



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
People's Democratic Republic of Algeria
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministry of Higher Education and Scientific Research
جامعة عبد الحميد باديس - مستغانم
Abdelhamid Ibn Badis University of Mostaganem
كلية العلوم والتكنولوجيا
Faculty of Sciences and Technology
قسم الهندسة الميكانيكية
Department of Mechanical Engineering



N° d'ordre : M...../GM/2020

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE MASTER ACADEMIQUE

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Construction Mécanique

Thème

Choix d'une huile et mode de lubrification pour un réducteur de vitesse

Présenté par :

- ❖ YFRAH MOURAD
- ❖ BENDREF MOHAMED REDA

Soutenu le 25/06/2020 devant le jury composé de :

Président	Pr. R. ZENASNI	Université de Mostaganem UMAB
Examineur	Dr. A. KHIAT	Université de Mostaganem UMAB
Encadreur	Dr. S. BENKABOUCHE	Université de Mostaganem UMAB

Année Universitaire : 2019 / 2020

Remerciements

*Nous remercions le bon Dieu, **ALLAH** qui nous a donné la force et le courage d'entreprendre et de compléter ce travail. C'est avec beaucoup de respect et d'estime que nous remercions notre encadreur Dr. S. **BENKABOUCHE**, toujours présents pour nous accueillir et nous aider le long de notre travail, avec ses précieux conseils et son aide bénéfique.*

En fin, nous remercions tous les enseignants qui nous ont fait profiter de leur savoir, le long de nos études, ainsi les personnels administratifs et tous ceux qui ont contribué à nous aider pour l'élaboration de notre travail.

YFRAH

BENDREF

Dédicaces

*Je dédie ce Modest travail a mes chère parents,
mes frères et sœurs, mes cousins, ainsi que toute
ma famille ou qu'ils on soit, mon ami binôme et
tout mes amis*

Yfrah Mourad.

*Je dédie ce Modest travail a mes chère parents,
mes frère et sœurs, mes cousins, ainsi que toute
ma famille ou qu'ils on soit, mon ami binôme et
tout mes amis*

Bendref Mohamed Redha.

Résumé

Le but de ce travail est de recherché une méthodologie de détermination d'un type d'huile de lubrification pour les réducteurs de vitesses. Le choix dépend essentiellement de vitesse circonférentielle des roues dentées, qui a une relation directe avec la viscosité recherchée. Une huile de viscosité calculée est déterminée pour un réducteur à engrenages de type roue et vis sans fin. Le système de lubrification approprié est un système à barbotage.

Mots clés : réducteur, viscosité, vitesse, lubrification, huile de lubrification.

Abstract

The aim of this work is to research a methodology for determining a type of lubricating oil for gearbox. The choice mainly depends on the circumferential speed of the gear wheels, which has a direct relationship with the viscosity. An oil of calculated viscosity is determined for wheel and worm gearbox. The appropriate lubrication system is a bubbling system

Keywords: gearbox, viscosity, speed, lubrication, oil.

ملخص

الهدف من هذا العمل هو البحث عن منهجية لتحديد نوع زيت التشحيم لعلبة التروس. يعتمد الاختيار بشكل أساسي على السرعة المحيطية لعجلات التروس ، والتي لها علاقة مباشرة باللزوجة. يتم تحديد زيت اللزوجة المحسوبة لعلبة تروس العجلات والدودة. نظام التشحيم المناسب هو نظام فقاعي

الكلمات الرئيسية: علبة التروس، اللزوجة، السرعة، التشحيم، الزيت التشحيم.

Liste des figures

Figure 1 : la position de réducteur de vitesse.....	4
Figure 2 : réducteur à engrenages cylindriques droits à denture droite.	5
Figure 3 : réducteur à engrenages cylindriques droits à denture hélicoïdale.	6
Figure 4 : réducteur à engrenages à couple conique à denture droite.....	7
Figure 5 : réducteur à engrenages à couple conique à denture spirale.....	7
Figure 6 : réducteur à roue et vis sans fin.	8
Figure 7 : réducteur à roues de friction.	9
Figure 8 : réducteur poulies/courroie.	10
Figure 9 : réducteur pignon/chaîne.	11
Figure 10 : Réducteur à train épicycloïdal.	12
Figure 11 : Ecart d'épaisseur de denture.	14
Figure 12 : Usure des dentures.....	15
Figure 13 : Grippage.	15
Figure 14 : Ecaillage.	16
Figure 15 : Fissuration la denture.....	16
Figure 16 : Corrosion des engrenages.....	16
Figure 17 : Rupture d'engrenage.....	17
Figure 18 : lubrification des engrenages.....	19
Figure 19 : composition d'huile.....	23
Figure 20 : Ecoulement newtonien dans un film d'huile.....	26
Figure 21 : Indice de viscosité.....	28
Figure 22 : lubrification par barbotage.....	31

Figure 23 : lubrification sous pression	31
Figure 24 : Lubrification par projection	32
Figure 25 : Le graissage.....	33
Figure 26 : Cylindres équivalents pour engrenages à développante	38
Figure 27 : sélection de la viscosité des engrenages.....	41

Liste des tableaux

Tableau 1 : Classification NLGI des graisses et leurs applications.	35
Tableau 2 : Classification de viscosité ISO.	42

Notions

- P : La puissance sortie du réducteur en KW
- C : Le couple de moteur Nm
- V_e : La vitesse d'entrée t/min
- V_s : La vitesse de sortie t/min
- ω : La vitesse de rotation t/min
- m : Le module normal m en mm
- R : le rapport de réduction (R)
- Z_{roue} : Nombre de dents de la roue.
- Z_{vis} : Nombre de dents de la vis
- d_p : *diametre primitif* en mm
- Z : Nombre de dents de la roue ou la vis sans fin.
- ρ : Masse volumique (kg/m^3)
- η : viscosité dynamique ($Pa \cdot s$)
- K : Constante du tube
- t : Temps d'écoulement de l'huile (s)
- ν : viscosité cinématique
- ν_{40} : viscosité cinématique à $40^\circ C$
- S : la viscosité des deux huiles à $98,9^\circ C$,
- H : la viscosité à $37,8^\circ C$ de l'huile d'indice 0.
- IV : indice de viscosité.
- l : longueur centrale
- R_1, R_2 : les rayons des cylindres au contact.
- N_1 et N_2 : les vitesses des roues dentées en tr / min .
- u_1 et u_2 : Les vitesses à travers la zone de contact des deux surfaces
- ψ : l'angle de pression des engrenages
- s : ligne d'action.
- u : vitesse d'entraînement
- $V(PLV) =$ vitesse de la ligne primitive (m / s)

Sommaire

Sommaire

Remerciements

Dedicace

Resume

Liste des figures

Liste des tableaux

Notion

Introduction générale	1
Chapitre I : Généralités sur les réducteurs	2
1 Introduction :.....	3
2 Domaine d'application de réducteur de vitesse :	3
3 Les différents types de réducteur :	4
3.1 Réducteurs à engrenages :.....	5
3.1.1 A engrenages cylindriques droits.....	5
3.1.2 A engrenages coniques.....	6
3.2 Réducteurs à roue et vis sans fin :	8
3.3 Réducteurs à roues de friction :.....	9
3.4 Réducteurs poulies/courroie :	10
3.5 Réducteurs pignon/chaine :.....	11
3.6 Réducteurs à train épicycloïdal :.....	12

4 Les défauts rencontrés par les engrenages de réducteurs de vitesse :.....	13
4.1 Défauts de fabrication.....	13
4.1.1 Défauts de taillage	13
4.1.2 Défauts de montage.....	14
4.2 Défauts de fonctionnent :.....	14
4.2.1 Défauts de lubrification	14
4.2.2 Autres défauts de fonctionnement.....	15
Chapitre II : Généralités sur lubrifications	18
1 Introduction:.....	19
2 Définition :.....	19
3 Fonctions des lubrifiants :.....	19
3.1 Refroidir :(l'évacuation des calories)	20
3.2 Etancher : (la protection contre l'entrée d'impuretés).....	20
3.3 Nettoyer :(l'évacuation des impuretés).....	20
3.4 Lubrifier :(la réduction des frottements et de l'usure)	20
4 Classification des lubrifiants :.....	21
4.1 Lubrifiants d'origine animale :.....	21
4.2 Lubrifiants d'origine végétale :	21
4.3 Lubrifiants d'origine minérale :	22
4.4 Lubrifiants d'origine synthétique :	22
5 COMPOSITION D'UNE HUILE :.....	22
5.1 Les huiles de base :.....	23

5.2 Les additifs :.....	24
5.3 Exemples d'additifs :	24
6 Propriétés des huiles	25
6.1 Propriétés physiques :.....	25
6.2 Propriétés chimiques :.....	29
7 Rôle des lubrifiants :.....	30
8 Mode de lubrification :.....	30
8.1 Par barbotage :.....	30
8.2 Lubrification ordinaire sous pression :.....	31
8.3 Lubrification intégrale :.....	32
8.4 Lubrification par projection :.....	32
9 Les graisses :	32
9.1 Propriétés des graisses.....	33
9.2 Types de graisses :.....	33
9.3 Classification :.....	34
Chapitre III : Choix du lubrifiant d'une réducteur de vitesse	36
1 Introduction :.....	37
2 Sélection du lubrifiant d'un réducteur :.....	39
2.1 SÉLECTION DE VISCOSITÉ LUBRIFIANTE :.....	40
2.1.1 Première méthode :	40
a) Déterminer la vitesse de la ligne primitive (plv) :	40
b) Déterminer la viscosité d'après le graphe :.....	41

2.1.2 Deuxième méthode :.....	42
a) Déterminer la viscosité :.....	42
Conclusion générale	46
Referance bibilographique	

Introduction générale

Introduction générale

La fiabilité des équipements industriels dépend de plusieurs paramètres, tels que l'étude de conception, réalisation, conditions de mise en service, la lubrification,...etc. le bon choix du type de lubrifiant ainsi que le système de lubrification et le respect de leurs maintenance sont des conditions nécessaires pour assurer le fonctionnement voulu.

Dans ce travail, nous traitons le choix d'un lubrifiant pour un réducteur de vitesse donné, ainsi que son système de lubrification. Cette étude est organisée en trois chapitres :

- Le premier est consacré à un aperçu sur les différents types de réducteurs, leurs utilisations dans le domaine industriel, leurs avantages et inconvénients, et les anomalies rencontrées dues à la mauvaise lubrification.
- Le deuxième chapitre est réservé à des généralités sur le domaine de la lubrification, en abordant : les différents types d'huiles et graisse, leurs propriétés, leurs additifs, puis on fait un aperçu sur les systèmes de lubrification appliqués.
- Le troisième chapitre est une étude sur les démarches nécessaires de choix d'un type de lubrifiant, ainsi que son système de lubrification, pour les réducteurs de vitesse. Un exemple de détermination d'un type d'huile est traité.

Le travail sera finalisé par une conclusion générale et quelques perspectives.

Chapitre I

Généralités sur les réducteurs

1 Introduction :

Les équipements mécaniques jouent un rôle très important dans différents domaines industriels, car ils assurent l'outil de production. Parmi ces équipements, les mécanismes de transmission tels que les réducteurs de vitesse. Ces derniers sont généralement installés entre les équipements entraineurs comme : les moteurs électriques ou thermiques, les turbines à gaz ou à vapeur... ; et les autres récepteurs tels que les alternateurs, les pompes, les convoyeurs, ...etc.

Les réducteurs de vitesses ont toujours été considérés comme des composants essentiels dans le monde de la mécanique, leur succès réside dans leur utilité. Les réducteurs de vitesses sont des transmissions à engrenages mécaniques qui transportent le mouvement d'un moteur vers la machine à laquelle elles sont appliquées, réduisant la vitesse dans le but de l'adapter aux besoins du fonctionnement.

Dans ce chapitre, nous présenterons une généralité sur les différents types de réduction, leurs rôles, domaines d'application et défauts rencontrés.

