



UNIVERSITE BADJI MOKHTAR - ANNABA
FACULTÉ DES SCIENCES DE L'INGÉNIEUR
Département de Génie Mécanique



MEMOIRE

Présenté en vue l'obtention du diplôme de Master

INTITULE :

**ETUDE FIABILISTE DES ENGRENAGES ADENTURE
HELICOIDAL D'UNE BOITE DE VITESSES : ZF S5- 42
AU NIVEAU DE : SNVI- ANNABA**

Domaine :SCIENCES ET TECHNOLOGIES

Filière:GENIE MECANIQUE

Spécialité :MAINTENANCE INDUSTRIELLE ET FIABILITE MECANIQUE

Présentée par :ABBACI NOUR EL HOUDA

Directeur du mémoire :BOURENANE.J MCB

DEVANT LE JURY

PRESIDENT : -KHELIF R. Pr UBM Annaba

EXAMINATEURS : -BOURENANE. J MCA UBM Annaba

 -BOUTECHICHE.S MCB UBM Annaba

 -MERABTINE .A MCB UBM Annaba

 -OMRI. M/S MAA UBM Annaba

Année: 2015-2016

Remerciements

C'est un plaisir de remercier mon encadreur

Mr. J/Bourenane, Pour le choix de ce sujet, pour ses précieux conseils et pour toute l'aide qu'il m'a apportée tout au long de ce travail.

Je remercie :

A Mr. R/Khelif le président.

Aux membres du jury qui ont acceptés de bien vouloir juger ce travail

Notre gratitude va à tous les enseignants du département de génie mécanique d'Annabaet en particulier les enseignants de la mécanique en cette promotion.

A Mr. Maifi, pour ces précieux conseils et ses efforts

Je remercie le directeur de l'unité Mr. Zaidi el Hadi, qui m'a permis d'effectuer mon stage de fin d'étude au sein de l'unité SNVI-URD 801. ANNABA.

-Je tiens aussi à remercier notre maître de stage le chef bureau technique : Mr. Boulanouar Mohamed Saleh et

Mr. Smaili el hadj.

Je remercie également tout le personnel du département de génie mécanique.

Nour el houda

Dédicace

Je dédie ce travail avec grand amour et sincérité :

***A** l'homme de ma vie mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir à toi **mon père**.*

***A** la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur à toi **ma mère**.*

***A** mon grand-père ; **Boudjemaa**, que dieu leur procure bonne santé et longue vie.*

***A** ma chère sœur **Maïssa** et mon chère unique frère **Ala**
Et toute ma famille.*

***A** mes amies proches ; **Mouna, Soumaya, Zakí, Yacine, Khairo, Houssemet** tous mes amies.*

***A** tous les membres de ma promotion.*

***A** tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible, je vous dis merci.*

***A** tous mes enseignants depuis mes premières années d'études.*

Nour el houda

SOMMAIRE

Résumé

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction générale

Chapitre I : Etude bibliographique

a- Présentation de l'entreprise	1
I-a-1. Historique	1
I-a-2. Situation géographique	1
I.a.2.1. Position	1
I.a.2.2. Prise de vue Aérienne	2
I-a-3. Missions et capacité théorique	2
I-a-4. Objectif	3
I-a-5. Distribution et maintenance	3
I-a-6. Organigramme de l'unité	
4I-a-7. Description générale	7
I.a.7.1. Bâtiment Atelier Général	7
I.a.7.2. Bâtiments Atelier Spécialisées	8
I.a.7.3. Bâtiments utilité (Carrosserie/Peinture)	8
I.a.7.4. Bâtiment Pièce de Rechange	9
b-Généralités sur la maintenance	10
I-b-1 Introduction	10
I-b-2 Définition de la maintenance	10
I-b-3 Les types de maintenance	12
➤ La Maintenance préventive	12
➤ MN conditionnelle	13
➤ MN Systématique	13
➤ MN Prévisionnelle	13

