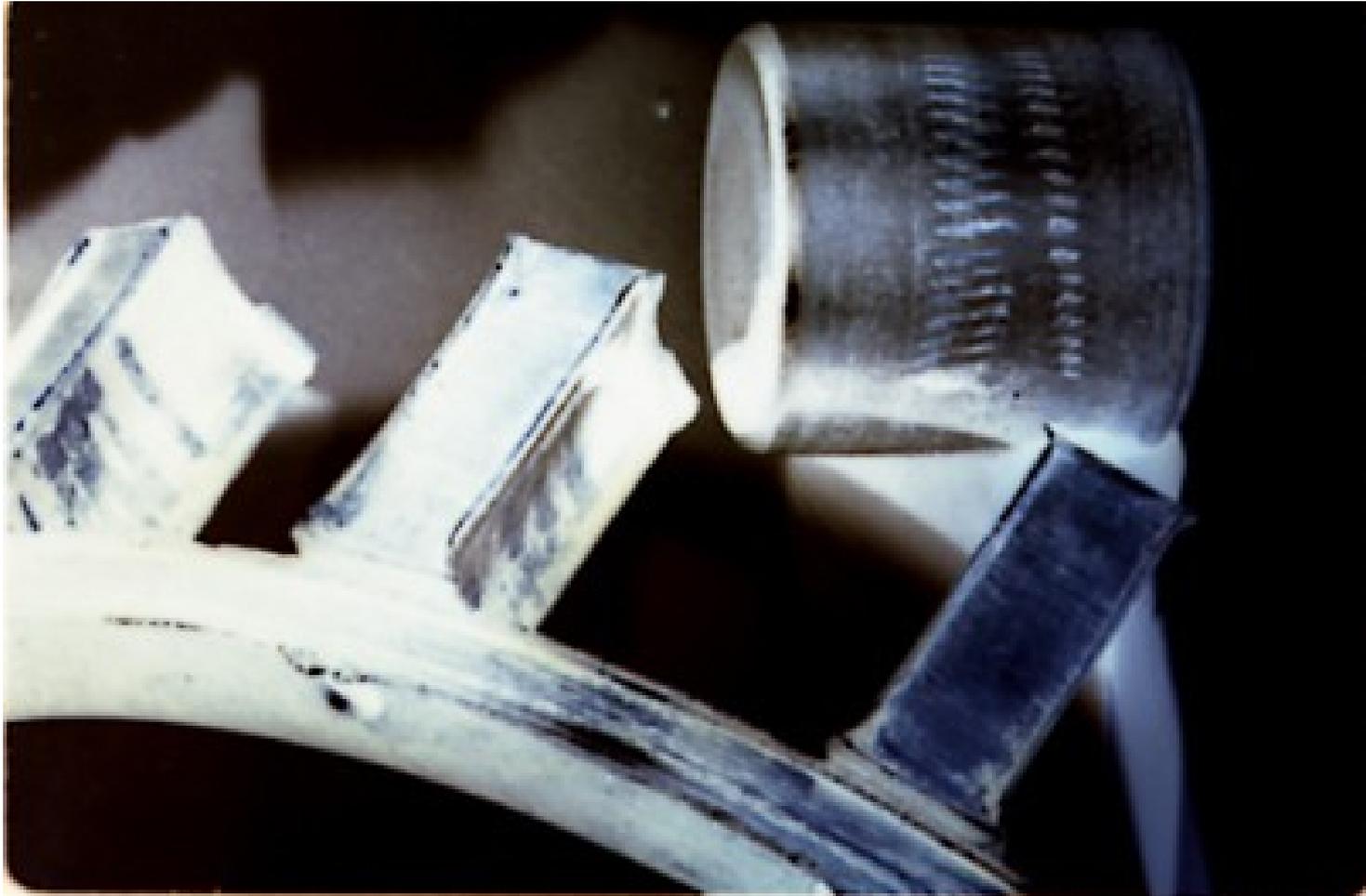


Roul. à rouleaux

Modes de défaillance

– Grippage

Début de blocage de 2 surfaces glissant l'une contre l'autre. (cas de la graisse durcie freinant les rouleaux)



DIVERS



Le roulement a atteint sa durée limite normale
Il se forme des craquelures de fatigue
De petits fragments d'acier se détachent, c'est le début de l'écaillage
bruit augmente
La température augmente

Écaillage de fatigue normale

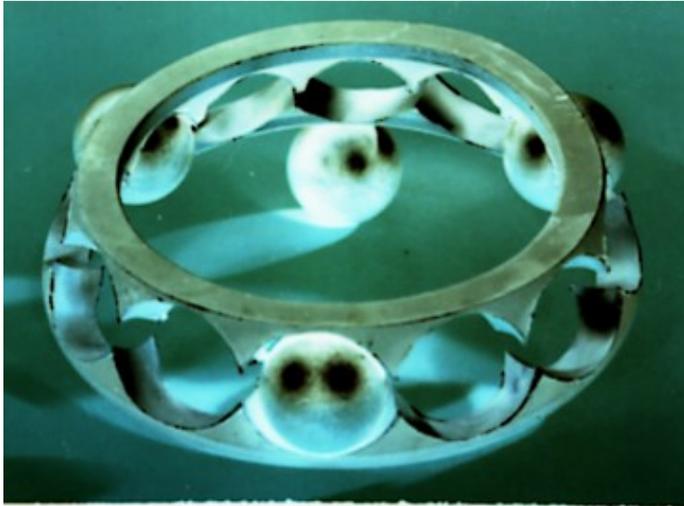


On remarque l'écaillage sur le chemin de roulement d'un seul côté.
Cela peut provenir d'une pré charge trop importante dans un montage en O ou en X
ou d'une charge axiale induite par la dilatation d'un arbre et le coincement du roulement libre

Écaillage du à une charge axiale élevée

DIVERS

Usure des cages



Les parois entre chaque alvéole ont disparues à cause de l'usure. La cage s'est rompue

•CONCEPTION

- Envisager le démontage dès la phase d'étude du palier
- Si** les bagues sont prévues pour un montage serré prévoir sur l'arbre et dans le logement des dégagements permettant de placer les griffes d'un dispositif d'extraction
- Les arbres et les logements doivent comporter des chanfreins d'entrée de 10 à 15°.

•PREPARATION DU TRAVAIL

L'aire de montage doit être propre et exempte de poussières.

Garder le roulement à l'abri des poussières des impuretés et de l'humidité

Les impuretés ont des répercussions néfastes sur le fonctionnement et la durée d'utilisation des roulements.

DEMONTAGE

- Si une réutilisation du roulement est envisagée,

Éviter de frapper directement sur les bagues

Ne pas faire passer l'effort de démontage au travers des éléments roulants nettoyer les roulements après démontage ne pas diriger de flamme directement sur la bague.

MONTAGE

- Contrôler le logement et l'arbre au niveau de la précision de dimensions de forme et position et de la propreté.
- Huiler légèrement les portées des bagues de roulement ou les enduire de graisse
- Huiler légèrement les roulements ou les enduire de graisse.
- Ne pas refroidir le roulement

La formation d'eau de condensation pourrait être à l'origine de corrosion dans le roulement et dans le logement.

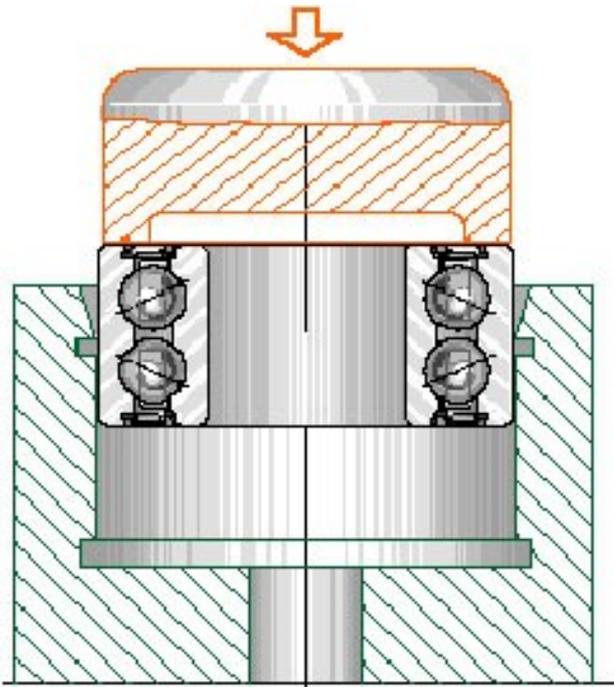
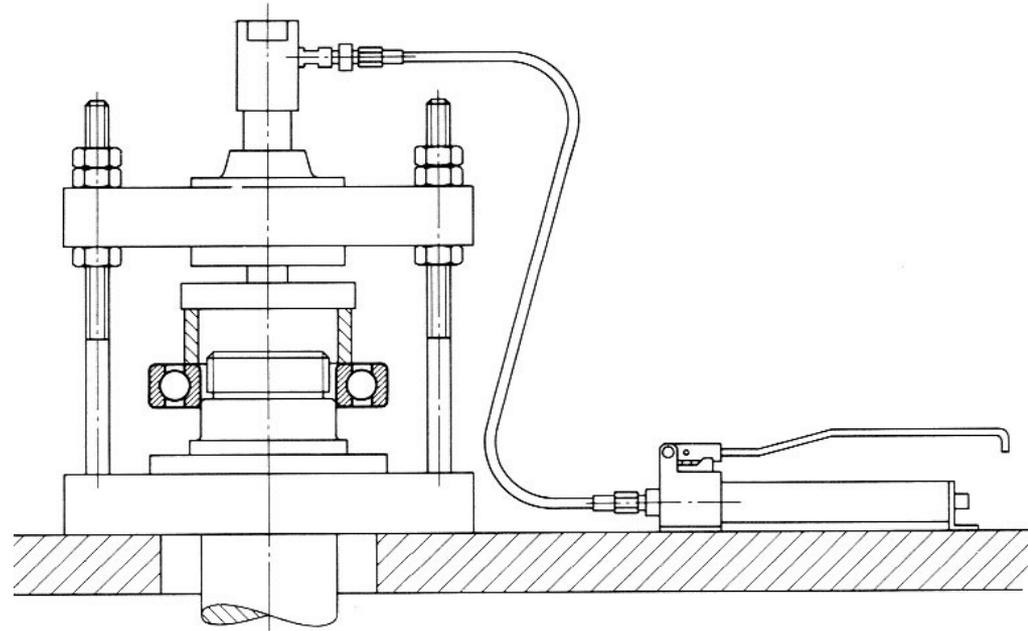
- Après le montage:
 - graisser le roulement
 - Procéder à un essai de fonctionnement du palier.

Méthodes de montage des roulements à billes 1/4

Au maillet ou à la presse

Presse mécanique ou hydraulique

A cet effet utiliser des bagues de montage qui s'appliquent uniformément sur toute la surface latérale des bagues de roulement



Marteau et douille de montage

uniquement par coups centrés sur la douille.

En aucun cas les efforts ne doivent passer par les éléments roulants!

Éviter de frapper directement sur les bagues de roulement!