2 Domaine d'application de réducteur de vitesse :

Les réducteurs sont largement utilisés dans différents domaines industriels, leur rôle, est de transmettre un mouvement de rotation en réduisant sa vitesse de rotation et en multipliant le couple de sortie. Ces organes sont installés dans plusieurs équipements, selon le type de conception, tels que : les tapis convoyeurs, les élévateurs à godets, appareils de levage, ...etc.

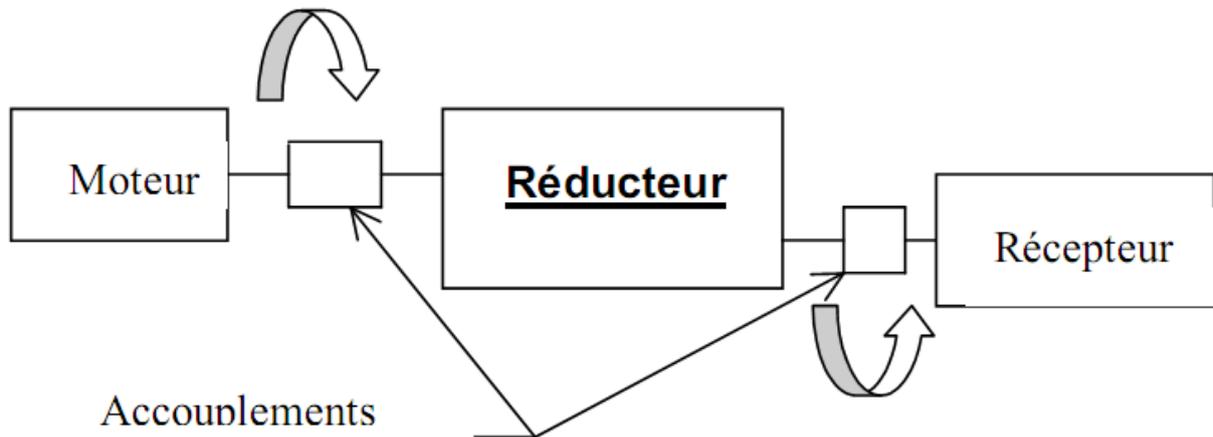


Figure 1 : la position de réducteur de vitesse.

Ces réducteurs, utilisés pour la transmission de mouvement dans les mécanismes, comprennent :

- la boîte de vitesses (automobile, moto, machine-outil, etc.).
- le motoréducteur (moteur électrique + réducteur).

Utilisation de motoréducteur touche tous les domaines de la vie courante :

- micro motoréducteur : manutention des volets roulants, lève-vitre auto, essuie-glace, modèles réduits, robotique, servomoteur, électroménager.
- motoréducteur moyen : ouverture de portail, de barrière levant, réducteurs Hallflex pour machines-outils.
- gros motoréducteur : ascenseur, monte-charge, téléphérique, télésiège, ascenseur à bateaux.
- propulsion des aéronefs : réducteur planétaire entre la turbine et l'hélice pour un avion (turbopropulseur, réduction de 25 000 à 1 500/3 000 tr/min) ou entre la turbine et l'arbre des pales pour un hélicoptère (réduction de 25 000 à 200/400 tr/min).

3 Les différents types de réducteur :

Il existe différents types de réducteurs : mécaniques, hydrauliques, pneumatiques. Parmi les réducteurs mécaniques, on rencontre, les trains d'engrenage ordinaire (parallèle, conique, gauche) ou encore les trains épicycloïdaux (plan, sphérique), les systèmes poulies/courroies.1

3.1 Réducteurs à engrenages :

3.1.1 A engrenages cylindriques droits

- **à denture droite** : Ce type de réducteur est les plus simples et les plus économiques, ils sont utilisés pour transmettre le mouvement et la puissance entre deux arbres parallèles. Les axes des engrenages sont parallèles à l'axe de rotation des arbres.

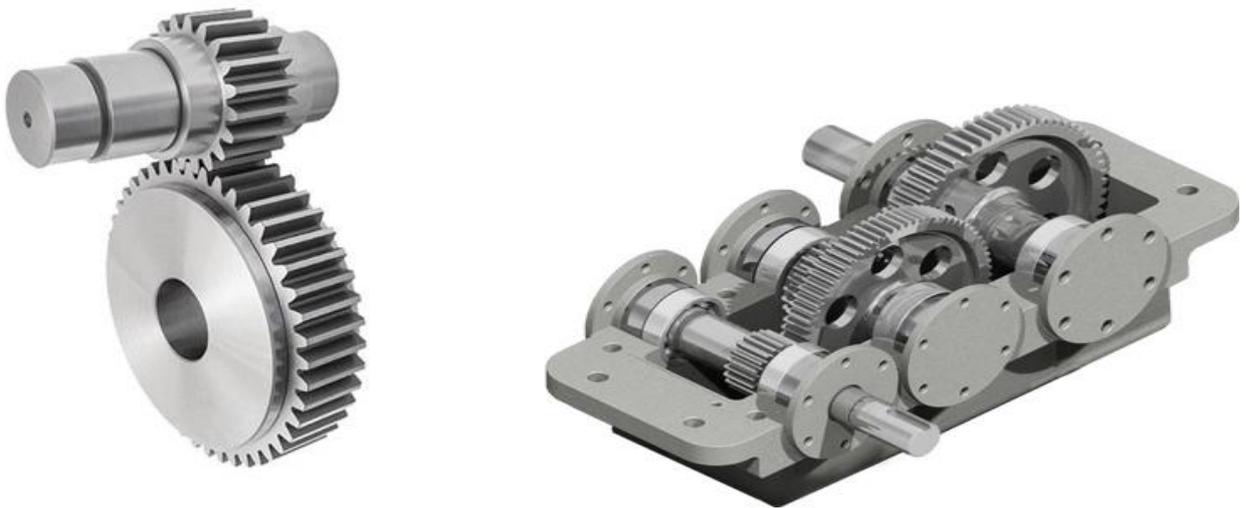


Figure 2 : réducteur à engrenages cylindriques droits à denture droite.

- **à denture hélicoïdale** : Ce type de réducteur de vitesse a la même composition, les mêmes caractéristiques et le même rapport que le réducteur à engrenages à denture droit, seulement qu'il contient des engrenages à denture hélicoïdale, ce qui le distingue par fonctionnement plus silencieux et moins vibrations.

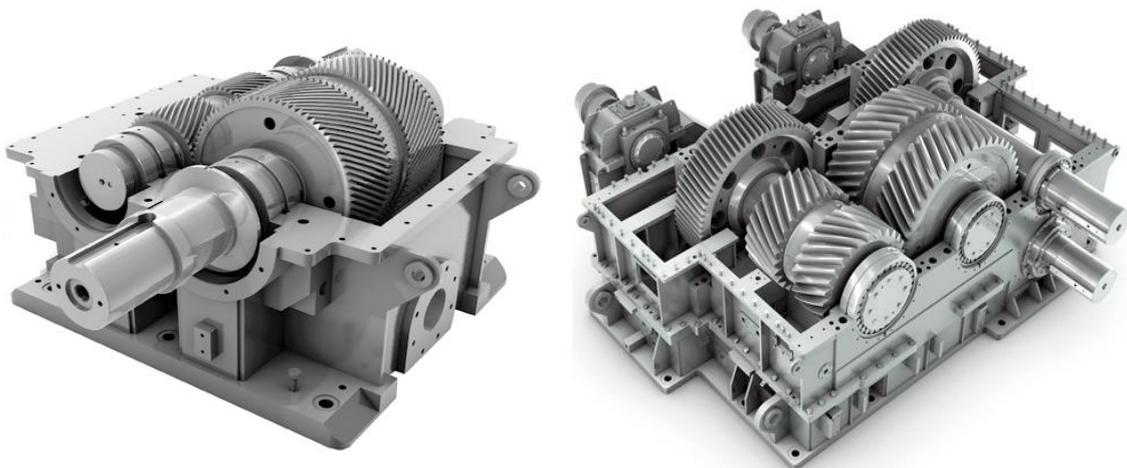


Figure 3 : réducteur à engrenages cylindriques droits à denture hélicoïdale.

❖ **Caractéristiques techniques :**

- Rapport de réduction $R = \frac{\omega_s}{\omega_e} = \frac{z_e}{z_s}$
- Les arbres d'entrée et de sortie sont parallèles.
- Arbre de sortie plein ou creux traversant.
- Principales applications : Convoyeurs forte puissance, cimenterie...

❖ **Les avantages :**

- Charge radiale admissible élevée en sortie.
- Adaptés pour les fortes puissances.
- Rendement élevé.
- Simplicité de la technologie.
- Facilité de maintenance.
- Durée de vie importante.

❖ **Les inconvénients :**

- Nécessite un assemblage précis.
- Engendre des vibrations, bruyant pour des engrenages à denture droite.
- Nécessite une lubrification.

3.1.2 A engrenages coniques

- **à denture droite** : le réducteur à couple conique à denture droite destiné à transmettre un mouvement de rotation entre deux arbres non parallèles concourants. Il permet également d'adapter la vitesse et/ou le couple. Il est souvent connecté à des moteurs asynchrones triphasés à partir de servomoteurs asynchrones ou asynchrones.

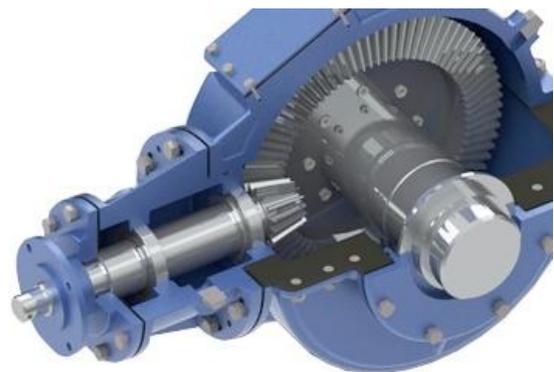


Figure 4 : réducteur à engrenages à couple conique à denture droite.

- **à denture spirale :** le réducteur à couple conique à denture spirale Fonctionne plus silencieux que celui des engrenages à denture droite.

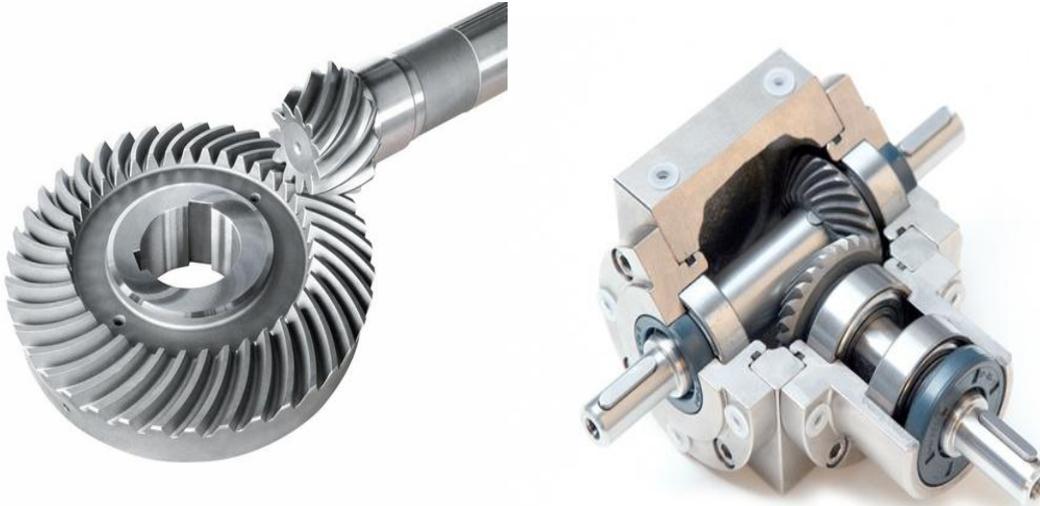


Figure 5 : réducteur à engrenages à couple conique à denture spirale.

❖ **Caractéristiques techniques :**

- Rapport de réduction $R = \frac{\omega_s}{\omega_e} = \frac{z_e}{z_s}$
- Les arbres d'entrée et de sortie sont perpendiculaires.
- Arbre de sortie plein ou creux traversant.
- Principales applications : Convoyeurs forte puissance, Engins mobiles (Travaux Publics, Machinisme Agricole....).