➤ Maintenance corrective	14
I-b-4. Les cinq niveaux de maintenance	15
I-b-5. Les fonctions du service maintenance	15
I-b-6. Politique de Maintenance	16
I-b-8. Maintenance et Performances	17
I-b-9. Outils d'analyse des défaillances	18
➤ Graphe de Pareto ou Méthode ABC	18
➤ Diagramme CAUSES-EFFET (ISHIKAWA)	18
C-concept FMD	20
I-c-1. Notion De Fiabilité	20
I-c-2. Maintenabilité	22
I-c-3. Disponibilité	23
I-c-4. Sécurité	24
I-c-5. Qualité	25

Chapitre II : Théorie générale sur les engrenages

II-1- Introduction	26
II-2- Théorie générale sur les engrenages	26
II-2-1 Bref historique	26
II-2-2 Définitions Géométriques	26
II-2-3 Les types d'engrenage	27
II-2-4 Les principaux avantages et les inconvénients des mécanismes à roues dentée	
II-2-5 Le rapport de vitesse	30
II-2-6 Géométrie Des Engrenages	30
II-3- Les engrenages cylindriques à denture hélicoïdale à axes parallèles	31
II-3-1 Fonctionnement des engrenages	32
II-3-2 Caractéristiques des dentures	33
II-3-3 Définitions cinématiques	33
II-3-4 Caractéristiques Géométriques De La Roue Dentée	34
II-3-5 Engrènement	36
• Rapport de transmission	36
• Angle de pression apparent	36
• Rapport de conduite	36
• Etude des forces	37
II-3-6 Vérification de la résistance de la racine de la dent (Denture hélicoïdale)	38
II-3-7 Vérification de la résistance des flancs	40
II-3-8 Compléments concernant la fabrication des engrenages	41
II-3-9 Résistance des engrenages	41
II-3-9-1 Choix des matériaux	41

II-4- LES LUBRIFIANTS	44
II-4-1 Types de lubrification	44
II-4-2Lubrification des engrenages	44
II-4-3 Type du système de lubrification	45
II-4-3-1 Lubrification à l'huile	45
• Lubrification par bain d'huile (par barbotage)	45
• Lubrification par bain et ruissellement (barbotage et projection)	45
• Lubrification par circulation d'huile	46
• Lubrification par brouillard d'huile ou air –huile	47
II-4-3-2 Lubrification à la graisse	47
II-4-3-3 Lubrification solides	47
II-4-4 Avantages et inconvénients des principaux modes de lubrification pour l'engrenage	
II-5- Les Principaux types d'avaries dans les engrenages	48

Chapitre III : Etude de l'art d'une BV ZF S5- 42

III-1- Généralités sur la boîte à vitesse	50
• Définition de la boîte vitesse	50
• Rôle de la boîte de vitesse	50
• Emplacement de la boîte de vitesse	50
• Constitution de la boîte de vitesse	50
III-2- Définition de boîte à vitesse BV ZF -S5-42	50
• Description de la boîte de vitesse et fonctionnement	50
• Nomenclatures de la boîte de vitesse	52
• Huile pour boîtes de vitesse	56
• Principe de fonctionnement d'une boîte de vitesse	56
• Le système de lubrification	57
• Les défaillances de notre cas	58

Chapitre IV : Etude FMD de la boîte à vitesse ZF S5 -42

IV-1-Introduction	59
IV-2- Historique des pannes (boîte à vitesse ZF S5-42) type de véhicule K66	59
IV-3- Application pratique des Méthodes d'analyse	60
IV-3-1 Méthode d'analyse prévisionnelle(ABC)	60
IV-3-2 La courbe d'analyse ABC	60
IV- 4- La fiabilité	62
IV-4-1 Test Kolmogorov –Smirnov	63
IV-4-2 Diagramme de weibüll	65
IV-4-3 Exploitation des paramètres de weibüll	66
IV-4-4 étude de modèle de weibüll	67
IV-4-5 La représentation graphique des fonctions obtenues	68