Méthodes de montage des roulements à billes 2/4

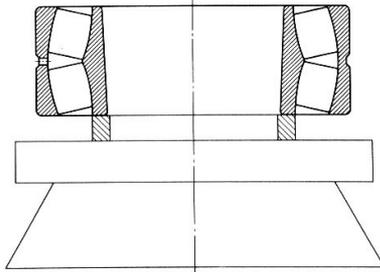
Les méthodes thermiques

Une température de 80 à 100° donne une dilatation suffisante

Plaque de chauffage

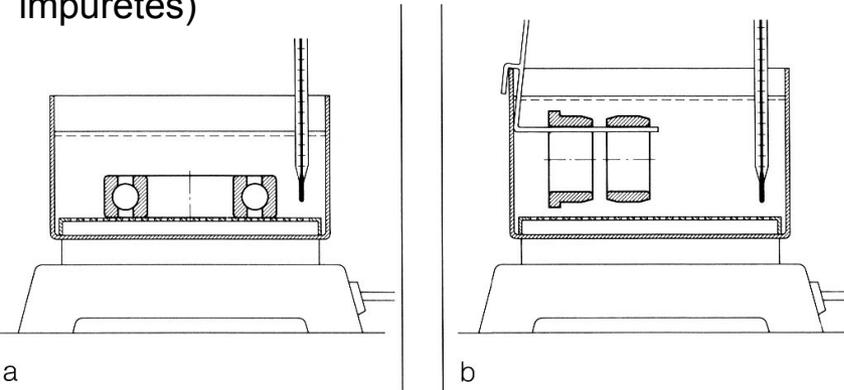
Il faut retourner le roulement plusieurs fois pour assurer l'uniformité de la température

Sans régulation de température, interposer une bague entre la bague intérieure du roulement et la plaque



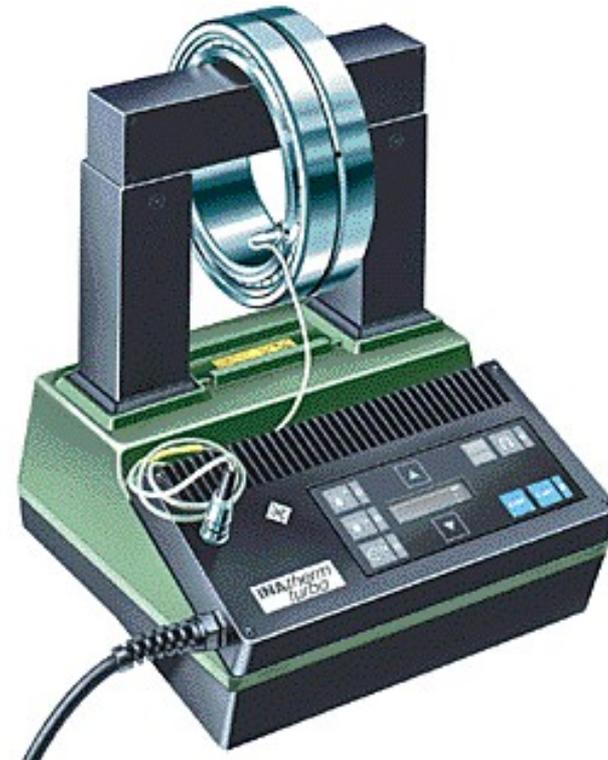
Bain d'huile

Disposer une grille au fond du bac ou suspendre le roulement afin qu'il ne touche pas le fond (uniformité température et impuretés)



Utilisation d'un appareil de chauffage par induction

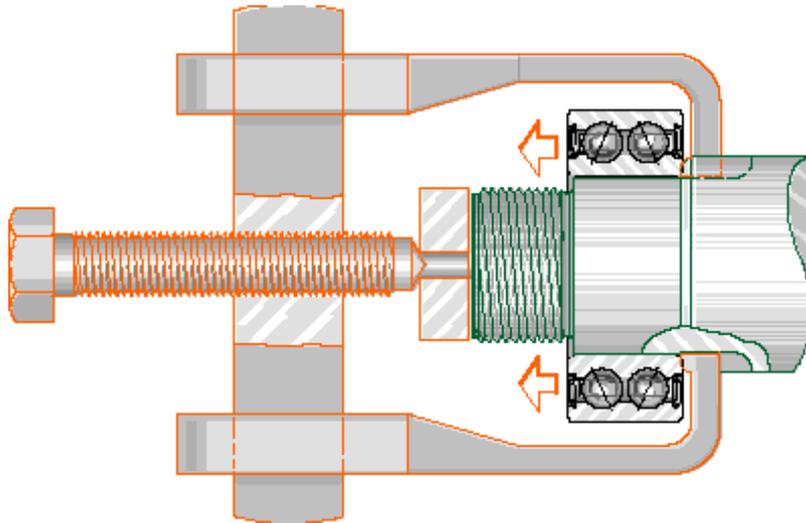
Méthode sûre et rapide



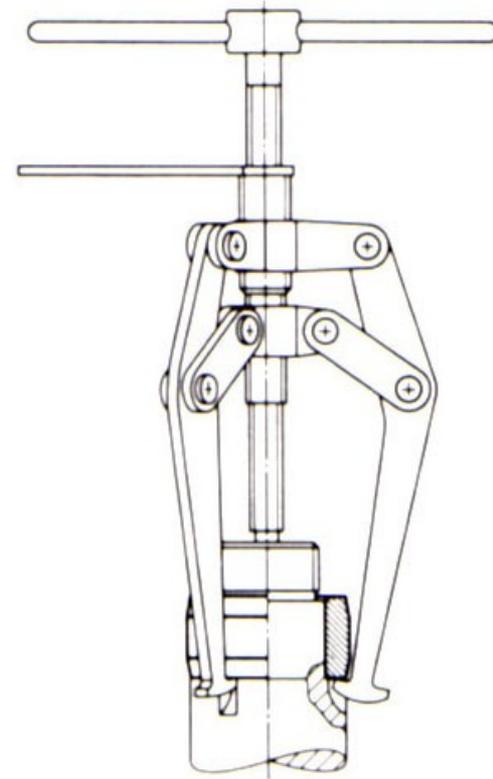
Méthodes de démontage des roulements à billes 3/4