❖ **Les avantages :**

- Charge radiale admissible élevée en sortie.
- Adaptés pour les fortes puissances.
- Bon rendement.
- Permet de changer l'axe de rotation (Renvoi d'angle).
- Durée de vie importante.

❖ **Les inconvénients :**

- Nécessite un assemblage précis.
- Engendre des vibrations, bruyant pour des engrenages conique à denture droite.
- Nécessite une lubrification.
- Maintenance difficile.

3.2 Réducteurs à roue et vis sans fin :

Les réducteurs à vis sans fin ont la plus large application en génie mécanique. La vis sans fin confère au réducteur une douceur exceptionnelle et un fonctionnement silencieux. L'efficacité de ce réducteur, en fonction de la précision d'exécution, des caractéristiques de conception, le système de lubrification peut atteindre 94%.



Figure 6 : réducteur à roue et vis sans fin.

❖ Caractéristiques techniques :

- Rapport de réduction peut être très important avec un faible encombrement.

$$R = \frac{\omega_s}{\omega_e} = \frac{z_e}{z_s}$$

- Les arbres d'entrée et de sortie sont perpendiculaires.
- Arbre de sortie plein ou creux traversant.
- Principales applications : Convoyeurs, Manutention, Treuils.

❖ Les avantages :

- Charge radiale admissible élevée en sortie.
- Fonctionnement silencieux.
- Adaptés pour les fortes puissances.
- Autofreinage (manque de réversibilité) avec des rapports élevés.
- Taille compacte.
- La disposition de l'arbre, tournée de 90 degrés.
- Le bon marché relatif de la fabrication de réducteurs à vis sans fin.
- Durée de vie importante.

❖ Les inconvénients :

- Rendement variable en fonction du rapport de réduction et de la vitesse.
- L'utilisation de matériaux antifriction coûteux pour les engrenages à vis sans fin.
- Nécessite une lubrification.
- Maintenance difficile.
- Échauffement plus important que dans d'autres technologies.

3.3 Réducteurs à roues de friction :

Réducteur à roues de friction est composé de deux ou plusieurs roues en contact dont le mouvement de rotation est transmis par frottement (transmettre par adhérence).

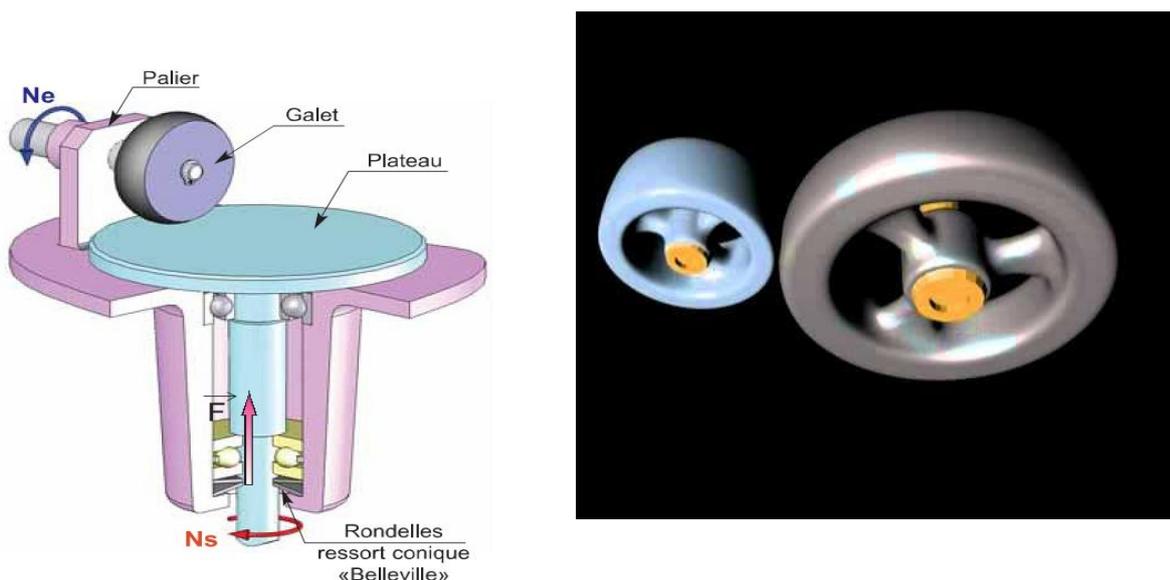


Figure 7 : réducteur à roues de friction.

❖ Caractéristiques techniques :

- Rapport de réduction $R = \frac{\omega_s}{\omega_e} = \frac{R_e}{R_s}$
- Le sens de rotation est inversé d'une roue à l'autre.
- Le mouvement du système de roues de friction est réversible.
- L'axe de rotation des roues peut changer.
- Il permet de modifier la vitesse de rotation.
- Principales applications : dynamo, presse à imprimer.

❖ Les avantages :

- Fonctionnement silencieux.
- Réalisation simple et économique.
- La disposition de l'arbre, tournée de 90 degrés.

❖ **Les inconvénients :**

- Le montage des roues de friction nécessite une grande précision.
- Glissement entre les roues.
- Efforts importants sur les paliers d'où usure.
- Transmission de faible puissance.

3.4 Réducteurs poulies/courroie :

La technologie poulies/courroie comporte une poulie qui en rotation, entraîne la courroie qui transmet ce mouvement à une seconde poulie (transmettre par adhérence).

Il existe plusieurs types de transmission par poulies-courroie : courroies plates, rondes, trapézoïdales, striées et crantées.



Figure 8 : réducteur poulies/courroie.

❖ **Caractéristiques techniques :**

- Rapport de réduction $R = \frac{\omega_s}{\omega_e} = \frac{R_e}{R_s}$
- Le mouvement du système de poulies/courroie est réversible.
- L'axe de rotation des poulies parallèles.
- Il permet de modifier la vitesse de rotation.
- La courroie est utilisée avec des poulies, et parfois avec un galet tendeur.
- Principales applications : convoyeurs, Automobile.

❖ **Les avantages :**

- Fonctionnement silencieux.
- Réalisation simple et économique.

- Souplesse de la transmission due à l'élasticité de la courroie.
- Rendement élevé.
- Possibilité de faire varier l'entraxe.
- Pas de lubrification.

❖ **Les inconvénients :**

- Usure de la courroie.
- Durée de vie limitée.
- Rapport de transmission irrégulier du au glissement.

3.5 Réducteurs pignon/chaîne :

La technologie de pignon/chaîne permet la transmission d'un mouvement de rotation entre deux pignons ou plus par une chaîne (transmettre par Obstacle).



Figure 9 : réducteur pignon/chaîne.

❖ **Caractéristiques techniques :**

- Rapport de réduction $R = \frac{\omega_s}{\omega_e} = \frac{Z_e}{Z_s}$
- Le mouvement du système de pignon/chaîne est réversible.
- L'axe de rotation des poulies parallèles.
- Il permet de modifier la vitesse de rotation.
- Principales applications : Aérospatial, Bâtiment et travaux publics, Automobile.

❖ **Les avantages :**

- Transmission synchrone (pas de glissement).
- Transmission de puissance élevée.
- Robuste et dure de vie importante.
- Rendement élevé.

❖ **Les inconvénients :**

- Vitesse de rotation peu élevée

- Nécessite une lubrification
- Bruyante
- Les axes des roues doivent être parallèles.

3.6 Réducteurs à train épicycloïdal :

Un train épicycloïdal (ou train planétaire) est un train d'engrenages dont au moins une roue dentée (appelée satellite) est en mouvement épicycloïdal par rapport au carter fixe.

Le terme "épicycloïdal" provient de la trajectoire des points du satellite qui est une courbe appelée « épicycloïde ».

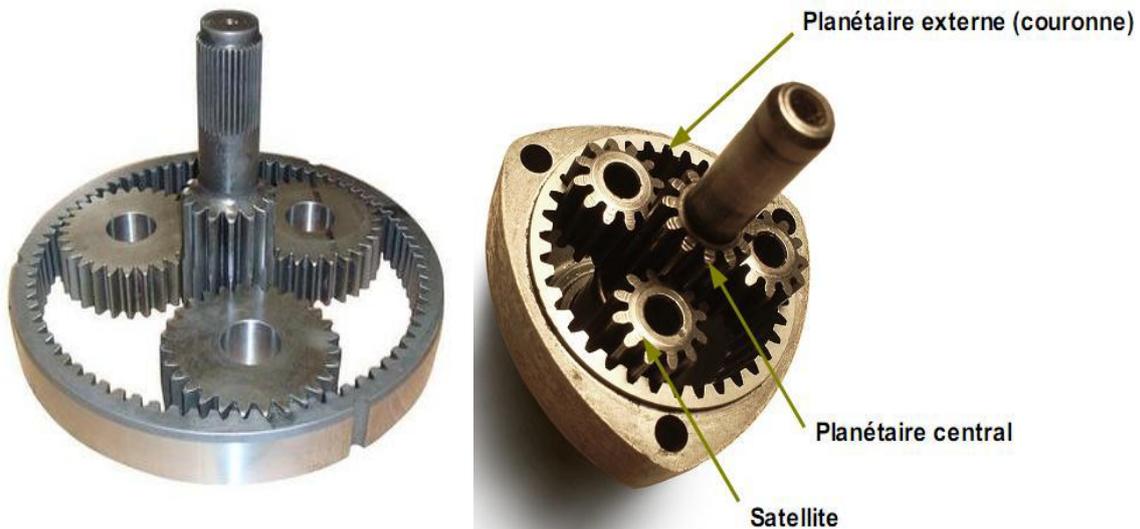


Figure 10 : Réducteur à train épicycloïdal.

- **Rapport de réduction :**

$$R = \frac{\omega_s}{\omega_e}$$

- **Formule de Willis :**

$$R = \frac{\omega_p - \omega_{ps}}{\omega_c - \omega_{ps}} = (-1)^n \frac{\prod Z_{menantes}}{\prod Z_{menées}}$$

- ❖ **Caractéristiques techniques :**

- Epicycloïdaux.
- Coaxial
- Souvent plusieurs trains.
- Possibilité de carter tournant.
- Possibilité d'arbre creux.
- Principales applications : Engins mobiles, Robotisation et automatisation, Machines-Outils.

❖ Les avantages :

- Efficacité élevée.
- Taille compacte et excellente stabilité.
- Transmission de puissance élevée.
- Charge radiale admissible élevée en sortie.
- Rendement élevé.

❖ Les inconvénients :

- Nécessite une lubrification.
- Technologie élaborée.
- Maintenance plus spécialisée.
- Échauffement plus important que dans d'autres technologies.

4 Les défauts rencontrés par les engrenages de réducteurs de vitesse :

4.1 Défauts de fabrication

4.1.1 Défauts de taillage

- **Excentricité ou erreur de faux-rond :** Ce défaut traduit la non-concentricité entre l'axe du cylindre primitif de denture et l'axe de rotation de l'arbre auquel la denture est liée.
- **L'erreur de pas** caractérise le défaut de localisation angulaire d'une dent par rapport à sa position théorique.
- **Les erreurs de profil** sont représentatives des écarts existant entre le profil théorique de la denture et le profil réel.
- **L'erreur d'épaisseur de dent** est la différence entre l'épaisseur mesurée et l'épaisseur théorique.

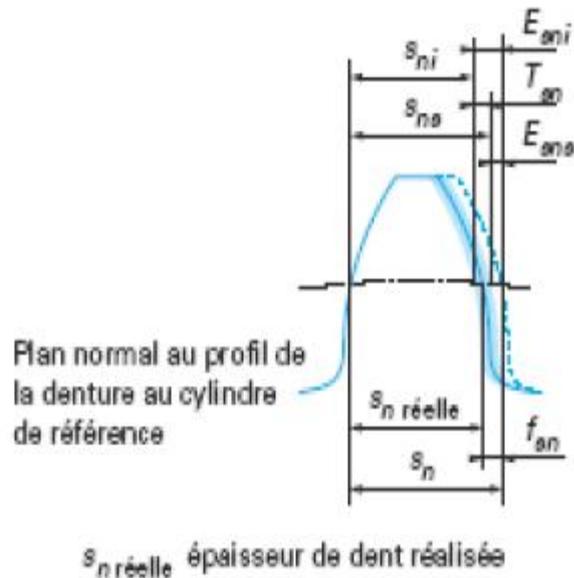


Figure 11 : Ecart d'épaisseur de denture.