IV-5-La maintenabilité		72
IV-6- La Disponibilité		73
IV-7- Analyse des résultats	74	IV-
8- Diagramme d'Ichikawa	74	
IV-9- Conclusion		75

Chapitre V : résultat et discussion

V-1- Introduction		76
V-2-Définition de <i>KISSsoft</i>		76
V-3-Calcul d'une paire de roues cylindriques à denture hélicoïdale		76 a-
Géométrie de dent	76	
b- Matériau		76
c- Dureté de la surface		77
d- Lubrification		77
e- Calcul de transmission		78
V-4- Facteurs d'influence		78
V-5-résistance à la racine de dent		79
a- Charge limite du pied	79	
b- Contrainte de pied de dent admissible de la roue dentée	79	
V-6- Résistance au flanc de dent		80
a- Sécurité des flancs		80
b- Résistance au grippage		80
V-7- Critère de la température éclair		81
V-8- Tolérances des dentures		81
V-9- Données complémentaires		82
V-10-Analyse de contact (Engrènement roue 1 – roue2)		83
• Distribution de charges		83
V-11-Conclusion		89
<i>Conclusion générale</i>	90	
<i>Annexe(s)</i>		
<i>Bibliographie</i>		

Liste des Tableaux

TabI-1 :L'analogie de l'homme et de la machine.	11
TabI-2 :les fonctions de la maintenance.	15
TabII-1 : Classification générale des roues dentées et engrenages.	29
TabII-2 : les valeurs normalisées du module (m).	35
TabII-3 : les caractéristiques géométriques de la roue dentée.	36
TabII-4 : Instructions pour le choix des matériaux pour les engrenages cylindrique.	42
TabII-5 : Caractéristiques mécaniques des matériaux pour les engrenages cylindriques et Coniques (les valeurs sont données pour une rugosité $R_t = 3 \dots 6 \mu\text{m}$).	43
TabII-6 : Avantages/ inconvénients des modes de lubrification pour engrenages.	48
TabIII-1 : Table de nomenclature (arbre de commande).	52
Tab III-2 :Table de nomenclature (Arbre principal avant).	53
Tab III-3 :Table de nomenclature (arbre principal arrière).	54
Tab III-4 :Table de nomenclature (arbre Intermédiaire).	55
Tab III-5 : Des contenances des huiles préconisées selon SNVI.	56
Tab IV-2 : Historique des pannes de la boîte de vitesses.	59
TabIV-13 : L'analyse ABC.	60
Tab IV-14 : Fonction de répartition réelle $F(t_i)$ en %.	62
Tab IV-15 : Ecart entre les fonctions de répartition réelle et théorique.	63
Tab IV-16 : calcul les fonctions ($R(t)$, $\lambda(t)$, $f(t)$, $F(t)$).	67
TabV-1 :géométrie de dent et matériau.	76
Tab V-2 : Dureté de la surface.	77
Tab V-3 : Calcul de transmission.	78
TabV- 4 : facteurs d'influence.	78
Tab V-5 :Charge limite du pied.	79
Tab V-6 : Contrainte de pied de dent admissible.	79
Tab V-7 : Sécurité des flancs.	80
Tab V-8 : Résistance au grippage	80
Tab V-9 : Critère de la température éclair	81
Tab V-10 : Tolérances des dentures	81
Tab V-11 : Données complémentaires	82