Utilisation d'un extracteur

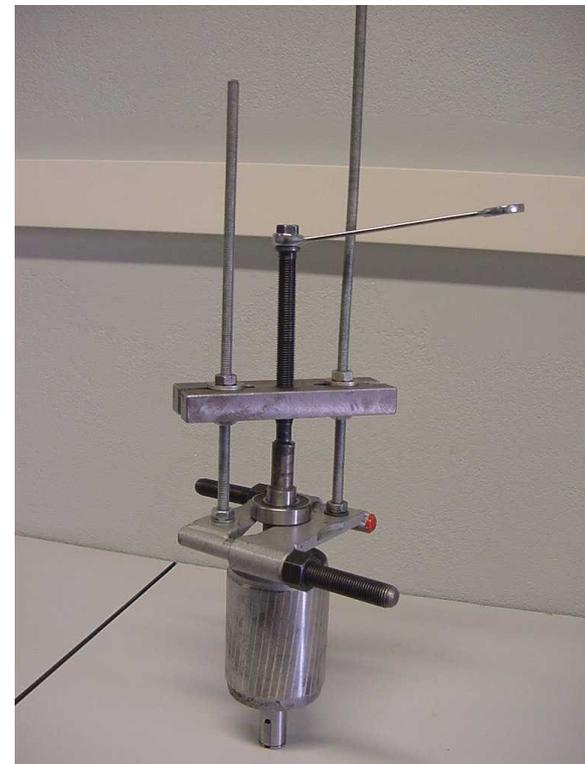
A deux branches



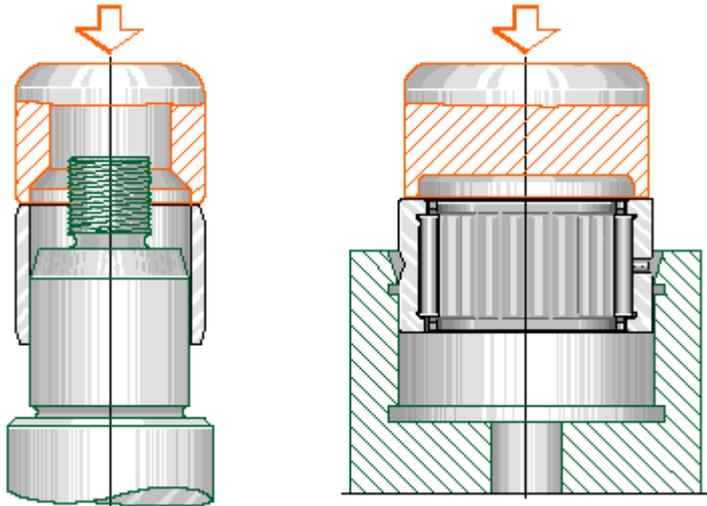
A trois branches



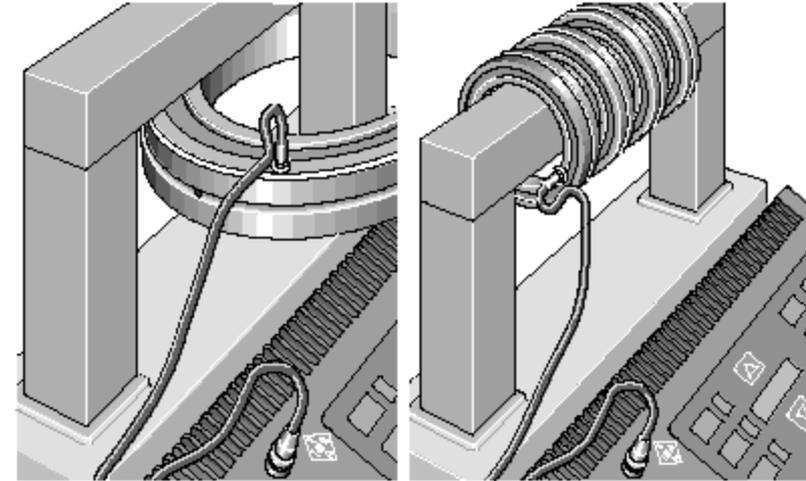
Extracteur à plateau



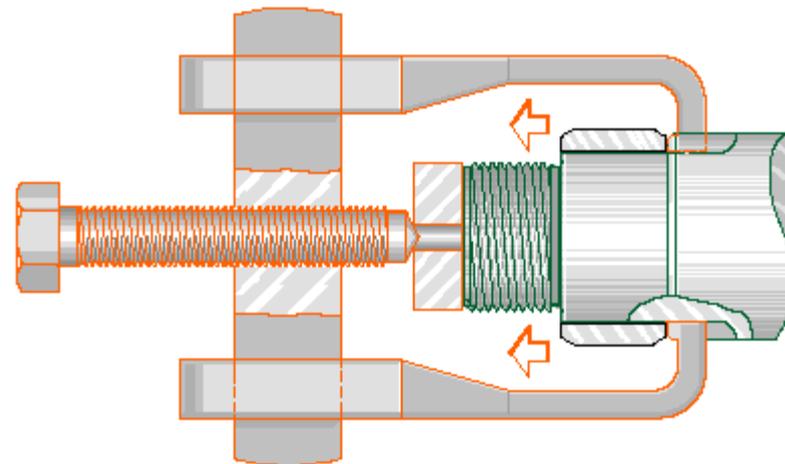
Au maillet ou à la presse



Utilisation d'un appareil de chauffage par induction

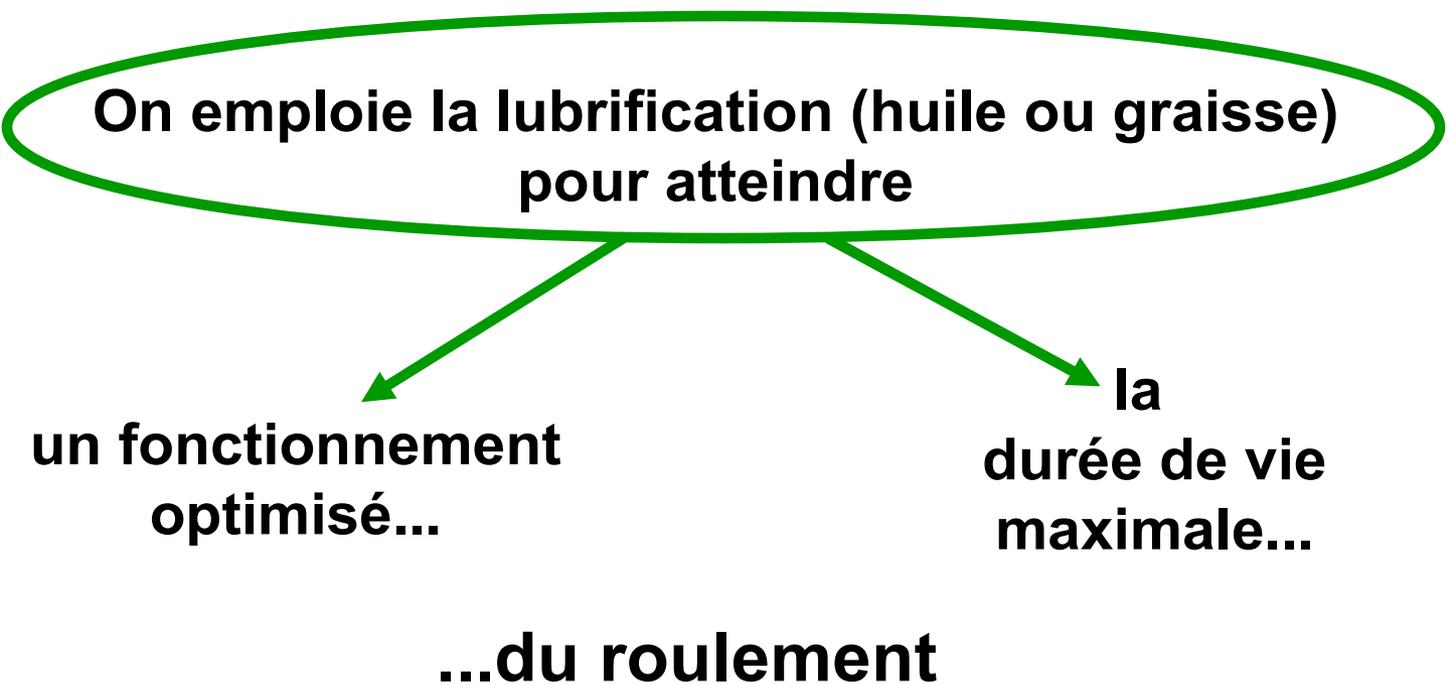


Extracteur



Lubrification : Pourquoi lubrifier un roulement ?

**On emploie la lubrification (huile ou graisse)
pour atteindre**



```
graph TD; A[On emploie la lubrification (huile ou graisse) pour atteindre] --> B[un fonctionnement optimisé...]; A --> C[la durée de vie maximale...];
```

**un fonctionnement
optimisé...**

**la
durée de vie
maximale...**

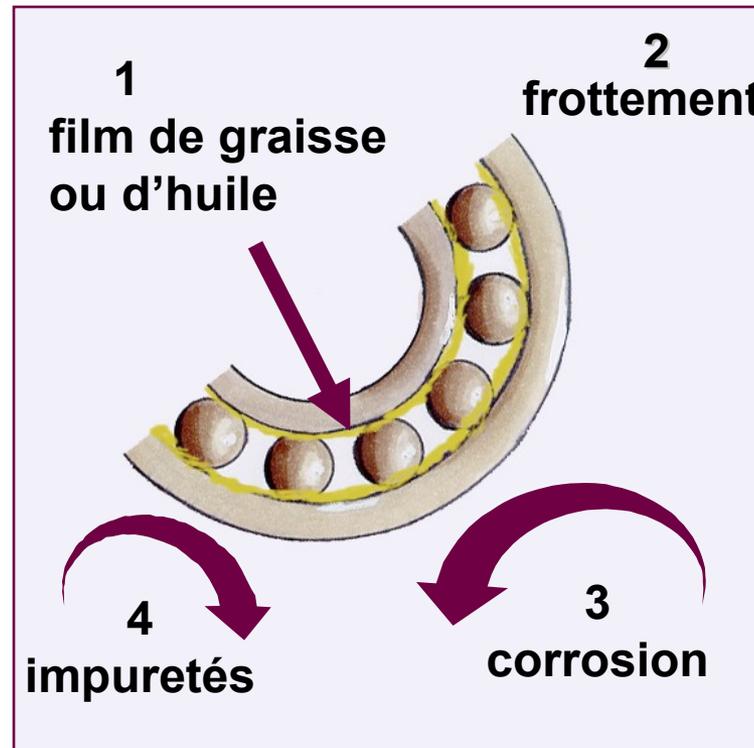
...du roulement

Lubrification :

Fonction du lubrifiant ...?

réduire le **frottement**
et éliminer l'usure

former un **film** entre les
corps roulants et les pistes
de roulement pour éviter le
contact **métallique** (métal
contre métal)

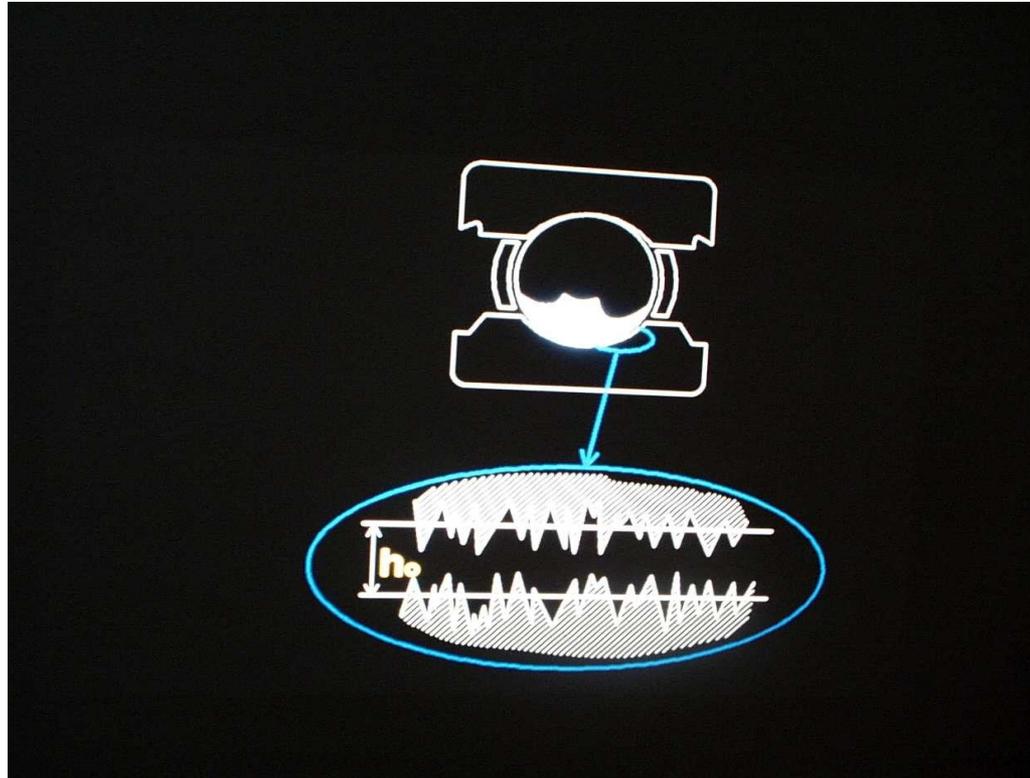


protéger contre
la **corrosion**

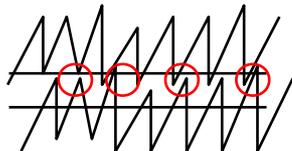
La graisse évite la **pénétration** des différentes **impuretés**
(ex : boue, poussière, humidité, eau ...)

Lubrification :

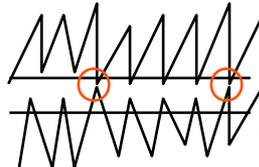
Formation du film d'huile



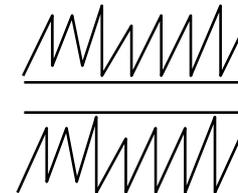
Lubrification défavorable



Lubrification incertaine



Lubrification favorable

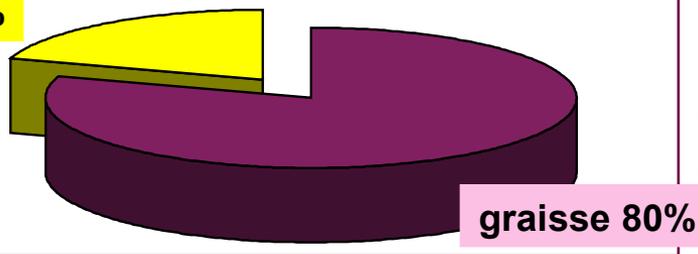


Lubrification : Graisse ou huile ...?

Il existe **deux types de lubrifiants** utilisés dans le roulement : **graisse et huile**

Utilisation :