-
- Défauts de rectification et de traitement thermique.

4.1.2 Défauts de montage

- **Défaut d'entraxe Différence**, positive ou négative, entre l'entraxe réel et l'entraxe théorique de fonctionnement.
- **Défauts d'inclinaison et de déviation** : La norme caractérise les défauts d'alignement par deux angles appelés angle d'inclinaison et angle de déviation. L'angle d'inclinaison est associé à une rotation dans le plan des axes, et l'angle de déviation conduit à une délocalisation latérale des portées de denture.

4.2 Défauts de fonctionnement :

4.2.1 Défauts de lubrification

La lubrification est l'un des problèmes le plus important et le plus délicats qui puissent se poser pour le bon fonctionnement des engrenages.

- **L'usure** est un ensemble complexe de phénomènes difficiles à interpréter, amenant une émission de débris avec perte de masse, de cote, de forme, et s'accompagnant de transformations physiques et chimiques des surfaces.

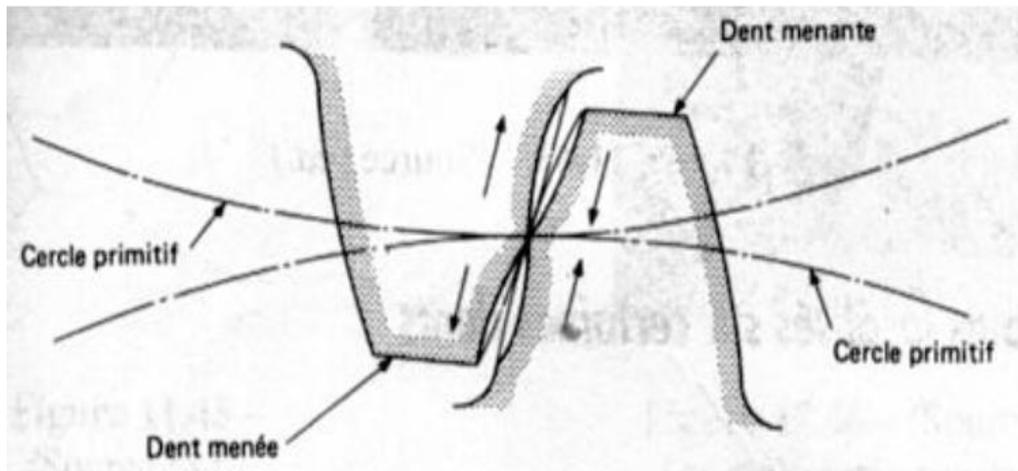


Figure 12 : Usure des dentures.

- **Grippage localisé** correspond à des arrachements ou des adhérences qui modifient soudain l'état d'une petite partie de la surface des dents.
- **Grippage généralisé** c'est une avarie très brutale attribuée à une rupture du film lubrifiant par suite de températures de surface trop élevées.

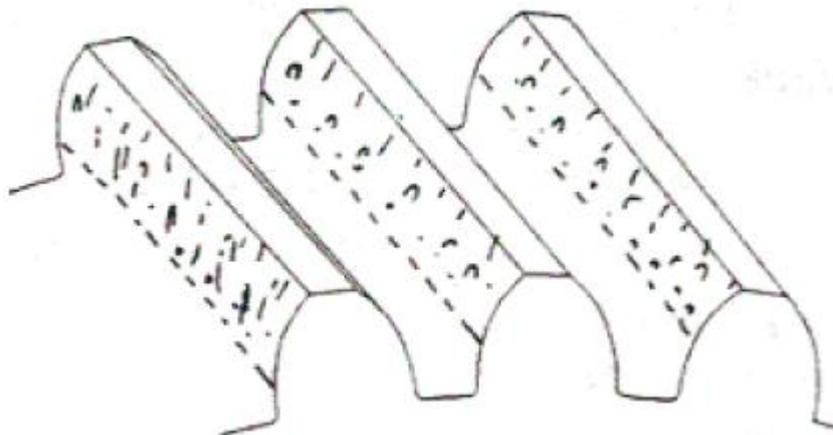


Figure 13 : Grippage.

- **Piqûres des dents** ce phénomène est caractérisé par l'apparition sur toute la surface active des dents de petits trous peu profonds en forme d'éventail dont la pointe est tournée vers le pied des dents motrices ou vers le sommet des dents menées.

4.2.2 Autres défauts de fonctionnement

- **l'écaillage** se manifeste par l'apparition de trous beaucoup moins nombreux, plus profonds et plus étendus.

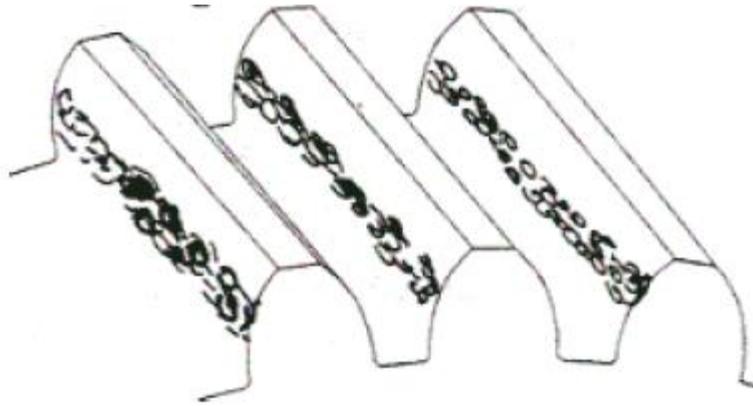


Figure 14 : Ecaillage.

- **Fissuration** Ce défaut apparaît dans les dentures en aciers fins durcis par traitement thermique et qui sont sensibles aux concentrations de contraintes. L'apparition des fissures est la conséquence d'une contrainte au pied de la dent qui dépasse la limite de fatigue du matériau.



Figure 15 : Fissuration la denture.

- **Corrosion** (chimique et de contact).



Figure 16 : Corrosion des engrenages.

- **Rupture par fatigue** Comme tous les phénomènes de fatigue, c'est une dégradation progressive. A certains nombres de cycles nous aurons la formation d'une crique à la surface de raccordement dans la zone de concentration des contraintes maximales.

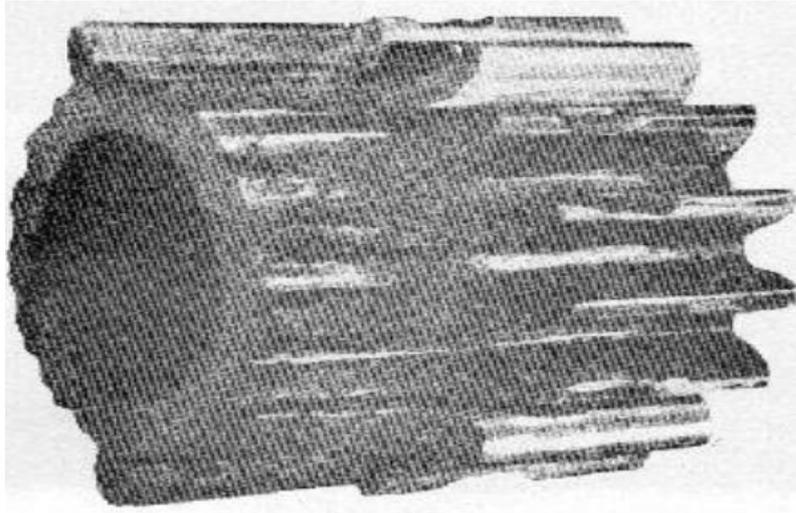


Figure 17 : Rupture d'engrenage.

Chapitre II

Généralités sur lubrifications

1 Introduction:

Le lubrifiant est un produit qui interposé entre les surfaces de frottements d'un mécanisme, réduit le frottement et par voie de conséquence l'échauffement, tout en combattant l'usure des organes en mouvement.

Historiquement, l'usage des lubrifiants remonte à la plus haute Antiquité. Les produits utilisés furent, jusqu'au XIXe siècle, essentiellement des huiles et corps gras d'origine animale ou végétale. Puis, les huiles d'origine pétrolière s'imposèrent vers la fin du XIXe siècle, mais ce n'est qu'à partir de 1930, et surtout entre 1940 et 1950, que les grandes découvertes en matière d'additifs et de lubrifiants de synthèse ont été faites. Ensuite, les progrès furent continus dans tous les domaines avec, cependant, dans les années soixante, un véritable foisonnement de recherches, sous l'impulsion de la course à l'espace, dans le domaine des lubrifiants non conventionnels.

2 Définition :

La lubrification ou le graissage est un ensemble de techniques permettant de réduire le frottement, l'usure entre deux éléments en contact et en mouvement l'une par rapport à l'autre. Elle permet souvent d'évacuer une partie de l'énergie thermique engendrée par ce frottement, ainsi que d'éviter la corrosion. La lubrification permet de changer le coefficient de frottement entre deux éléments afin de faciliter le glissement ou le roulement entre elles ainsi que d'éviter ou de minimiser l'usure et les échauffements.



Figure 18 : lubrification des engrenages

3 Fonctions des lubrifiants :

Les fonctions principales d'un lubrifiant sont :

3.1 Refroidir : (l'évacuation des calories)

La circulation de l'huile évacue les calories, et élimine les risques de fusion et de détérioration. Un moteur, surtout aujourd'hui avec les technologies de pointes ou les difficultés de circulation, peut chauffer anormalement jusqu'à 400°.

- **Equilibre thermique, refroidissement** : L'huile refroidit les parties essentielles du moteur que le liquide de refroidissement du radiateur ne peut pas atteindre, comme l'arbre à cames, les bielles et les pistons. L'huile assure ainsi jusqu'à 35 % de la fonction de refroidissement.

3.2 Etancher : (la protection contre l'entrée d'impuretés)

Contribuer à parfaire l'étanchéité du moteur : (L'huile protège constamment les pièces d'agressions comme les poussières aspirées par le moteur, l'eau et l'acide résultant de la combustion...).

3.3 Nettoyer : (l'évacuation des impuretés).

L'huile maintient en suspension et véhicule les imbrûlés issus de la combustion. (C'est à ce niveau qu'elle a de l'importance car il n'a plus d'étanchéité. Le moteur consomme anormalement ...Il arrive même qu'il ait des grippages. C'est le phénomène d'usure par polissage).

3.4 Lubrifier : (la réduction des frottements et de l'usure)

Diminuer les frottements et les résistances passives dans les machines, améliorer leur rendement et économiser l'énergie. (La viscosité d'une huile de moteur devrait rester constante malgré des écarts de température. L'huile ne doit pas figer au froid, elle ne doit pas se liquéfier à la chaleur).

Elles permettent aussi de :

- Protéger les organes lubrifiés contre les diverses formes de corrosion et d'usure, donc contribuer à leur longévité.
- Transmettre de l'énergie ou de la chaleur.
- Assurer l'isolation électrique.
- Améliorer l'état de surface des pièces usinées.
- Augmenter la durée de vie.

4 Classification des lubrifiants :

On peut distinguer les lubrifiants selon leur origine, animale, végétale, minérale ou synthétique, ou selon leur présentation, liquide, pâte ou solide.

4.1 Lubrifiants d'origine animale :

Ils sont constitués essentiellement d'esters résultant de la combinaison d'acides gras avec la glycérine. Ce sont souvent des « ancêtres » mais certains entrent encore dans diverses compositions :

- **Liquides** : oléines, huiles de lard, de pied de bœuf ou de mouton, etc., très onctueuses, huiles de poisson, de baleine, de phoque, glycérine autrefois utilisée pour son point de congélation très bas.

- **Pâteux** : oléo stéarines, suifs (qui deviennent très acides par oxydation), suintines et brais résultant du traitement de la laine, lanoline très utilisée dans les produits antirouille car elle absorbe l'eau ;

- **Solides** : stéarine, dont l'usage est restreint à la formulation de graisses très dures.