Liste des figures

FigI-1 :Représente la vue Aérienne de l'entreprise.	2
FigI-2 :L'organigramme de l'unité SNVI.	4
FigI-3 :Fiche d'un rapport technique(RT).	6
FigI-4 : Les différents types de Maintenance.	12
FigI-5 : La politique de maintenance.	17
FigI-6 : Diagramme d'Ichikawa.	19
FigI-7 : La sûreté de fonctionnement SDF.	25
FigII-1 : Nomination des éléments d'engrenages.	27
Fig II-2 :Les principales familles d'engrenages.	28
FigII-3 : Denture hélicoïdale.	32
FigII-4 : Schéma cinématique (selon la norme NF EN ISO 3952-2).	32
FigII-5 :Représente la forme des dentures d'une roue hélicoïdale.	33
FigII-6 :Recouvrement d'une denture hélicoïdale.	35
FigII-7 :Forces agissants dans une roue cylindrique à denture hélicoïdale.	38
FigII-8 :Dents en prise lors de l'engrènement.	39
FigII-9 :Détermination du facteur auxiliaire q_L pour la détermination du facteur de conduite Y_ε et facteur de répartition de charge Z_ε .	39
FigII-10 : Détermination du facteur de forme de dent pour le calcul de la résistance de la racine de la dent.	40
FigII-11 : lubrification par bain d'huile (barbotage).	45
FigII-12 :Lubrification par bain et ruissellement (barbotage et projection).	46
FigII-13 :Lubrification par circulation d'huile.	46
FigII-14 :Lubrification par brouillard d'huile.	47
FigII-15 :Principaux types d'avaries dans les engrenages.	49
FigIII-1 :La boîte à vitesse ZF S5-42.	51
FigIII-2 : Version à vitesse surmultipliée (BV : S5-42).	51
FigIII-3 : Arbre de commande.	52
FigIII-4 : Arbre principal avant.	53
FigIII-5 : Arbre principal arrière.	54
FigIII-6 : Arbre Intermédiaire.	55
FigIII-7 :L'ensemble de BV.	56
FigIII-8 : Lubrification par bain d'huile, projections et ruissellement.	57
FigIII-9 : Les différentes défaillances sur les dents.	58
FigIV-1 :Courbe ABC.	60
FigIV-2 : PAPIER WEIBULL.	61
FigIV-3 : Fonction de fiabilité.	68
FigIV-4 :Fonction de répartition.	69
FigIV-5 : Fonction de taux de défaillance.	70
FigIV-6 :Fonction de densité de probabilité.	71
FigIV-7 : Courbe de la maintenabilité.	72
FigIV-8 : Courbe de la disponibilité.	73
FigIV-9 : Diagramme d'Ichikawa de la boîte à vitesse.	74

FigIV-10 : Arrachement totale au niveau de pignon de 4^{ème} vitesse.

FigV-1 : Ligne d'action.

2 : Erreur de transmission.

Courbe de la force normale (Charge linéaire).

4 : Répartition de contraintes.

5 : La puissance dissipée en w/mm.

lubrifiant (ISO TR 15144).

d'ensemble.

8 : Accélération chemin de rotation.

Répartition normale de la force (Charge linéaire).

couple.

75

83FigV-

83FigV-3 :

84FigV-

85 FigV-

85FigV-6: Film

86FigV-7 : Aperçu

87FigV-

87FigV-9 :

88FigV-10 : Evolution du

88

Résumé

Les engrenages peuvent prendre diverses formes, ils sont utilisés dans tous les secteurs de l'industrie surtout dans notre cas ils constituent les boîtes de vitesses des véhicules servant au transport. Ce sont des éléments mécaniques très complexes à dimensionner et à réaliser, qui présentent des différents défauts limitant leur durée de vie. A ce point-là on va faire des études basées sur le calcul, l'étude de matériaux aussi la lubrification pour éviter la panne de l'équipement.

D'où la définition de notre thème « étude de fiabilité des engrenages à denture hélicoïdale d'une BV S5-42 » dans le but de prévenir et de maintenir de meilleures conditions de fonctionnement et ainsi la sécurité en phase d'exploitation de ces équipements.

Nous avons commencé par une analyse bibliographique sur la maintenance et les concepts FMD. Ensuite une étude théorique sur les engrenages, après nous avons identifié notre boîte de vitesses et nous avons procédé à un calcul de fiabilité en exploitation des paramètres. Les résultats obtenus montrent que la fiabilité est très faible (très en dessous de la moyenne). Cette étude a pour but de localiser les organes les plus défaillants et de proposer des solutions adéquates pour améliorer la performance de notre équipement.