huile 20%



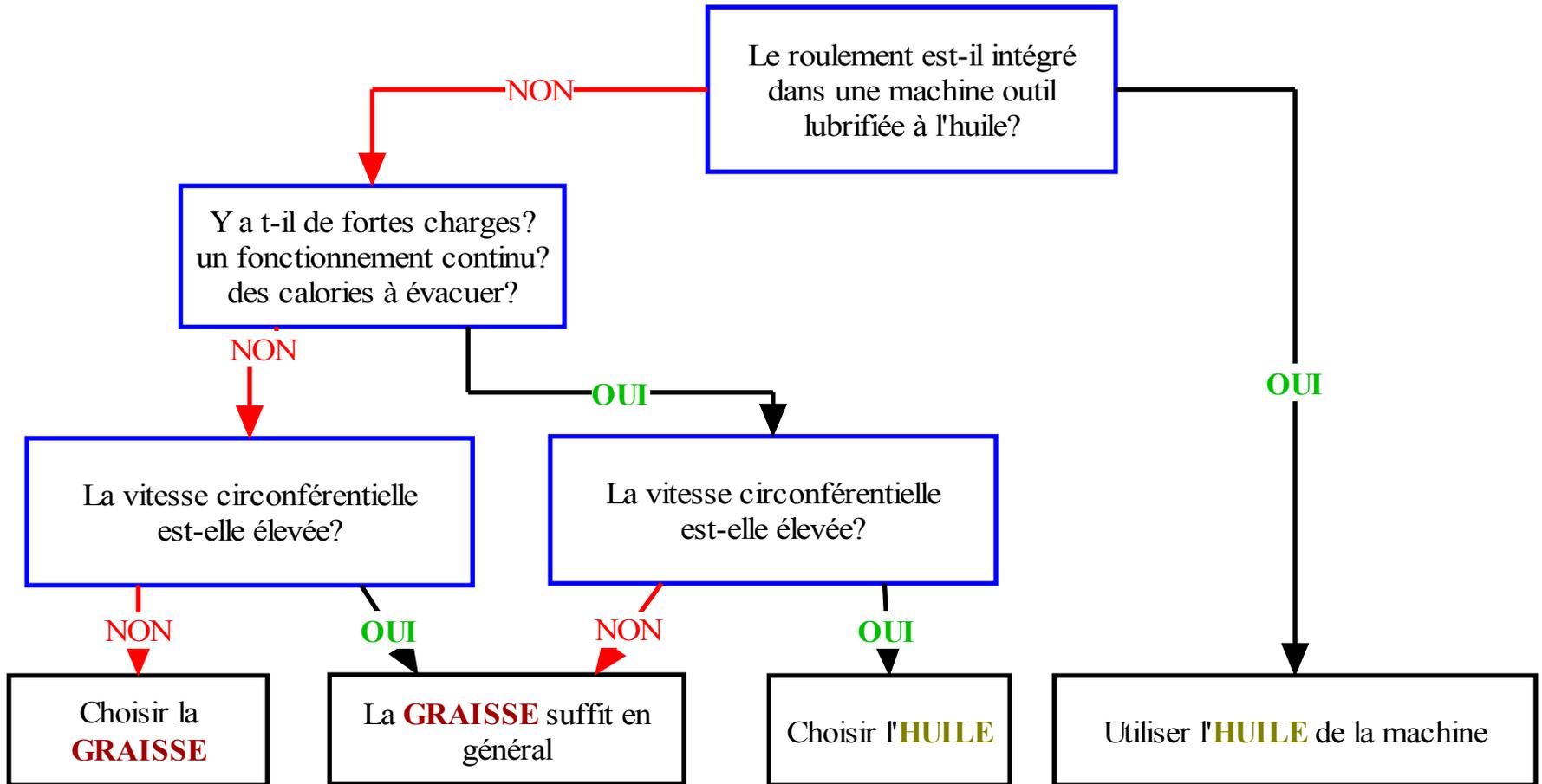
graisse 80%

Remarque : tous les roulements étanches ou protégés sont pré lubrifiés avec de la graisse et graissés à vie

Pourquoi 80 % de graisse ?

- lubrification facile d 'application (facilité de stockage et d'utilisation)
- simple dessin des machines
- coûts moins élevés

Aide au Choix du mode de lubrification



Lubrification : Graisse ou huile?

GRAISSE

- Propreté du mécanisme
- étanchéité de réalisation facile
- barrière de protection
- simple dans le montage
- facile à manipuler
- possibilité de graissage à vie

- coefficient de frottement plus élevé
- évacuation thermique plus faible
- impossible de vérifier le niveau de graissage (par conséquent, cela exige une rétention fiable ou un apport périodique)

HUILE

AVANTAGES

- bonne circulation dans le roulement
- évacuation des calories
- contrôle facile du lubrifiant (état et niveau)
- vitesse élevée
(+20% en relation avec une lubrification avec graisse)
- couple de rotation faible

INCONVÉNIENTS

- parfaite étanchéité nécessaire pour le montage
- si arrêt prolongé, protection incorrecte contre l'oxydation et l'humidité
- risque de lubrification incorrecte dans le démarrage

Lubrification à la graisse

Avantages

Bonne protection contre la corrosion (y compris à l'arrêt)

Bonne étanchéité vis à vis des impuretés

Permet un démarrage doux

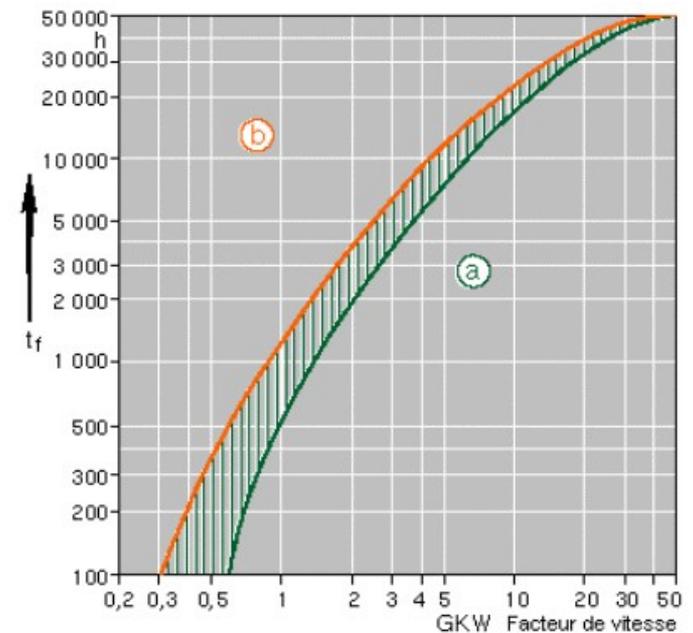
Offre un fonctionnement sans entretien pendant de longues périodes (surtout avec une réserve de graisse)

Choix de la graisse:

Graisses pour le graissage initial

Désignation INA	Désignation selon DIN 51825	Type de graisse	Température d'utilisation °C	Classe NLGI (consistance 1 à 4)	Facteur vitesse n · dm	Viscosité cinématique à 40 °C (huile de base) mm ² · s ⁻¹	Comportement en présence d'eau selon DIN 51807
SM02 ¹⁾	K3N-30	Savon de lithium (base huile minérale)	-30 à +140	3	500 000	68	1-90
FA 108	KSI 3R-40	Savon de sodium (base huile silicone)	-40 à +180	3	200 000	115	-
FA 101T	-	Gel (huile ester et minérale)	-45 à +150	2	-	30	-
SM23	KP2N-20	Savon barium complexe (base huile minérale)	-20 à +140	2/1	350 000	220	0/1-90

Détermination de l'intervalle de regraissage:



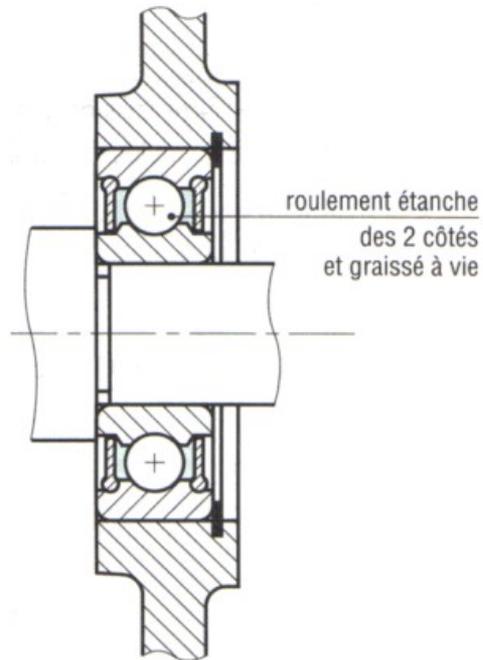
$$GKW = K_L \cdot \frac{270\,000}{n \cdot d_M}$$

t_f Intervalle nominal de regraissage
 a Regraissage possible
 b Regraissage selon l'intervalle t_f
 K_L Facteur de roulement
 n min⁻¹
 d_M mm

Roulements graissés à vie

Convient si durée de vie limitée

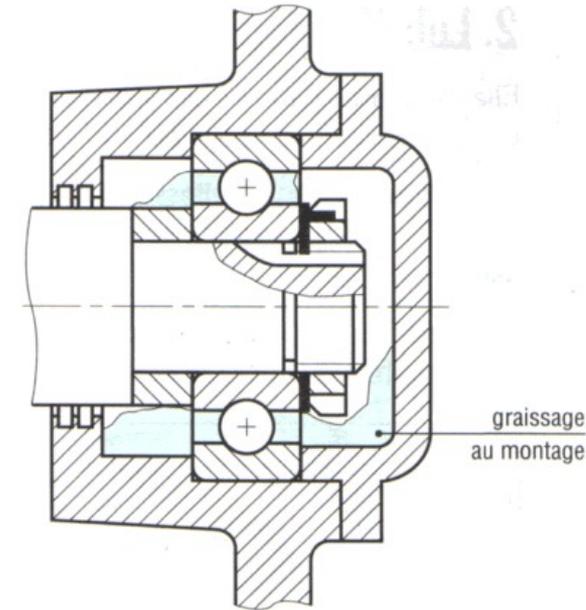
Regraissage impossible



Graissage par garniture au montage

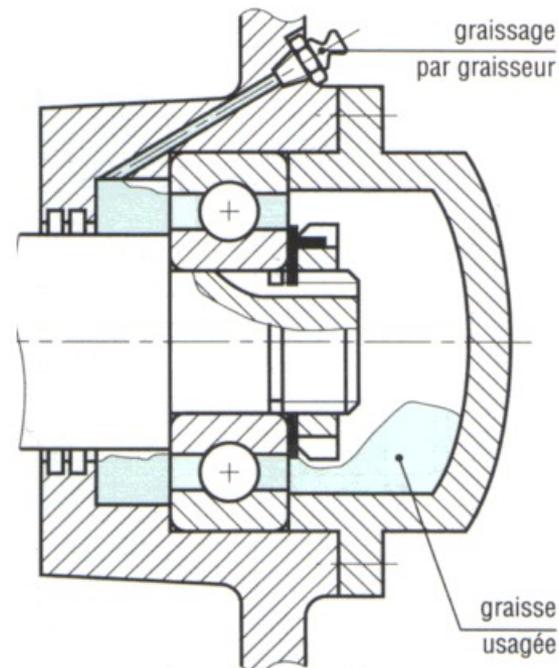
Solution simple

Regraissage possible lors des opérations de maintenance



Graisseurs

Éviter les excès de graisse, la graisse usagée doit être éliminée.



Lubrification à l'huile

Avantages

Bonne répartition du lubrifiant

Bonne évacuation des calories du roulement

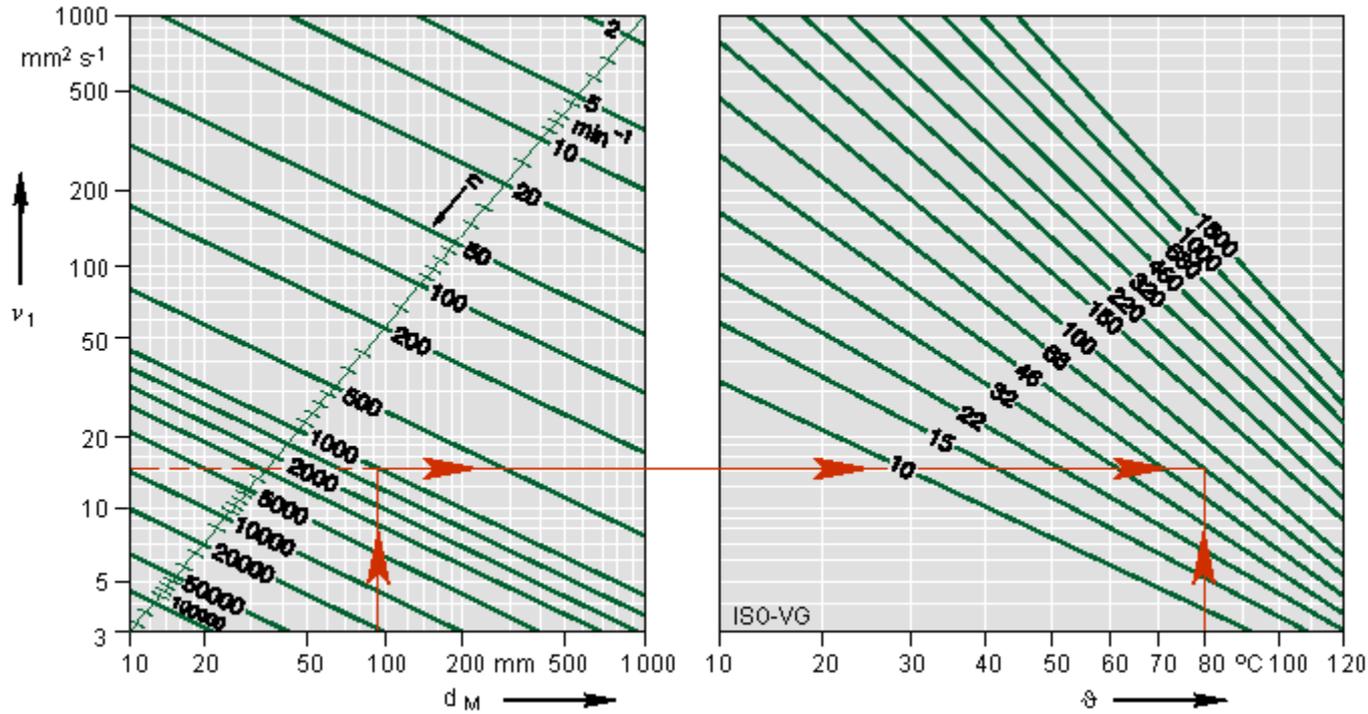
Plus grande vitesse admissible et capacité de charge du roulement

Bon échange entre les lubrifiants lors des appoints.