4.2 Lubrifiants d'origine végétale :

Ce sont en général des combinaisons d'acides gras peu ou pas estérifiés. Certains sont encore largement utilisés en addition dans les huiles de pétrole ou dans les graisses :

- **Liquides** : huiles semi siccatives (s'épaississant par oxydation) de coton, de colza, huiles non siccatives d'arachide, d'olive, et surtout de ricin intéressant par sa forte viscosité et la possibilité de l'utiliser dans une large gamme de températures.

- **Pâteux** : huiles de palme, de coco et de coprah, liquides aux températures tropicales mais pâteuses dans les régions froides ;

- **Solides** : résines et colophanes tirées du pin, pouvant résister à l'eau.

4.3 Lubrifiants d'origine minérale :

- **Liquides** : huiles de houille (Charbon utilisé comme combustible), de schiste (Roche sédimentaire ou métamorphique qui se débite en feuillets), utilisables comme produits de remplacement, et surtout huiles de pétrole.

- **Pâteux** : vaseline.

- **Solides** : soufre utilisé autrefois pour sauver les paliers endommagés, talc, mica, bisulfures de molybdène et de tungstène, graphite, sulfure de plomb, oxyde de zinc.

4.4 Lubrifiants d'origine synthétique :

- **Liquides** : silicones, poly glycols, esters phosphoriques, esters aliphatiques, polyoléfines, métaux liquides.

- **Pâteux** : verres, borates et oxyde de bore B₂O₃ (pâteux à chaud), graisses silicones.

- **Solides** : polyéthylènes, polytétrafluoroéthylène (PTFE), savons (stéarates de zinc, de calcium, d'aluminium, etc.), oxyde de plomb (PbO), disulfure de tungstène, phtalocyanine, fluorure de graphite, fluorures de calcium, de baryum et de lithium, nitrure de bore.

5 COMPOSITION D'UNE HUILE :

Une huile ayant les propriétés demandées pour une utilisation donnée est constituée : d'une **huile de base** (minérale, synthétique ...) et d'un certain nombre d'**additifs**, ajoutant chacun une propriété particulière.

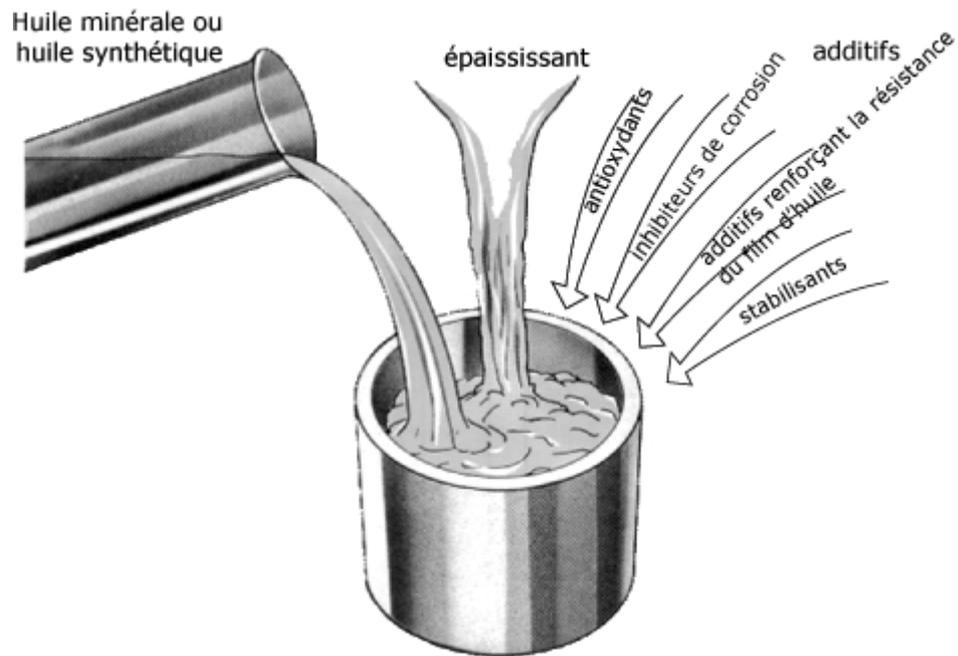


Figure 19 : composition d'huile

5.1 Les huiles de base :

- Les huiles minérales :

Les huiles minérales proviennent de la distillation du pétrole brut. D'un prix peu élevé, elles présentent des performances « moyennes ».

Le procédé d'obtention de ces huiles n'est pas parfait : les molécules obtenues sont de tailles différentes, ce qui nuit à l'homogénéité de l'huile et limite ses possibilités d'application. Des produits indésirables restent également dans cette huile de base (paraffines, solvants légers...).

Les huiles minérales sont, et de très loin, les plus utilisées aussi bien dans les applications automobiles qu'industrielles.

- Les huiles de semi synthèse :

Les huiles de semi synthèse s'obtiennent à partir d'un mélange d'huiles minérales et d'huiles de synthèse (généralement 70 à 80% d'huile minérale et 20 à 30% d'huile de synthèse).

- Les huiles de synthèse ou synthétiques :

Dans le cas de l'huile synthétique, on fabrique la molécule dont on a précisément besoin, si bien que l'on obtient une huile de base dont le comportement est voisin de celui d'un corps pur. En créant un produit dont les propriétés physiques et chimiques sont prédéterminées, on fait mieux que la nature.

On rajoute ensuite les additifs nécessaires pour répondre à un service voulu. Ces huiles ont des performances élevées, en particulier pour des objectifs et des conditions de service difficiles.

Ces huiles elles offrent des performances supérieures :

1. indice de viscosité plus élevé.
2. meilleure tenue thermique.
3. meilleure résistance à l'oxydation.

5.2 Les additifs :

Un additif désigne une substance qui est introduite dans un mélange pour apporter une propriété spécifique.

Les principaux additifs sont décrits brièvement ci-dessous. Si l'on considère leur mode d'action, on peut classer ces additifs en trois groupes :

- 1- Additifs protégeant la surface
- 2- Additifs améliorant l'huile
- 3- Additifs protégeant l'huile

5.3 Exemples d'additifs :

- **Antioxydant** : Supprimer, ou tout au moins ralentir les phénomènes d'oxydation du lubrifiant. Contribuer à l'espacement des vidanges par une meilleure tenue aux hautes températures.
- **Anti-corrosion** : Empêcher l'attaque des métaux ferreux, attaque due à l'action conjuguée de l'eau, de l'oxygène de l'air et de certains oxydes formés lors de la combustion.
- **Anti-friction (usure)** : - Renforcer l'action anti-usure qu'exerce un lubrifiant vis-à-vis des organes qu'il lubrifie.

- **Anti-congelant (jusqu'à 0.5 %) :** Permettre au lubrifiant de garder une bonne fluidité à basse température (*de -15°C à -45°C*).
- **Anti-mousse :** Le moussage de l'huile peut être dû :
 - A la présence d'autres additifs. Les additifs détergents agissent dans l'huile comme du savon dans l'eau : ils nettoient le moteur mais ont tendance à mousser.
 - Au dessin du circuit de graissage qui provoque des turbulences lors de l'écoulement du lubrifiant, facilitant ainsi le brassage air-huile et la formation des bulles.

6 Propriétés des huiles

Un lubrifiant destiné pour une application bien déterminée doit présenter des propriétés bien définies pour cet emploi. Ces propriétés sont indiquées dans un cahier des charges, une norme ou une spécification. Certaines sont reprises, sous forme résumée, dans les fiches techniques destinées aux utilisateurs.

6.1 Propriétés physiques :

- **Densité :** Elle se mesure à 15 °C par rapport à l'eau à 4 °C, à l'aide d'un densimètre plongeant dans un tube à essais. Les valeurs courantes pour les huiles de pétrole varient de 0,85 à 0,95 et dépendent de l'origine des produits. La densité diminue avec la température selon des lois complexes, mais en première approximation on peut la diminuer de 0,00062 par kelvin. Certains lubrifiants synthétiques ont des densités bien plus élevées, jusqu'à 1,5. La comparaison de la densité d'une huile usagée avec celle de l'huile neuve permet de détecter d'éventuelles pollutions.

- **Couleur :** Pour les huiles de pétrole, elle varie généralement du blanc pur au rouge foncé en passant par le jaune citron et le jaune orange, on l'évalue par comparaison avec des verres étalons numérotés en colorations NPA (National Petroleum Association). La couleur foncée d'un lubrifiant usagé peut être un assez bon moyen d'apprécier son altération, de même qu'un aspect laiteux peut indiquer la présence d'eau. La présence d'additifs oblige à la prudence et cette propriété a beaucoup perdu de son intérêt aujourd'hui.

- **Chaleur massique:** Elle s'exprime en Joules par kilogramme x kelvin (J/kg.K). Elle augmente avec la température, d'environ 20 % pour 100 °C, et diminue avec la densité. Aux environs de 100 °C, on peut prendre comme base 2 kJ/kg.K.

● **Conductivité thermique** : Elle définit le flux thermique passant à travers un corps sous l'effet d'un gradient thermique (en watts par mètre par kelvin). On peut prendre comme valeur moyenne pour les huiles minérales 0,14 W/m.K

● **Viscosité** : De toutes les propriétés des huiles, la viscosité est certainement la plus importante. Elle détermine les pertes en frottement, la capacité de charge et l'épaisseur du film d'huile.

Selon la norme NF T60.100 de novembre 1959, la viscosité d'un liquide est la propriété de ce liquide, résultant de la résistance qu'opposent ses molécules à une force tenant à les déplacer par glissement dans son sein.

Ainsi la viscosité d'un fluide est la résistance opposée par ce fluide à tout glissement interne de ses molécules les unes sur les autres.

➤ **Viscosité dynamique** :

La viscosité dynamique ou absolue est la viscosité qui intervient dans les calculs d'épaisseur de film d'huile. Elle est déduite de la loi de Newton régissant l'écoulement laminaire d'un fluide visqueux entre une surface S mobile animée d'une vitesse u et une surface fixe distante de la surface mobile d'une distance h égale à l'épaisseur du film d'huile.

Le déplacement relatif des deux surfaces nécessite un effort F destiné à vaincre la résistance tangentielle au frottement visqueux du fluide (Figure20)

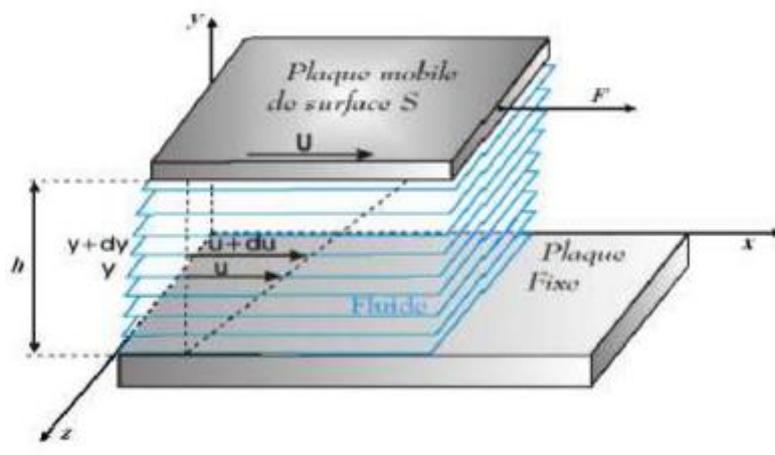


Figure 20 : Ecoulement newtonien dans un film d'huile.

Pour la majorité des liquides visqueux, comme les huiles de base minérales et la plupart des huiles de synthèse, le rapport (F/S) est proportionnel au rapport du/dh (liquides newtoniens), le facteur de proportionnalité η étant le coefficient de viscosité dynamique ou simplement la viscosité dynamique

On a :

$$\frac{F}{S} = \eta \frac{du}{dh}$$

L'unité de viscosité dynamique dans le système international (SI) est le Pascal.Seconde (Pa.s). Dans l'ancien système (CGS), l'unité est le poise (P). A titre d'exemple, la viscosité dynamique de l'eau à 20°C étant égale à 1cP = 1mPa.s.