Le dernier chapitre, nous avons étudié le dimensionnement géométrique et l'état de chargement de train d'engrenage de 4^{ème} vitesse, nous avons entamé une étude de vérification à l'aide de logicielle KISSsoft.

Afin de bien choisir le lubrifiant adéquat : ISO-VG 220 à base minérale pour assurer une bonne continuité d'engrènement & de protéger nos éléments de transmissions contre les phénomènes de dégradation cités au chapitre II.

Les résultats obtenus sont bien jugés que notre choix est approprié par rapport au choix donné par les utilisateurs des boîtes de vitesses équipées par la boîte de vitesse ZF S5-42.

Le travail est suivi d'une conclusion générale avec quelques recommandations, des références bibliographiques et annexes sont présentées à la fin pour mieux élucider ce modeste travail.

Mots clés : Maintenance, Engrenage, Pignon, Usure, Boîte de vitesses, Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité.

S'exposant à des efforts importants, les engrenages ne sont pas pour autant inépuisables, ils ont un problème inhérent aux contacts de frottement qui génère des bruits, usures et qui se traduit par la suite par des ruptures ils sont soumis à des efforts de flexion, compression.. Qui avec répétition, altèrent leur efficacité et génèrent des fissures. Il devient essentiel de bien maîtriser leur comportement sous l'effet de charges plus ou moins élevées afin d'éviter les bris inattendus aux conséquences désastreuses

Introduction générale

Les engrenages sont des composants mécaniques essentiels. Ils font partie des systèmes de transmission de mouvement et de puissance les plus utilisés, les plus résistants et les plus durables.

Ils sont normalisés et les engrenages fabriqués avec la norme internationale ISO/AGMA/DIN présentent l'avantage d'être facilement interchangeables et permettent des possibilités de fabrication plus économiques (conception type, méthodes de calcul normalisées, taillage et contrôle automatisés, équipements standard).

Lorsqu'il s'agit d'engrenages pour très grandes séries (automobiles...) les constructeurs s'écartent de ces standards afin d'optimiser les coûts.

L'analyse de la fiabilité dans le domaine de la mécanique est un outil très important pour caractériser le comportement du produit dans les différentes phases de vie, mesurer l'impact des modifications de conception sur l'intégrité du produit, qualifier un nouveau produit et améliorer ses performances tout au long de sa mission.

Le présent mémoire s'intéresse à l'étude FMD d'une boîte de vitesses et plus particulièrement les engrenages.

Dans le premier chapitre qui compose à trois parties : la première on a présenté l'entreprise, la deuxième a exposé étude bibliographique sur la maintenance et son rôle comme outil de production ainsi que les principales formules des différents indicateurs relatifs à la FMD.

Le deuxième chapitre sera consacré à une étude sur la théorie des engrenages et en particulier les engrenages à denture hélicoïdale.

Le troisième chapitre est dédié à une description générale de la boîte de vitesses, il conviendra de préciser la problématique et les objectifs de la présente étude.

Dans le quatrième chapitre on a exploité l'historique des pannes pour une période de sept années, on s'est basé sur le taux de panne mécanique pour calculer les paramètres FMD. L'objectif de cette étude est réduire les arrêts par une organisation plus rationnelle de la fonction maintenance et une efficacité meilleur des interventions. Afin de localiser les organes les plus défaillant voir de proposé des solutions adéquates pour améliorer la performance de notre équipement.

Enfin, le dernier chapitre, présente un accent particulier a été mis sur le phénomène de fatigue et l'usure des engrenages plus une analyse de contact et de continuité de l'engrènement. Enfin, une vérification de la résistance est discutée.

Le travail est suivi d'une conclusion générale avec quelques recommandation, des références bibliographiques et annexes sont présentées à la fin pour mieux élucider ce modeste travail.

a. PRESENTATION DE L'UNITE : (National Company of Industrial Véhicules)

I-a-1- Historique

Au milieu des années 70 (1975), la société nationale de construction mécanique SONACOME, a décidé de construire un complexe de DISTRUBITION ET D'APRES VENTE (C.D.A.V).