Choix huile:

Choix viscosité en fonction de la vitesse, et de la température (diagramme ci-dessous)

Vérification de la compatibilité avec l'environnement (élastomères, alliage léger, matière plastique ..)

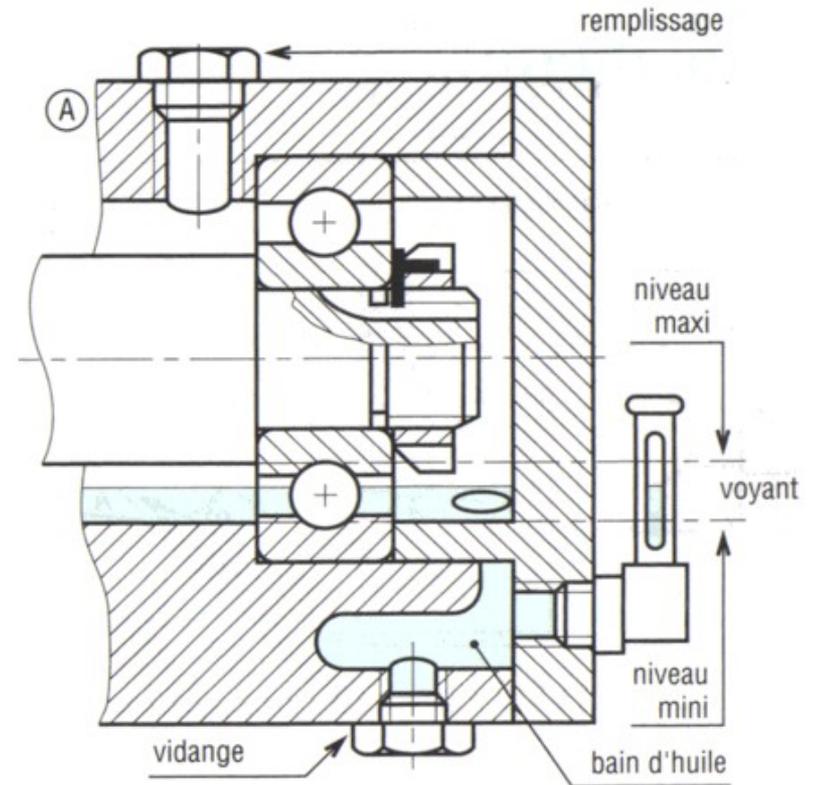
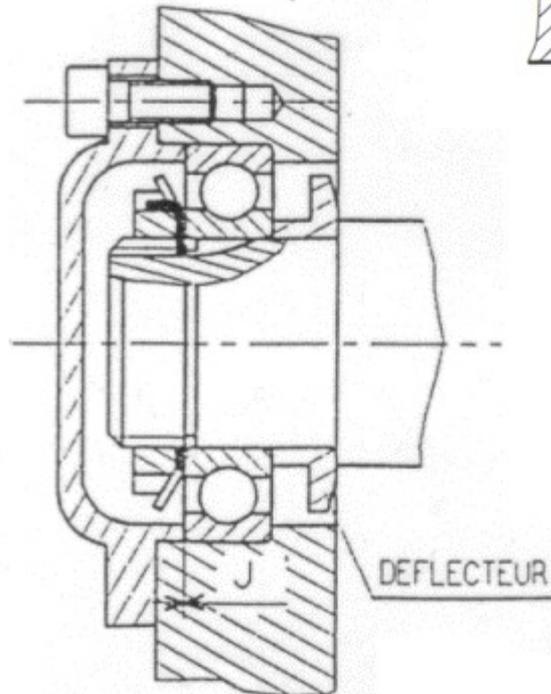
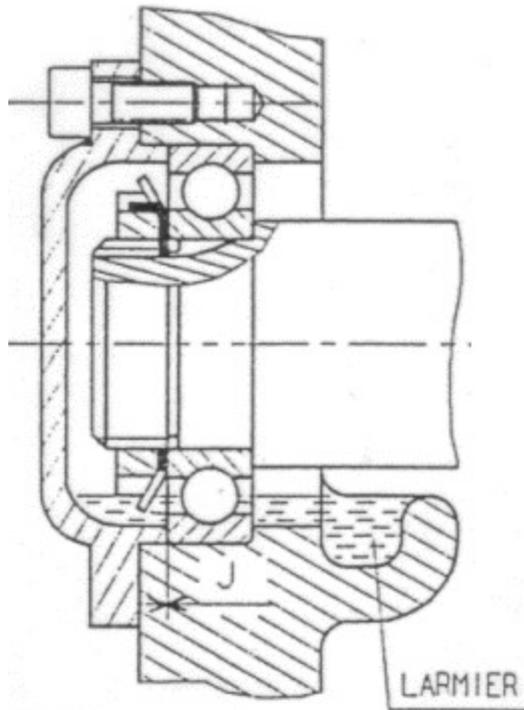


Bain d'huile

Dispositif le plus simple

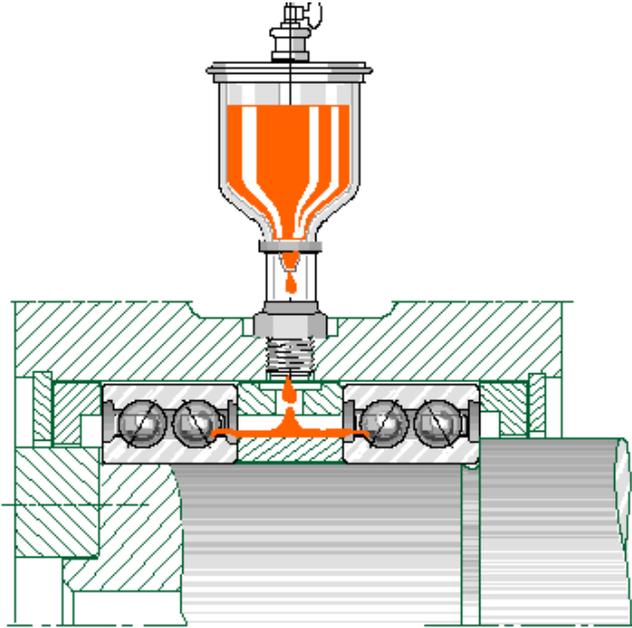
L'huile ne doit pas dépasser l'élément roulant le plus bas

Des dispositifs permettent la récupération (larmier, déflecteur)



Goutte à goutte

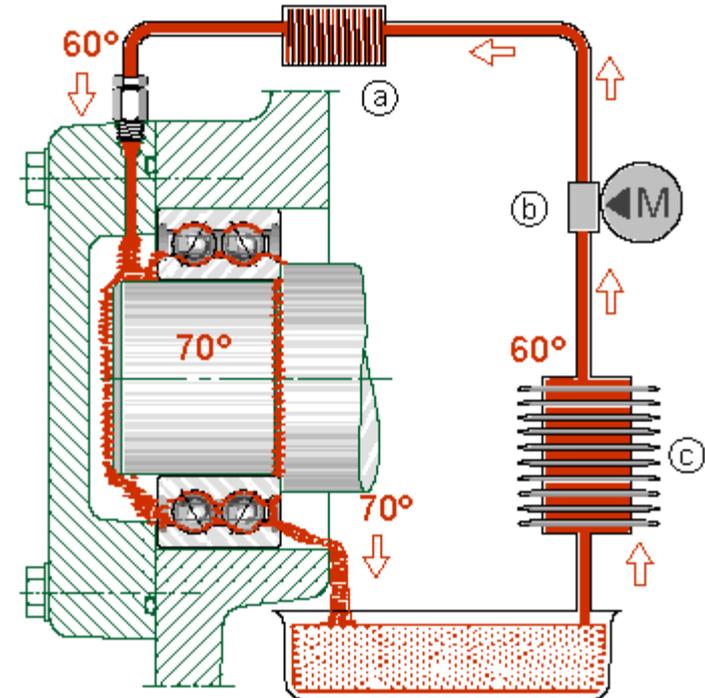
Recommandé pour les roulements tournants à grande vitesse



Circulation d'huile

Meilleur refroidissement

Plus grande propreté de l'huile, d'où plus grande durée de vie du roulement



Lubrification huile-air

Particulièrement adaptée pour des roulements tournant à des vitesses élevées mais faiblement chargés

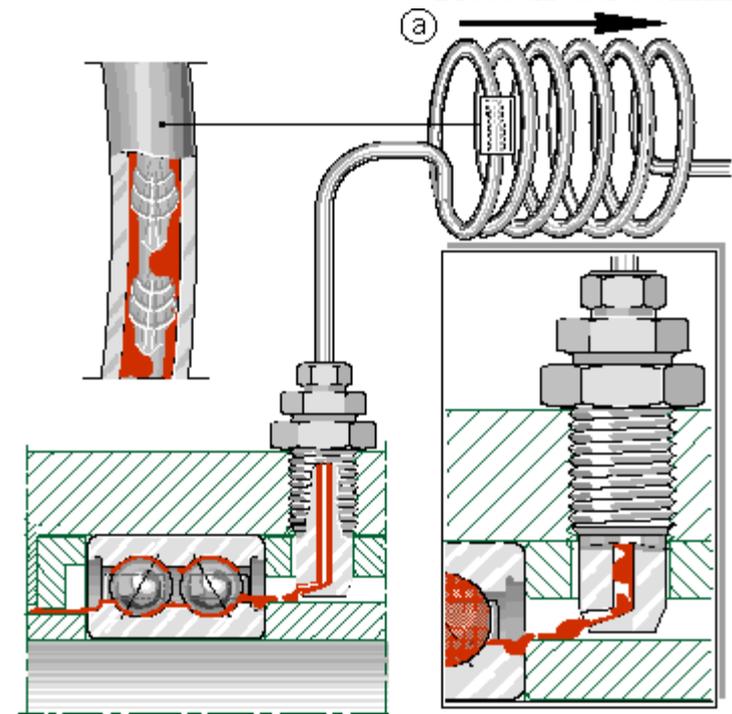
Fonction:

l'huile est conduite au roulement par de l'air comprimé purifié et exempt d'eau. Il en résulte une surpression qui évite la pénétration d'impuretés dans le roulement.