➤ Viscosité cinématique :

La viscosité donnée dans les fiches techniques des lubrifiants est la viscosité cinématique ν . Elle est déduite de la mesure du temps d'écoulement d'un certain volume d'huile dans un tube capillaire, conformément à la loi de poiseuille.

Il existe une relation entre les deux viscosités cinématique et dynamique :

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} = K \cdot t$$

Avec :

ρ : Masse volumique (kg/m³)

η : viscosité dynamique (Pa .s)

K : Constante du tube

t : Temps d'écoulement de l'huile (s)

La viscosité cinématique est exprimée en mm²/s ou en Stokes « St » (1St =1cm²/s)

➤ Index (ou indice) de viscosité (IV) :

Afin de mieux évaluer la relation entre la viscosité et la température, Dean et David (1929) ont développé un système arbitraire de comparaison appelée indice de viscosité (IV). Plus cet

indice est élevé, moins est le changement de la viscosité. Cet indice est déterminé à partir des indices des deux huiles de base.

- **Indice de référence 100** : faible variation de viscosité.
- **Indice e référence 0** : variation importante de viscosité.

L'indice de viscosité d'un lubrifiant donné est obtenu par les opérations suivantes :

Soient U et S les viscosités mesurées de l'huile étudiée à 37,8 °C et à 98,9 °C.

Les deux huiles étalons d'indice de viscosité 100 et 0 seront choisies dans la table.

- S : la viscosité des deux huiles à 98,9 °C,
- H : la viscosité à 37,8 °C de l'huile d'indice 0.

L'indice de viscosité de l'huile concernée sera (figure21)

$$IV = \frac{L-U}{L-H} \times 100$$

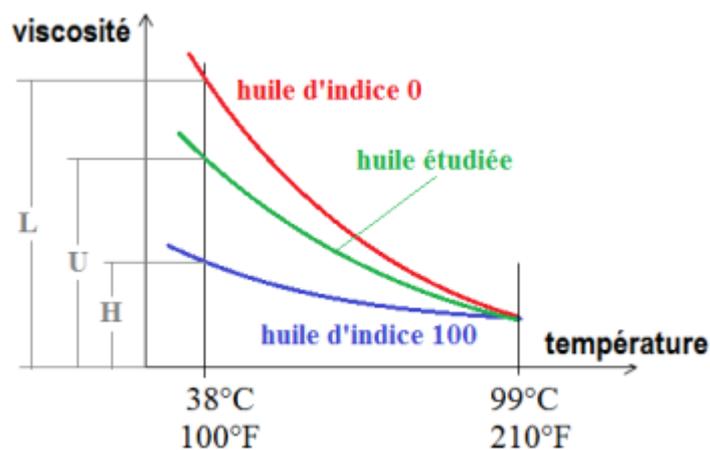


Figure 21 : Indice de viscosité

- **Compressibilité** : Le module de compressibilité est de l'ordre de 6.105 en régime isotherme, par conséquent la diminution de volume est d'environ 2 % à 350 bar et 4 % à 700 bars. Les huiles sont d'autant moins compressibles que la pression est plus forte, la viscosité plus faible et la température plus basse.

- **Point d'écoulement** : Suffisamment refroidies, toutes les huiles minérales s'épaississent jusqu'à prendre l'apparence de solides plus ou moins rigides. Il ne s'agit pas d'une congélation,

laquelle n'a de sens que pour un corps pur passant de l'état liquide à l'état solide à température constante : on le sait, les huiles de graissage sont des mélanges.

En fait, les hydrocarbures paraffiniques les plus lourds flocculent les premiers en donnant à l'huile un aspect trouble. La multiplication des cristaux se poursuivant, ces derniers finissent par s'agglomérer en un réseau enfermant les fractions encore liquides.

Une norme précise la procédure complexe qui permet de déterminer la température à laquelle une huile cesse de couler et de se laisser pomper dans un circuit de graissage. Il est difficile d'obtenir une grande précision et la norme admet un écart de reproductibilité de 6 °C.

En pratique, la notion de point d'écoulement est très insuffisante pour évaluer les performances d'une huile à froid, il vaut mieux définir et mesurer la viscosité au-delà de laquelle le pompage est impossible. Le viscosimètre Brookfield mesure à cet effet le couple résistant d'une palette tournant dans l'huile.

6.2 Propriétés chimiques :

- **Point d'éclair** : Température à laquelle il faut chauffer un liquide combustible pour qu'il émane suffisamment de gaz pour former, avec l'air, un mélange momentanément inflammable pour qu'il prenne feu quand on en approche une petite flamme dans des conditions données (méthode D 92 de l'ASTM)

- **Température d'auto-inflammation** : C'est la température à partir de laquelle se produit une oxydation spontanée dans l'air (environ 400 °C). Cette température est nettement supérieure à celle du point d'éclair.

- **Teneur en soufre** : Il n'y a normalement plus de soufre libre dans les lubrifiants après le raffinage, mais on en trouve souvent à l'état combiné dans des composés tels les mercaptans. On ajoute parfois du « soufre actif » sous forme d'additifs améliorant les propriétés anti-soudure ou anti-grippage. Si l'huile se décompose, et selon que l'on se trouve en milieu réducteur ou oxydant, on peut assister à un dégagement toujours malvenu de sulfure d'hydrogène ou de dioxyde de soufre.

- **Teneur en eau** : L'eau est l'un des principaux ennemis des lubrifiants. Dans les environnements humides, lorsqu'un lubrifiant reçoit de l'eau directement ou par condensation de vapeur, ses performances sont en général fortement diminuées. La sensibilité à l'eau est

très variable selon le produit utilisé, relativement faible pour les glycols, beaucoup plus élevée pour les oléfines. Une teneur en eau trop élevée est un sérieux signal d'alerte avant une prochaine défaillance du mécanisme concerné.

7 Rôle des lubrifiants :

Les lubrifiants ont plusieurs fonctions principales :

- Réduire les frottements dans les machines et par conséquent économise l'énergie, l'énergie de frottement étant intégralement dissipée en chaleur. La réduction du coefficient de frottement entraîne la diminution des températures de fonctionnement des mécanismes.
- Combattre l'usure des surfaces frottements sous toutes ses formes et les protéger contre la corrosion et la rouille.
- Refroidir les machines en évacuant la chaleur produite dans le contact.
- Contribuer à l'étanchéité aux gaz, aux liquides et aux contaminants solides.
- Garder propre les surfaces et les circuits en évacuant les produits indésirables (poussières, débris d'usure, ...).
- Transmettre l'énergie dans les systèmes hydrauliques.
- Absorber les chocs et réduire le bruit.
- Contrôler l'oxydation pour prévenir des changements de viscosité.

Dans ce mémoire, nous nous intéressons aux huiles et graisses qui sont largement utilisés dans le graissage des composants des machines tournantes, tels que les paliers, les butées à film d'huile, les roulements et les engrenages.

8 Mode de lubrification :

8.1 Par barbotage :

Dans ce mode de graissage, plutôt élémentaire, la bielle vient effleurer la surface de l'huile contenue dans le carter et la projette, éclaboussant ainsi toutes les parties à graisser.

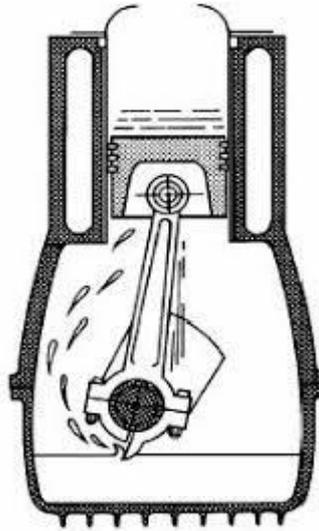


Figure 22 : lubrification par barbotage

8.2 Lubrification ordinaire sous pression :

L'huile provenant de la rampe principale de graissage est dirigée par des canaux vers les paliers de vilebrequin. Les rainures des coussinets et un canal oblique permettent le graissage sous pression des têtes de bielle. L'huile retombe dans le carter inférieur à partir des manetons et des tourillons du vilebrequin.

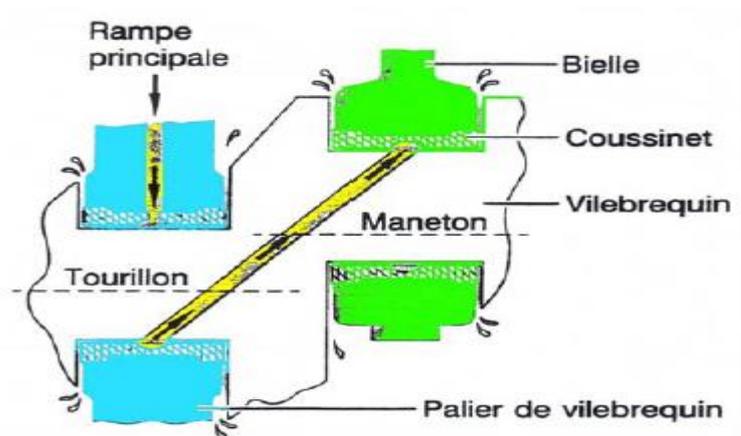


Figure 23 : lubrification sous pression

8.3 Lubrification intégrale :

C'est l'équivalent d'un graissage ordinaire, mais en plus, l'axe de piston est graissé sous pression grâce à un perçage pratiqué dans le corps de bielle.

8.4 Lubrification par projection :

L'huile sous pression s'échappant des manetons est projetée le long des parois de la chemise. Elle assure ainsi le graissage entre le piston et la chemise, ainsi que l'axe de piston.

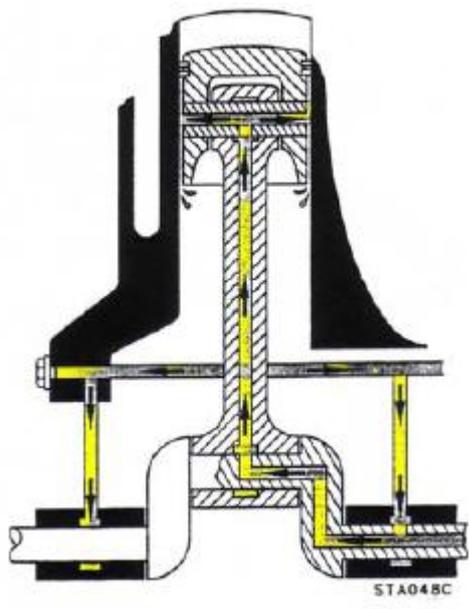


Figure 24 : Lubrification par projection

9 Les graisses :

Les graisses permettent un frottement onctueux ou un frottement mixte. Du fait de leur consistance, elles sont stables au repos et se comportent comme un solide. En service, sous l'action des charges, elles réagissent comme un liquide : la fluidité augmente et se rapproche de celle de l'huile de base.



Figure 25 : Le graissage

- **Fabrication :** elles sont obtenues par dispersion d'agents épaississants (savons⁴ métalliques déterminant les propriétés physiques : consistance, etc.) dans une «huile» avec ou sans additifs représentant 85 à 97 % de la masse totale. Le graphite, le bisulfure de molybdène, les colorants et les charges (talc...) sont les additifs les plus courants.

9.1 Propriétés des graisses

- **Consistance :** c'est la propriété principale. Elle exprime la résistance à la déformation de la graisse. Etroitement liée à l'adhérence et à l'onctuosité, elle diminue lorsque la température augmente (comportement du beurre).
- **Point de goutte :** il caractérise la tenue de la graisse à la chaleur en précisant la température de début de liquéfaction.
- **Point de solidification :** il indique la température de début de solidification de la graisse.
- **Autres propriétés :** résistance au cisaillement, qualité extrême pression, filmorésistance, acidité...