Ce complexe se compose de trois succursales

- La succursale « véhicules Industriels » (V.I) ;
- La succursale « Equipements Industriels » (E.I) ;
- La succursale « Travaux Publics » (T.P).

A partir de 1982, et après la restructuration de la SONACOME, le projet a été hérité par la SNVI (SOCIETE NATIONALE DES VEHICULES INDUSTRIELS), ou il a été réduit à la construction uniquement de la « succursale véhicules industriels » (V.I), qui est devenu l'unité actuelle : la SNVI ANNABA, en abonnement le reste du projet, ou il a été inaugurée en 1988.

I-a-2- SITUATION GEOGRAPHIQUE

Le site SNVI ANNABA est implanté à la zone industrielle d'Annaba (comme sus-indiqué), sur l'axe routier N° 16 mi-chemin entre la ville de ANNABA et la ville d'El-Hadjar et de la ligne de chemin de fer, à une altitude approximative entre 7 et 8 mètres au-dessus de la mer.

I-a-2-1 Position

Le site n'est pas choisi fortuitement, car l'emplacement doit répondre à des exigences géostratégiques. La circulation des moyens locomoteurs ne doit en aucun cas provoquer des embouteillages ou autres. On a souvent rencontré une perte de temps dans l'agencement des engins et véhicules pour intervention ; ce qui pénalise l'indicateur Maintenabilité.

I-a-2-2- Prise de vue Aérienne



Fig.I.1. représente la vue Aérienne de l'entreprise.

I-a-3- Missions et capacité théorique

Elle occupe une superficie de 218.000m². La SNVI à commencer son activité en 1988. Le site a pour but :

- Recherche
 - Développement
 - Production
 - Importation
 - Exportation
 - Distribution
- Dans le secteur des véhicules industriels et leurs composants :
- La commercialisation de véhicules industriels : Camions, Bus, Cars, Remorques ;
 - La commercialisation de pièces de rechange ;
 - L'entretien des véhicules industriels ;

- La réparation des véhicules industriels l'ensemble est conçu pour permettre :
 - o De procéder aux opérations liées à la livraison d'un minimum de 200 véhicules neufs par an.
 - o De recevoir en réparation à différents degrés d'intervention :
 - 1000 véhicules/an pour les réparations ordinaires ;
 - 600 véhicules/an pour les grosses réparations, Echange standard et réparation d'organes.

I-a-4- Objectif

-Utilisation rationnelle et optimale de capacités installées, maîtrise de l'outil d'exploitation maximum de qualité de services, contribue au progrès économique et social par création de nombreux emplois techniques.

-D'autre part, SNVI est chargée d'assurer et de promouvoir les activités d'après-vente des véhicules industriels par la mise en place de leurs moyens de maintenance.

I-a-5- Distribution et maintenance

Cette importante activité est assurée par des réseaux primaires et secondaires répartis à travers le territoire national, concernant :

- La vente de véhicules de la gamme SNVI et d'importation ;
- La vente de pièces de rechange pour le soutien de la gamme SNVI et gamme d'importation ;
- Le service de la garantie ;
- La réparation, l'entretien et la rénovation des véhicules de la gamme SNVI et d'importation ;
- La formation et la documentation ;
- L'assistance technique à la clientèle est assurée par les réseaux primaires et secondaires répartis à travers tout le territoire national.