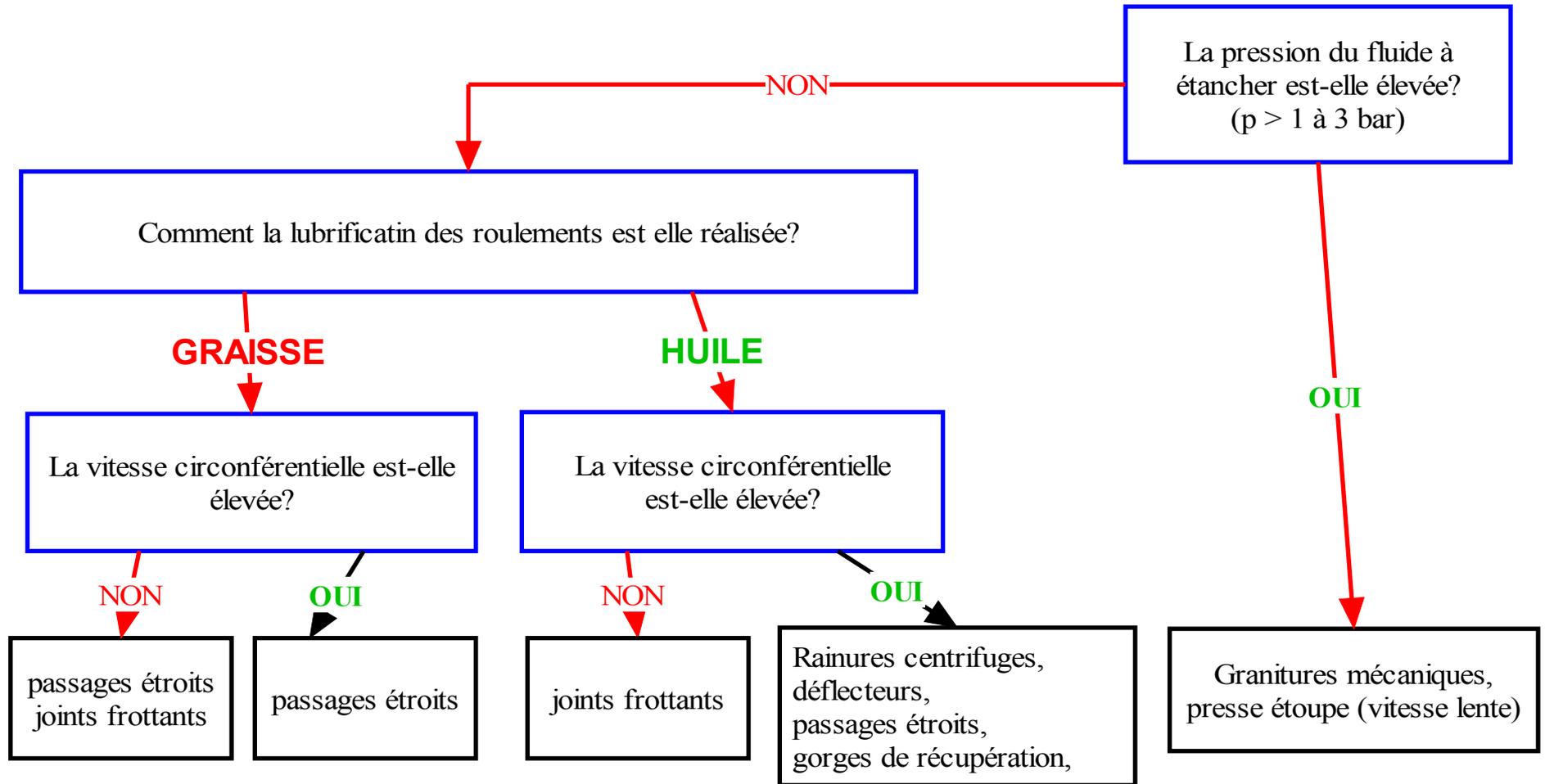
L'effet de refroidissement de l'air comprimé est très faible.

Lubrification air-huile des butées

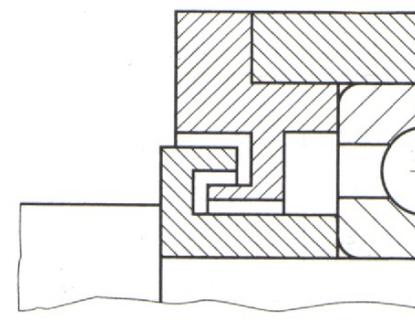
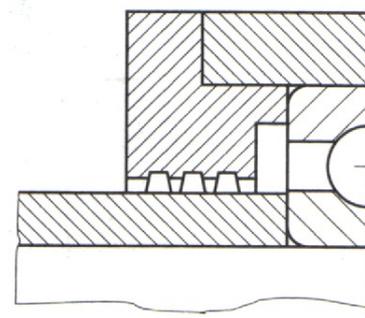
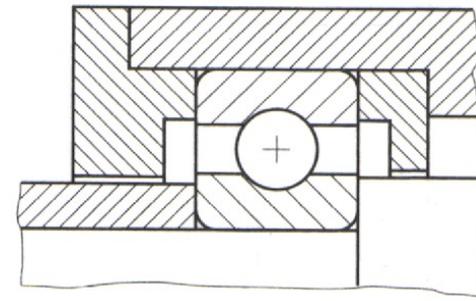
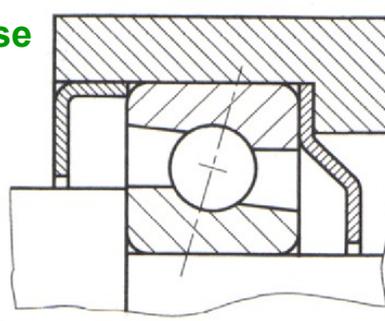
A éviter absolument dans la mesure du possible.



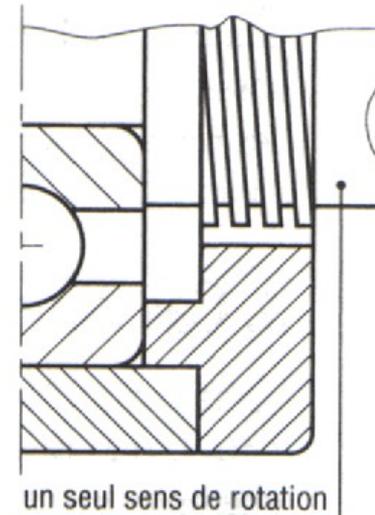
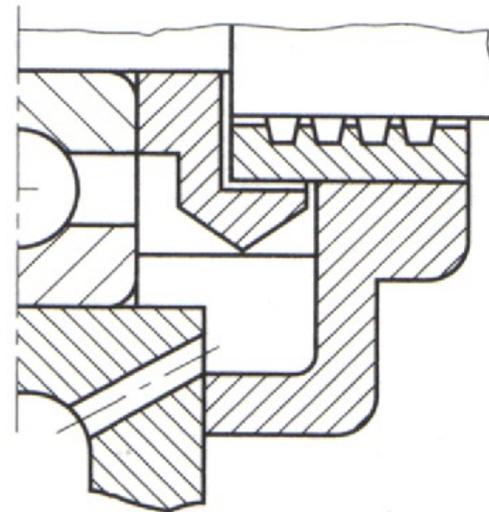
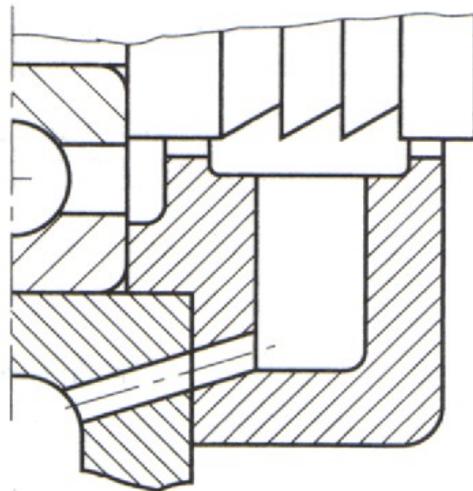
Étanchéité



Passage étroit pour la graisse



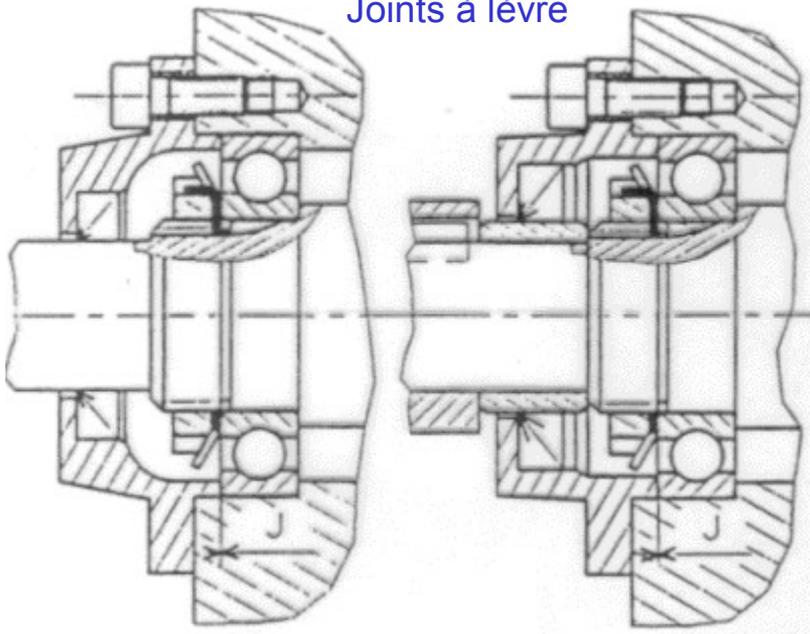
Passage étroit pour l'huile



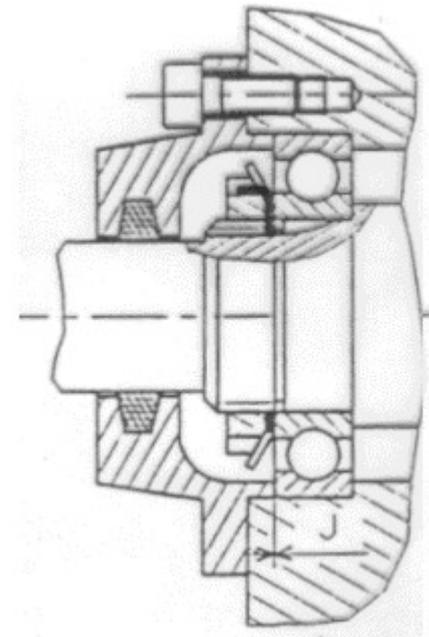
un seul sens de rotation

Joint frottants à contact radial ($V < 8$ ms)