9.2 Types de graisses :

- **Graisses à savons :**

- **De lithium** : Qui constituent l'essentiel des graisses à roulements et des graisses multifonctionnelles pour l'automobile, à cause notamment de leur très bonne résistance au cisaillement.
- **De calcium** : Pour des applications à plus hautes températures, moins performantes que les graisses au lithium, elles présentent cependant l'avantage d'un excellent comportement en présence d'eau.
- **D'aluminium** : Ne conviennent pas pour la lubrification des roulements, néanmoins, on peut les trouver dans les pivots, articulations, engrenages, grâce à leur qualité d'adhérence et de tenue à l'eau.
- **De sodium** : Qui ne sont guère utilisées à cause de leur sensibilité à l'eau.
- **Savons métalliques** : Obtenus par réaction d'un acide gras sur un mélange de deux bases pratiquement toujours les hydroxydes de calcium, et de lithium, assez bonne résistance au cisaillement mécanique, bonne tenue à l'eau, température maximale d'utilisation intermédiaire.

- **Graisses sans savons:**

On distingue trois catégories (types):

- Graisse à base de silico-aluminates (argiles).
- graisse à base de polyurées aromatiques.
- graisse à base de silice colloïdale (gel de silice).

9.3 Classification :

Le grade NLGI (Nationale Lubricant Grease Institute) est la classification la plus usuelle.

Dureté NLGI	Applications
0	graisse très liquide qui coule facilement.
1	réservé aux systèmes de lubrification centraux à basse température ($< 30^{\circ}\text{C}$, NLGI 1).
2	usage le plus courant, roulements scellés et lubrifiés à vie.
3	même que NLGI 2, mais pour des températures plus élevées.
4	applications spéciales à température élevée.

Tableau 1 : Classification NLGI des graisses et leurs applications.

Chapitre III

**Choix du lubrifiant d'une
réducteur de vitesse**

1 Introduction :

L'action mécanique détaillée des engrenages, même des plus simples types, est très compliqué; une compréhension complète de ce qui se passe aux contacts entre les dents n'est pas encore été atteint. Plus d'une période de plusieurs années beaucoup de travaux expérimentaux et théoriques ont été signalé sur tous les aspects du fonctionnement des engins, y compris la lubrification. Historiquement, l'intérêt pour le mécanisme de lubrification des engrenages était responsable de la génération du champ de l'activité. La géométrie locale et vitesses de surface au contact entre les dents des engrenages cylindriques à développante en tout point du maillage Le cycle peut être représenté par le contact entre deux cylindres. Ces cylindres ont des rayons égaux à la développante locale, rayons de courbure et rotation aux vitesses des roues dentées, comme est illustré sur la Fig. 26. L'analogie approximative est complétée par le chargement les cylindres ensemble sous une charge égale à la charge dentaire agissant dans le sens de la tangente commune aux cercles de base. Les épaisseurs de film à calculer ci-dessous sont basées sur cette énoncé, l'analogie avec deux cylindres; la contribution de tout normal action d'approche résultant des changements d'épaisseur de film. Il est clair que les rayons des cylindres équivalents varient le cycle de maillage, et le contact portera également une charge variable raison du partage de la charge entre les paires de dents successives. L'effet de ces changements géométriques sur l'épaisseur du film sera examiné en détail, mais la charge de contact sera supposée être constante; cette hypothèse en soi ne fera pas grand-chose pour invalider l'analyse en raison de l'effet insignifiant de la charge sur l'épaisseur du film. Une épaisseur de film représentative pour le cycle de maillage est le pas valeur en points et cela sera donné pour un large éventail de fonctionnement conditions.

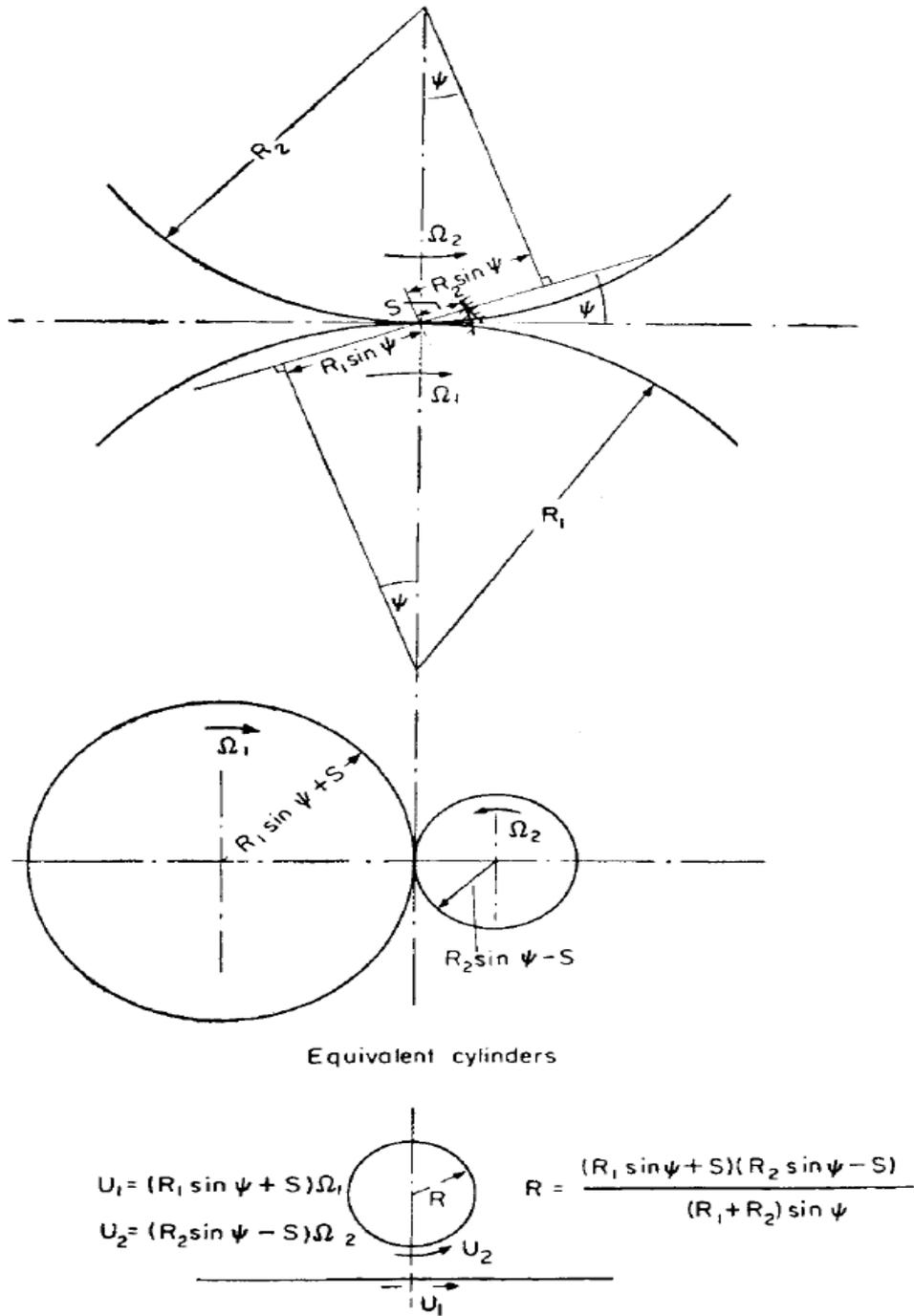


Figure 26 : Cylindres équivalents pour engrenages à développante

En se référant maintenant à la figure 26, la distance centrale de l'engrenage roues est

$$l = R_1 + R_2 \quad (1)$$

Le rapport de réduction est

$$R_g = \frac{N_2}{N_1} = \frac{R_1}{R_2} \quad (2)$$

Où N_1 et N_2 sont les vitesses des roues dentées en tr / min.

$$R_1 = \frac{R_g l}{R_g + 1} \quad R_2 = \frac{l}{R_g + 1} \quad (3)$$

La distance centrale des cylindres équivalents est constante et égal à $(R_1 + R_2) \sin \psi$, où ψ est l'angle de pression des engrenages. Cependant, les rayons des cylindres varient selon les emplacements du contact dentaire sur la ligne d'action, indiqué par s .

Les vitesses à travers la zone de contact des deux surfaces son

$$u_1 = \frac{\pi N_1}{30} (R_1 \sin \psi + s) \quad (4)$$

$$u_2 = \frac{\pi N_2}{30} (R_1 \sin \psi - s) \quad (5)$$

La vitesse d'entraînement est $u = (u_1 + u_2)/2$ et ainsi

$$u = \frac{\pi N_1}{30} (R_1 \sin \psi - s/2(R_g - 1)) \quad (6)$$

2 Sélection du lubrifiant d'un réducteur :

La sélection d'une huile pour engrenages dépend de plusieurs facteurs, notamment la vitesse et la charge de fonctionnement de l'unité, les températures ambiantes et les lubrifiants disponibles sur le site d'exploitation. Le paramètre le plus important dans le choix d'un lubrifiant est la viscosité. Les unités à grande vitesse nécessitent moins d'huile visqueuse que les engrenages fonctionnant à basse vitesse. À grande vitesse, un film d'huile acceptable est généré au contact des dents, même avec une huile à faible viscosité. De plus, le barattage qui se produit à haute vitesse sera moins sévère avec une huile à faible viscosité, ce qui entraînera des pertes de puissance plus faibles. À des vitesses de fonctionnement inférieures, un film d'huile plus mince est généré et des huiles plus visqueuses sont nécessaires pour séparer les surfaces en contact. De plus, les engrenages à basse vitesse sont chargés à des niveaux supérieurs. Souvent, un réducteur contient à la fois des maillages d'engrenages à vitesse élevée et faible. Dans ce cas, un compromis doit être trouvé et un certain développement peut être nécessaire. La norme AGMA 250.04 définit une série d'huiles par viscosité. Chaque grade reçoit un numéro de lubrifiant de l'American Gear Manufacturers Association (AGMA).

Comme la Society of Automotive Engineers (SAE) et l'American Petroleum Institute (API). L'introduction de la classification des lubrifiants pour trains d'engrenages, en fonction uniquement de leur viscosité, a permis aux clients et aux fournisseurs d'avoir un aperçu unique des propriétés des lubrifiants. L'AGMA a proposé des indices numériques de un à neuf comme repères numériques pour les lubrifiants pour engrenages industriels. Chaque nombre correspond à une certaine valeur de viscosité cinématique. La spécification selon les normes AGMA est complétée à la fois par la désignation d'additifs ajoutés aux lubrifiants et par le rapport quantitatif. Dans la spécification des lubrifiants pour engrenages, il est indiqué qu'ils doivent être de haute qualité, correctement nettoyés, ne pas provoquer de corrosion des engrenages et des roulements, être chimiquement neutres, thermostables, ne pas bouillonner et ne doivent pas contenir de sable ou d'autres matériaux abrasifs. Les lubrifiants marqués de 1 à 6 pour une utilisation dans des circonstances ordinaires doivent avoir un indice de viscosité d'au moins 30 et, si la température de travail dépasse 45 °C, alors au moins 60; pour les étiquettes de lubrifiant 7k, 8k et 8Ak, l'indice de viscosité doit être supérieur à 90.

La SAE a adopté les numéros de classification des lubrifiants pour les transmissions de lubrification des trains d'engrenages automobiles SAE 75, 80, 90, 140 et 250.(voir l'annexe 2)

2.1 SÉLECTION DE VISCOSITÉ LUBRIFIANTE :

En général, il faut choisir l'huile à viscosité la plus faible suffisante pour former un film d'huile adéquat dans toutes les conditions de fonctionnement. La viscosité associée à chaque numéro est présentée dans l'annexe 1. En pratique, la sélection du lubrifiant est généralement un compromis entre les exigences des divers composants mouillés à l'huile tels que les engrenages et les roulements et les exigences particulières de l'application.

Il existe plusieurs méthodes pour déterminer la viscosité :

2.1.1 Première méthode :

a) Déterminer la vitesse de la ligne primitive (plv) :

La vitesse de la ligne primitive est mesurée sur la ligne primitive de l'engrenage, qui est à mi-chemin le long de la denture de l'engrenage. Pour les engrenages circulaires, la ligne de tangage est plus correctement appelée cercle de tangage, qui est un cercle imaginaire qui roule sans glisser lorsqu'il est aligné avec le cercle de tangage de l'engrenage d'accouplement.