I-a-6- Organigramme de l'unité

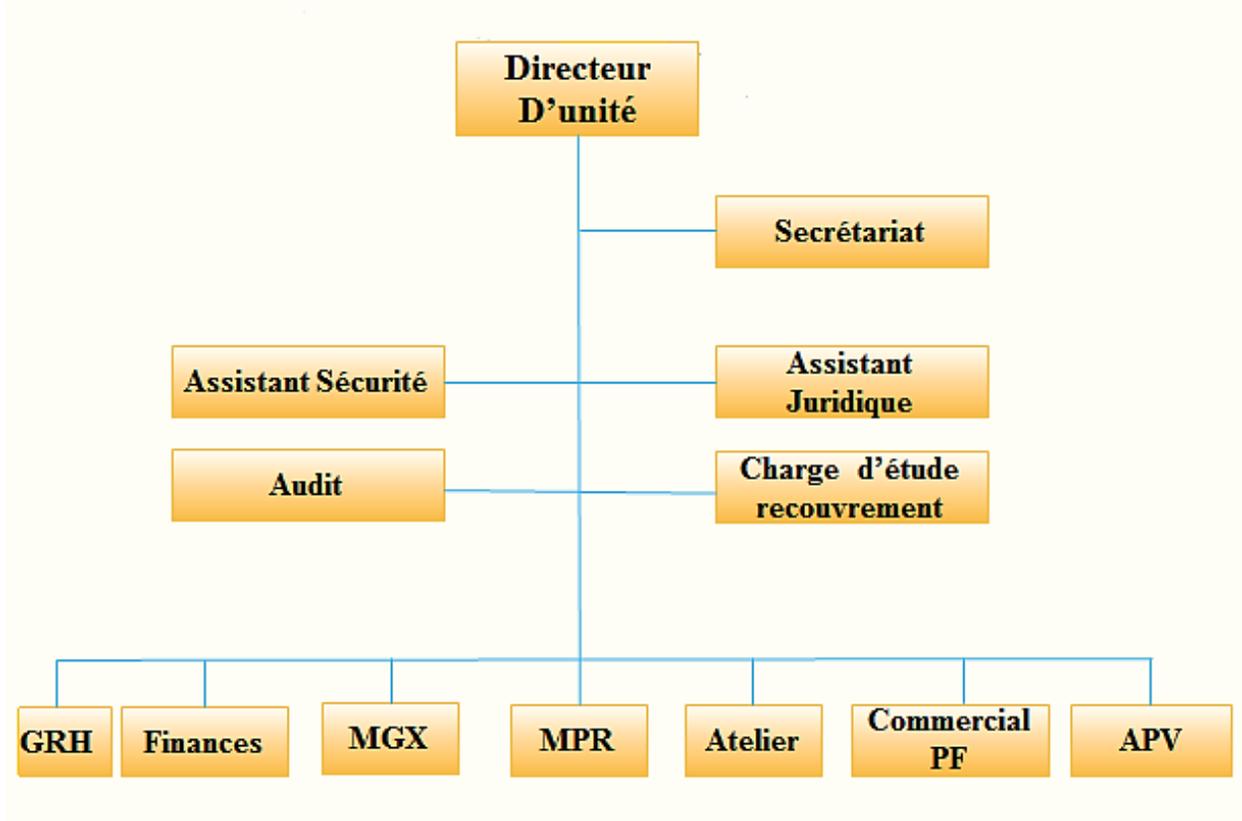


Fig.I.2. l'organigramme de l'unité SNVI.

✓ **La direction**

L'entreprise nationale des véhicules industriels dont le siège est à Rouïba est chargée dans le cadre du plan national de développement économique et social de :

- Recherche
- Production
- Importation et distribution

Et d'une manière générale tous les véhicule destinés au transport routier de personnes, de marchandises d'une charge utile supérieure à 1.5 tonne.

✓ **Service du personnel**

Le service s'occupe de la gestion du personnel employé dans l'unité par :

- Suivi de carrière des agents ;
- Etablissement des salaires ;
- Contrôle du pointage ;
- Etablissement des déclarations sociales et fiscales ;
- Contentieux recouvrement et assurances ;
- Formation ;

L'effectif total de l'unité est de 141 agents.

✓ **Service produit fini**

Il reçoit le produit fini de l'usine de fabrication située à Rouïba Alger et procède à la vente des véhicules industriels conformément aux programmes de la direction commerciale de la région.