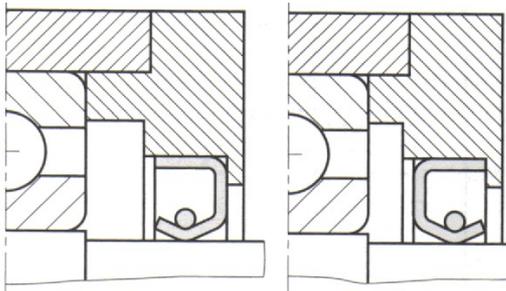
Joints à lèvre



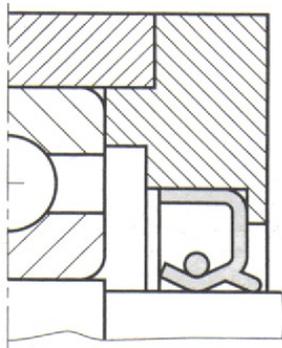
Joints feutre



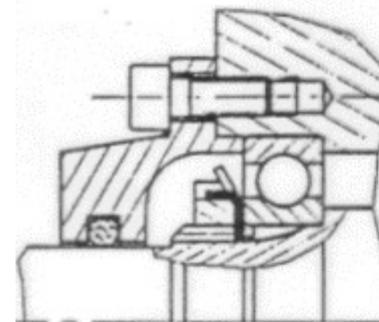
Stoppe le
lubrifiant



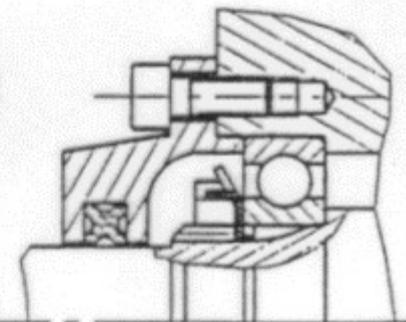
Stoppe
les
impuretés



Joints torique

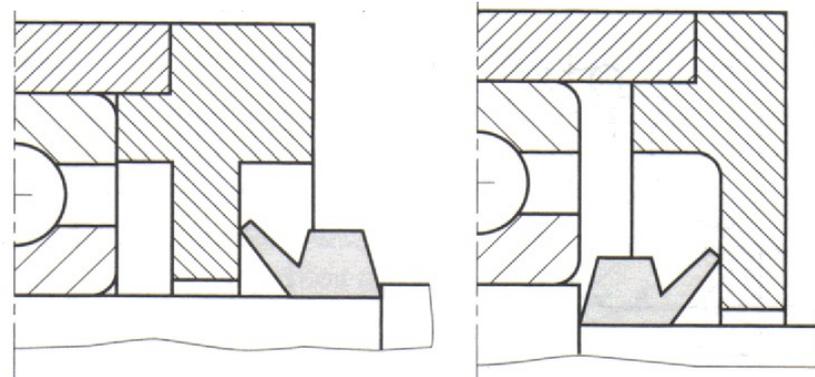


Joint à 4 lobes

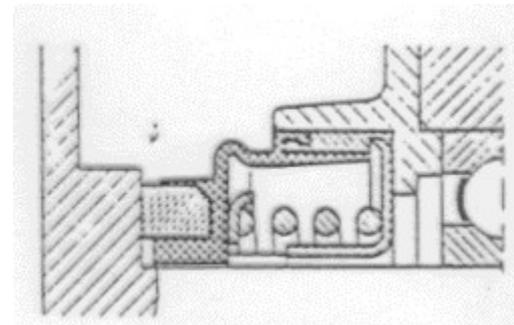


Joint frottants à contact axial

V – Ring ($V < 12$ ms)



Garniture mécanique



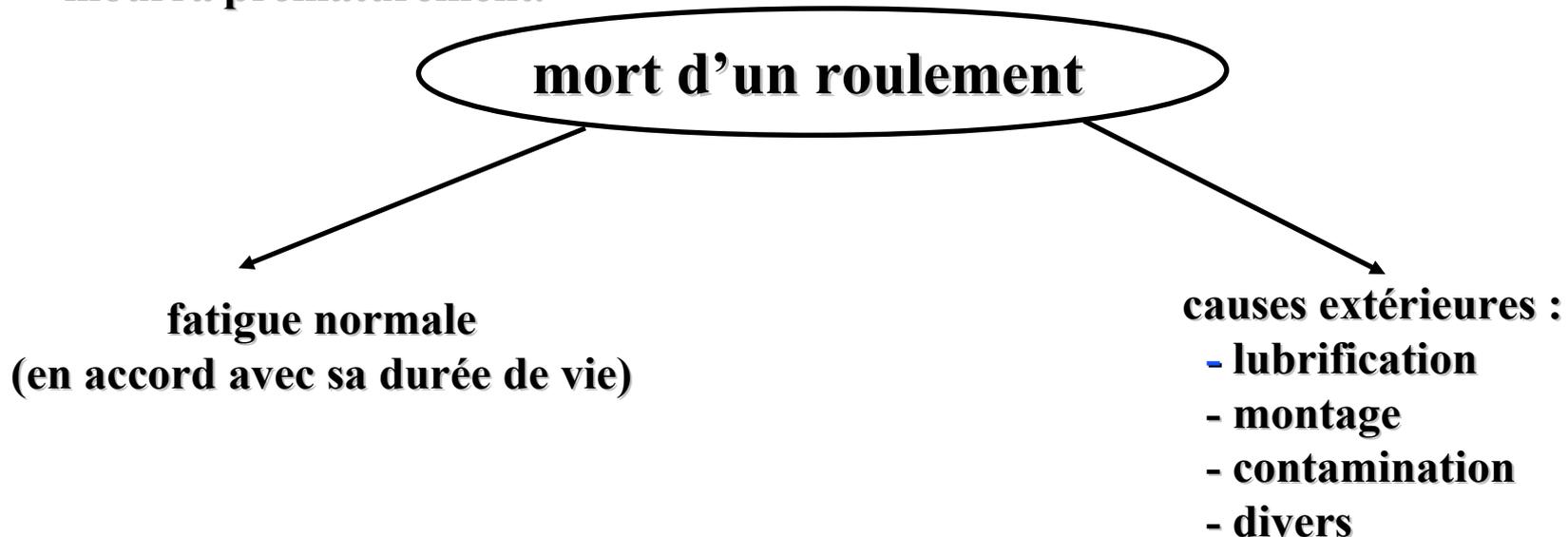
Maintenance préventive systématique

Calcul de durée de vie - Principe

La mort des roulements

Fonctionnant en conditions parfaites, un roulement va mourir de mort naturelle, par **FATIGUE** des matériaux.

Si les conditions de fonctionnement se voient perturbées, le roulement mourra prématurément.



NOTA: le roulement est une pièce de fatigue et non d'usure

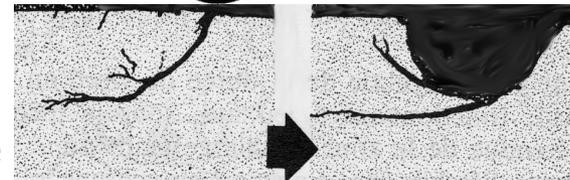
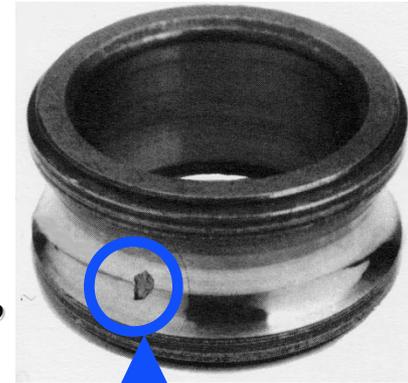
Notion de durée de vie

La notion de durée de vie est liée avec la "mort naturelle" du roulement.

Cette "mort naturelle" se concrétise avec l'apparition d'écaillages de fatigue : il se forment des fissures et des détachements de matière apparaissent, signe de destruction progressive du roulement.

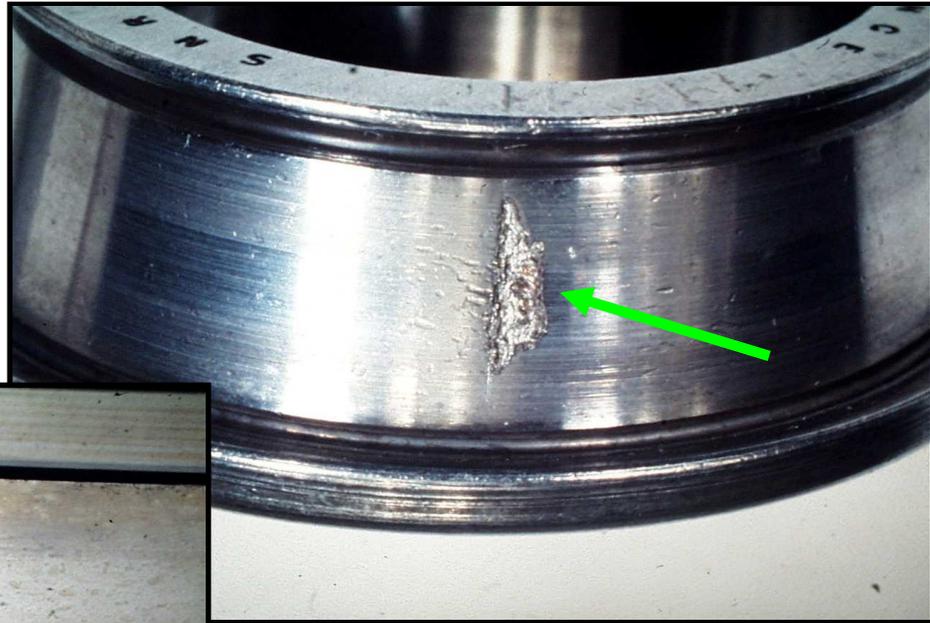
La durée de vie d'un roulement se définit comme le nombre de tours qu'il peut effectuer sous une charge donnée avant qu'apparaisse le premier signe d'écaillage.

L'apparition d'une telle détérioration présente un caractère aléatoire, donc la durée de vie est une donnée statistique (de prévision) et non une donnée de précision.



Écaillage de fatigue

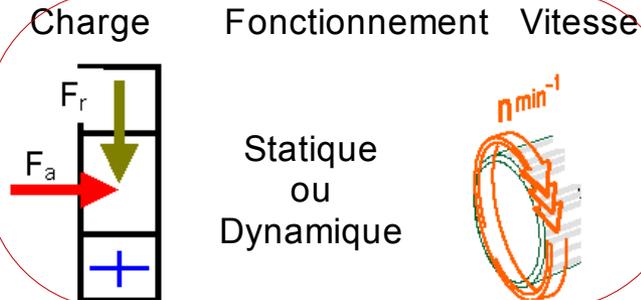
Mort naturelle d'un roulement par fatigue de la matière.



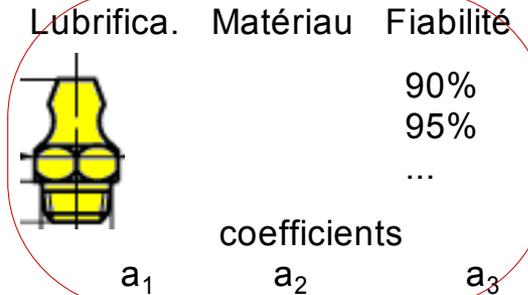
Données sur roulements

vitesse limite tr/min graisse	série de base N°	charges de base	
		C daN	C ₀ daN
16 000	02	780	520
15 000	02	1 070	640

Paramètres de fonctionnement



Conditions non conventionnelles



Charge équivalente

Dynamique P
 $P = k_f \cdot F_r$
 ou $P = X \cdot F_r + Y \cdot F_a$

Statique P₀
 $P = k_{f0} \cdot F_r$

Durée de vie

Capacité de charge statique

$$L = \left(\frac{C}{P} \right)^p$$

$$L_h = \frac{16\,666}{n} \cdot \left(\frac{C}{P} \right)^p$$

$$S_0 = \frac{C_0}{P_0}$$

Durée de vie corrigée

$$L_{na} = a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \cdot L$$

a₁ = coefficient correcteur pour une fiabilité différente de 90%.

a₂ = coefficient correcteur fonction des matériaux utilisés, de la géométrie interne et du procès de fabrication du roulement.