La vitesse de la ligne primitive est fonction du diamètre primitif de l'engrenage et de sa vitesse de rotation:

$$V(plv) = \frac{\pi d_p \omega}{60} \quad (7)$$

Où:

- $V(PLV)$ = vitesse de la ligne primitive (m / s)
- d_p = diamètre primitif (m)
- ω = vitesse de rotation (tr / min)

b) Déterminer la viscosité d'après le graphe :

Après avoir calculé la vitesse de la ligne primitive, on extrait la viscosité à partir de la courbe spécifique selon des critères de l'AMGA (figure 27).

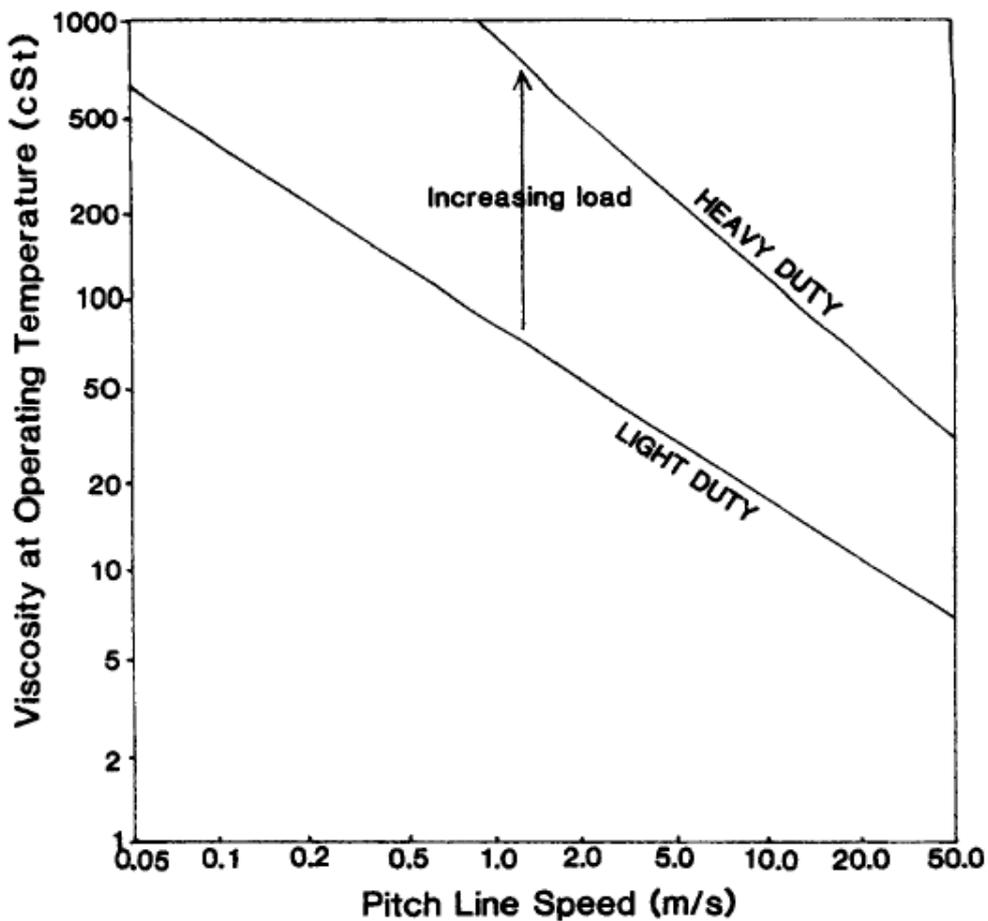


Figure 27 : sélection de la viscosité des engrenages

- Après avoir trouvé la viscosité, il est possible de connaître le type d'huile que nous utilisons dans le réducteur en comparant la viscosité avec les ratios des classifications normalisés de l'ISO (tableau 2)

<i>ISO viscosity grade</i>	<i>Mid-point kinematic viscosity (mm²/s) at 40 °C</i>	<i>Kinematic viscosity limits (mm²/s) at 40 °C</i>	
		<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>
ISO VG 2	2.2	1.98	2.42
ISO VG 3	3.2	2.88	3.52
ISO VG 5	4.6	4.14	5.06
ISO VG 7	6.8	6.12	7.48
ISO VG 10	10	9.00	11.00
ISO VG 15	15	13.5	16.5
ISO VG 22	22	19.8	24.2
ISO VG 32	32	28.8	35.2
ISO VG 46	46	41.4	50.6
ISO VG 68	68	61.2	74.8
ISO VG 100	100	90.0	110
ISO VG 150	150	135	165
ISO VG 220	220	198	242
ISO VG 320	320	288	352
ISO VG 460	460	414	506
ISO VG 680	680	612	748
ISO VG 1000	1000	900	1100
ISO VG 1500	1500	1350	1650
ISO VG 2200	2200	1980	2420
ISO VG 3200	3200	2880	3520

Tableau 2 : Classification de viscosité ISO.

2.1.2 Deuxième méthode : (méthode pratique)

a) Déterminer la viscosité :

Pour sélectionner le grade de viscosité on utilise l'équation suivante :

$$v_{40} = \frac{7000}{\sqrt{V(plv)}} \quad (8)$$

v_{40} : viscosité cinématique à 40 ° C. cSt

V (plv) : vitesse de la ligne primitive par (fpm)

$$V(plv) = 0.262 \times \text{vitesse de rotation (tr/min)} \times \text{diamètre primitive du pignon (pouces)}$$

- Après avoir trouvé la viscosité, il est possible de connaître le type d'huile que nous utilisons dans le réducteur en comparant la viscosité avec les ratios des classifications normalisés.
- Le type d'huile choisi sera selon les exigences d'environnement, les conditions de service, donc l'huile synthétique aura une longue durée de vie qu'une autre minérale.

Choix d'un système de lubrification :

Comme nous avons vu dans le chapitre II, il existe plusieurs modes de lubrification, donc selon la viscosité déterminée, et suivant autres paramètres à calculer comme la quantité de chaleur évacuée, la quantité d'huile nécessaire pour assurer la fonction de lubrification,...etc

Exemple d'application :

Pour déterminer le type d'huile d'un réducteur de vitesse, on va prendre le réducteur à roue et vis sans fin [A] dont les caractéristiques sont :

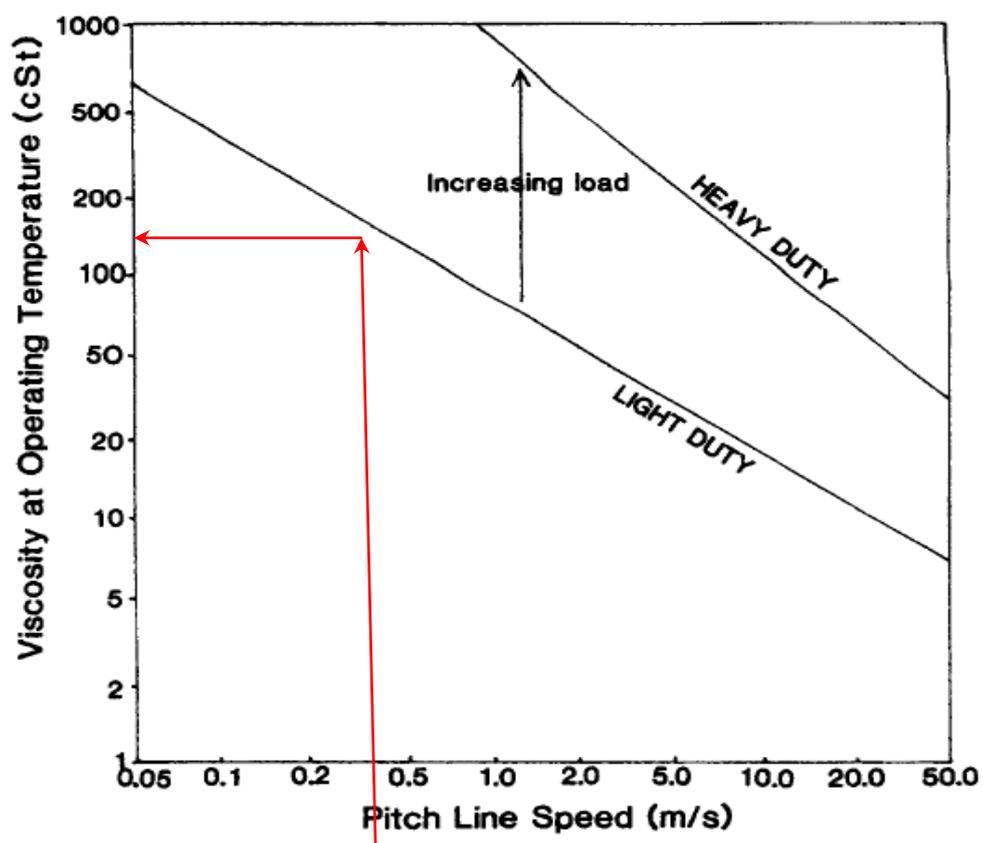
dp de la roue : 202 mm

Vitesse de rotation $n = 39$ tr/min

On va prendre la première méthode, ou on calcule la vitesse primitive (PLV) selon la formule (7)

$$V(plv) = \frac{\pi d_p \omega}{60} = \frac{3.14 \times 0.202 \times 39}{60} = 0,41 \text{ m/s}$$

Et selon le graphe de l'AGMA de la fig 27.



Donc on trouve une viscosité d'environ 180 Cts.

Le choix de cette huile selon cette méthode semble raisonnable, vu l'utilisation de cette valeur de viscosité dans ce type de réducteur.

Aussi le système de lubrification adopté est un système à barbotage.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le travail réalisé est une approche de détermination d'une huile de lubrification des réducteurs de vitesses, ainsi que le système choisi. Cette approche dépend de plusieurs paramètres, tels que la viscosité (cinématique) recherchée, la vitesse circonférentielle entre contact des dentures,...etc. nous avons étudié deux types d'engrènement, le premier est un réducteur à engrenage à dentures droites cylindriques, et l'autre à engrenage de type roue et vis sans fin. La viscosité cinématique du premier cas a une valeur inférieure à celle du deuxième cas, cela est dû aux effets de frottement engendrés par ce type d'engrènement.

Un exemple de détermination du type d'huile est étudié, il s'agit d'un réducteur à roue et vis sans fin, après calcul on a trouvé que la viscosité recherchée semble appropriée par rapport à la viscosité utilisée dans ce type de réducteur industriel. Le système de lubrification adopté est le système par barbotage, où l'huile est rejetée sur toute la circonférence de la couronne de la roue dentée, et par conséquent la lubrification de la vis ainsi que les roulements.

En perspective, il sera intéressant de poursuivre cette recherche en étudiant l'influence des additifs, sur la longévité de l'huile.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

Réf [A] : D. GUENOUNA, E.BOUTELDJA. Etude d'un réducteur de vitesse pour convoyeur à sel. Thèse de master. Université de Mostaganem 2019.

Réf [B] : A.R. Lansdown - Lubrication and Lubricant Selection_ A Practical Guide (Tips) (2003).

Réf [C] : (SYSTEME DE LUBRIFICATION) Lynwander, Peter - Gear drive systems_ design and application-CRC Press (2019).

Réf [D] : (International series on materials science and technology _ v. 23) (Volume 23) D. Dowson, D. W. Hopkins, G. R. Higginson - Elasto-Hydrodynamic Lubrication.

Réf [E] : (SYSTEME DE LUBRIFICATION) Lynwander, Peter - Gear drive systems_ design and application-CRC Press (2019).

Réf [F] : Transmission de puissance mécanique : engrenages et liens souples (Réf. Internet 42182)

Réf [G] : Contribution à la mise en place d'une démarche pour le suivi de la qualité des huiles lubrifiantes en service *BOUZERKOUNE Nadjat et LAZIZI Khadidja*.

Réf [H] : visiter les sites :

<https://www.motioncontroltips.com/pitch-line-velocity/>

<https://www.machinerylubrication.com/Read/707/enclosed-gear-drives>

<http://www.servotechnica.ru/>