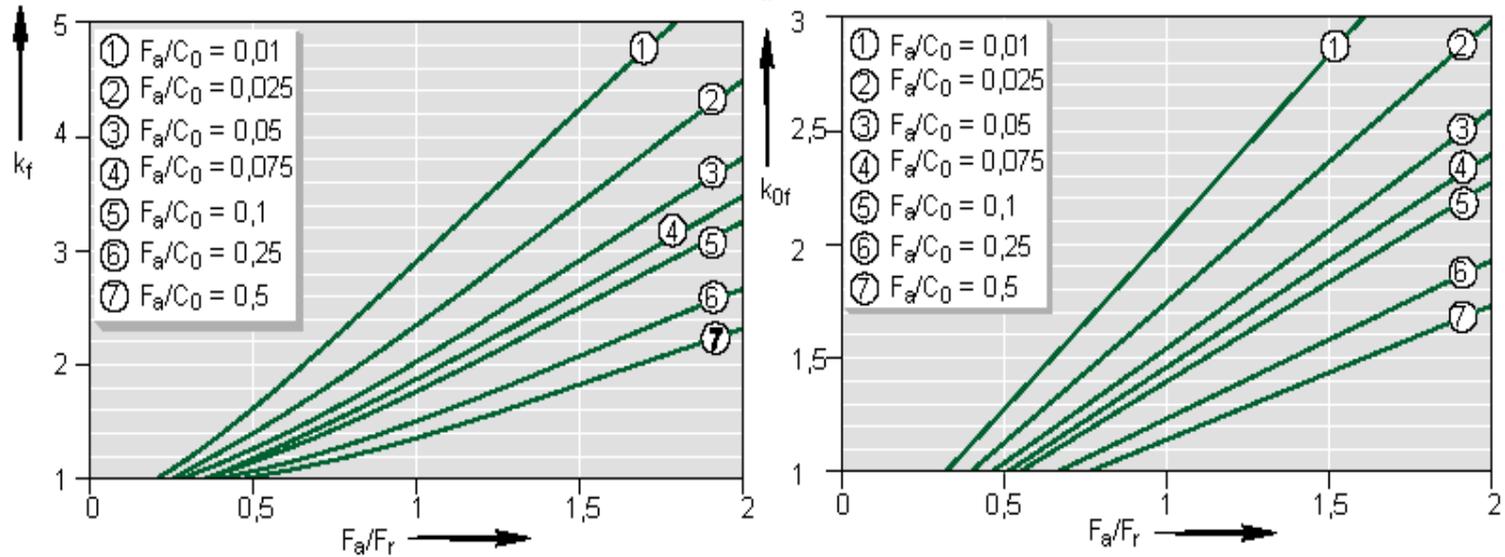
a₃ = coefficient correcteur selon les conditions de fonctionnement.

Méthode 1 - Calcul de la charge équivalente – facteurs de correction X et Y_f
(d'après INA)

Type de roulements		Charge axiale relative (1) (2)		Roulements à une rangée				Roulements à deux rangées				e	$\frac{F_a}{C_o}$ (SNR)
				$\frac{F_a}{F_r} \leq e$		$\frac{F_a}{F_r} > e$		$\frac{F_a}{F_r} \leq e$		$\frac{F_a}{F_r} > e$			
		$C_{or} = f_o i Z D_w^2 \cos \alpha$		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y		
À contact droit	$\frac{f_o F_a^{(3)}}{C_{or}}$	$\frac{F_a}{i Z D_w^2}$											
	0,172	0,172				2,30					2,30	0,19	0,014
	0,345	0,345				1,99					1,99	0,22	0,028
	0,689	0,689				1,71					1,71	0,26	0,056
	1,03	1,03	1	0	0,56	1,55	1	0	0,56	1,55	0,28	0,084	
	1,38	1,38				1,45					1,45	0,30	0,11
	2,07	2,07				1,31					1,31	0,34	0,17
	3,45	3,45				1,15					1,15	0,38	0,28
	5,17	5,17				1,04					1,04	0,42	0,42
6,89	6,89				1,00					1,00	0,44	0,56	
À contact oblique	$\frac{f_o i F_a^{(3)}}{C_{or}}$	$\frac{F_a}{Z D_w^2}$											
	0,173	0,172							2,78		3,74	0,23	
	0,346	0,345							2,40		3,23	0,26	
	0,692	0,689							2,07		2,78	0,30	
	1,04	1,03							1,87		2,52	0,34	
	1,38	1,38							1,75	1	2,36	0,36	—
	2,08	2,07	1	0					1,58	0,78	2,13	0,40	
	3,46	3,45							1,39		1,87	0,45	
	5,19	5,17							1,26		1,69	0,50	
6,92	6,89							1,21		1,63	0,52		

Méthode 2 - Calcul de la charge équivalente – facteurs de correction k_f et k_{of}

(d'après INA)



Facteur de sécurité statique	
Conditions de fonctionnement	S_0
Sans choc, faibles mouvements de rotation	0,5
Normales, mouvements. Doux	1
Avec chocs	2
Mouvements de grandes douceur et précision	3

Durée de vie indicative de quelques paliers de roulement		
mode d'emploi	exemples d'emploi	durée de vie L_{10H}
usages intermittents	électroménager, automobile, appareils de manutention	1000 à 15000
en fonction 8 h / jour	véhicules industriels, machines outils, machines agricoles	15000 à 35000
service continu 24 / 24	convoyeurs, compresseurs	35000 à 60000
fiabilité recherchée très importante	machines à papier, textile, navires, barrages	100000 à 200000

LEXIQUE

Charge dynamique de base C :

charge que peuvent encaisser 90% des roulements pendant 1 million de tours

Charge statique de base C_0 :

charge statique limite à ne pas dépasser (charge sous laquelle la pression de Hertz au contact d'un des chemins de roulement et de l'élément roulant le plus chargé atteint la valeur de 4200 N/mm² pour les roulements à billes.)

Charge dynamique équivalente P :

charge radiale donnant la même durée de vie que la charge réelle combinée .

Durée de vie L_{10} (ou L_{10H}) :

Nombre de millions tours (ou nombre d'heures) que peuvent effectuer 90 %

Coefficient s_0 :

coefficient de sécurité statique ($0,5 < s_0 < 2,5$, selon conditions de fonctionnement -chocs)

Fonctionnement dynamique : cas général

Fonctionnement statique : Roulements chargés à l'arrêt ou mouvement de faible amplitude.

Durée de vie expérimentale

Tous les calculs de durée de vie sont validés par des essais sur machines dans des centres de recherche propres à chaque fabricant.

Les principaux axes de développement pour améliorer la durée de vie des roulements sont le type de matériaux utilisés à sa fabrication et sa géométrie interne.



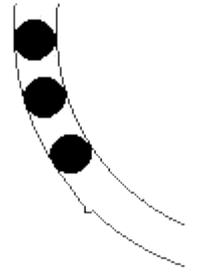
Cliquer sur l'image (30 secondes)

Surveillance vibratoire des roulements

2 types de défauts:

ponctuels générant des chocs à chaque passage (état précoce de détérioration)

répartis induisant un spectre vibratoire à large bande (état avancé de détérioration)



Plusieurs méthodes

Méthode du Kurtosis (méthode d'analyse temporelle)

Un défaut sur un roulement génère une modification de la distribution d'amplitude de l'accélération, mesurée sur un palier. Cette modification est quantifiée par un paramètre appelé Kurtosis (moment quadratique d'ordre 4)

Méthode de l'onde de choc

Etude de la réponse vibratoire du capteur sur sa fréquence de résonance, à un choc dû au défaut sur un roulement. On compare une valeur à une référence enregistré lors de la réception de la machine.

Permet de s'affranchir des bruits basses fréquences tels que balourd, désalignement,...

Analyse des modes de résonance haute fréquence. Méthode HFRT

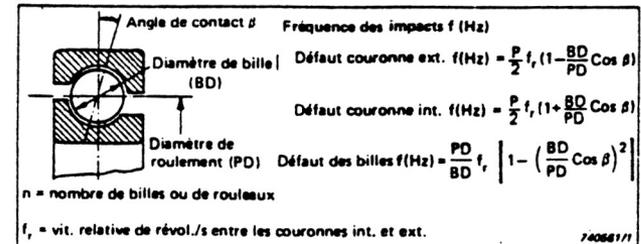
Analyse spectrale des roulements

→ Désignation Roulement	:	6230
Diamètre moyen d'évolution (mm)	:	210
Diamètre élément roulant (mm)	:	31.75
Nombre d'éléments roulants	:	11
Angle de contact (degrés)	:	0.00
Vitesse Bague Interne (tr/mn)	:	1500.00
Code Roulement	:	1
Type de Roulement	:	Rlt à billes
Diamètre Extérieur Roulement (mm)	:	270
Diamètre Alésage Roulement (mm)	:	150
Nombre de Rangées	:	1
Fréquence Défaut Bague Intérieure(Hz)	:	158.29
Fréquence Défaut Bague Extérieure(Hz)	:	116.71
Fréquence Défaut Élément Roulant (Hz)	:	161.57
Vitesse Bague Intérieure (Hz)	:	25.00
Vitesse Rotation Cage (Hz)	:	10.61
Vitesse Rotation Élément Roulant (Hz)	:	80.79

La connaissance de la cinématique de la machine permet de déterminer les fréquences d'apparition des défauts

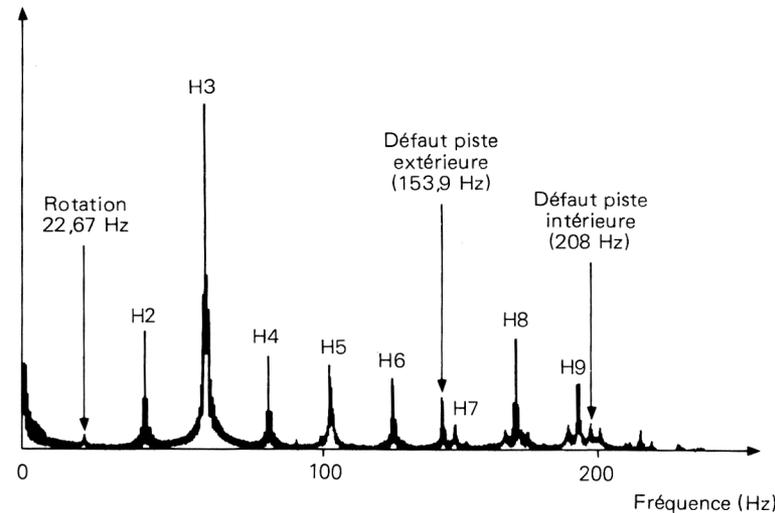
Niveaux de vibrations, souvent avec des chocs.

• Nombre d'impacts



Analyse en fréquence du signal vibratoire sur un palier

Amplitude des vibrations



LEXIQUE

Fiabilité : $R(t)$ Probabilité ($0 < R < 1$) qu'un composant accomplisse sa fonction

Probabilité de défaillances : $1-R$

MTBF: Indicateur de fiabilité :

(somme des temps entre n défaillances / nombre de temps de bon fonctionnement)

Exemple de fonction de fiabilité appliquée aux ROULEMENTS

Pour le roulement SKF 6217, le constructeur donne:

Loi de fiabilité: $R(t) = e^{-\left(\frac{t}{7500}\right)^{1,5}}$

Durée de vie:

$$L_{10} = (C/P)^3$$

$$L_{10H} = L_{10} \cdot 10^6 / (60 \cdot N)$$

MTBF: $6800 \cdot 10^6$ tours