✓ **Service V.P.R**

Reçoit la pièce de rechange des unités centrales et procède à la distribution comme suit :

- Etablissement de la commande par client auprès du comptoir V.P.R ;
- Recherche de la référence correspondante à la pièce commandée ;
- Assure l'existence de la pièce au niveau du magasin VPR ;
- Passage de la commande a la facturation ;

A la section facturation le client procède à l'enlèvement de la pièce et du règlement du montant de la facture en espèce ou par chèque.

✓ **Service rénovation**

Il effectue les ordres de réparation et d'entretien « O.R » des véhicules industriels, ainsi que les opérations de préparation des véhicules neufs et celles entrant dans le cadre de garantie et le rapport technique « RT » (Fig.3).

	S.n.v.v. DCAT		RAPPORT TECHNIQUE		N°: _____
					Date: _____
EMETTEUR	Unité: _____ Agent: _____		Redacteur: _____		
VEHICULE	Type: _____		N° de Serie _____ Km _____		
	Date de Livraison: _____		Date d'Incident: _____		
	Carrosserie: _____		Utilisation: _____		
CLIENT	Nom _____				
	Profession _____				
	Adresse _____				
INCIDENT					
ORGANE CONCERNE _____ TYPE _____ N° DE SERIE _____					
NATURE AVARIE _____					
INTERVENTION PAR: . I T . Unité . Agent Agrée . Fournisseur . ●					
RESULTAT OBTENU Vehicule remis en route Immobilisé ●					
CAUSE DE L'AVARIE. Indiquer si possible les circonstances de l'avarie.					
Y A-T-IL APPEL EN GARANTIE? oui - non ●					
OBSERVATIONS _____					
DOCUMENTS JOINTS : Feuilles annexes, croquis, photos, etc.... Nota : Rayer les mentions inutiles dans les rubriques d'une *					Code Incident

Fig.1.3.Fiche d'un rapport technique(RT).

✓ **Service de sécurité**

A pour but :

- la surveillance et le gardiennage de l'unité SNVI -URD 801.
- le système de surveillance dans cette unité travail en équipe posté pour une amplitude de travail de 12H00

✓ **Service logistique**

Le service a pour tâche principale d'entretenir les différentes fonctions de l'unité à savoir :

- Entretien du réseau électrique, eau, gaz
- Entretien du parc auto
- Tout le nécessaire pour l'hygiène et produit d'atelier.

📌 **Service technique** : Il applique la maintenance préventive (entretien, révision, réparation et rénovation).

I-a-7- Description générale

📌 Dans le cadre de la maintenance des véhicules industriels. la SNVI –URD 801-Annaba, offre:

I-a-7-1- Bâtiment Atelier Général

L'atelier permet d'effectuer les travaux ensembles de réparation et d'entretien des véhicules industriels ainsi que les opérations de préparation de véhicules neufs et celles entrant dans le cadre de la garantie, il contient :

- Une trame avec trois postes élévateurs ;
- Deux trames avec chacune deux fosses ;
- Trois trames sans installations fixe ;
- Une trame est réservée essentiellement à la préparation des véhicules neufs et aux travaux de garantie ;
- Une dernière trame comprend le poste contrôle des freins ou se fera le diagnostic et le contrôle après réparation. ;

- Deux postes roulants desservant les postes de réparation.

I-a-7-2- Bâtiments Atelier Spécialisées

Ce sont des ateliers annexes qui travaillent pour l'atelier général, ils couvrent une superficie de 1 440 m², destinés aux interventions spéciales sur les organes ou ensembles, ... :

- Moteurs (comprend toutes les opérations de réparations motrices).
- Pompe d'injection.
- Circuit de freinage.
- Equipements et circuits électriques.
- Ponts, essieu, vilebrequins.
- Compresseurs.
- Pneumatique
- boîte à vitesses

Pour les moteur, il est prévu une surface de 600 m², et le reste pour les divers organes ces ateliers sont en liaison direct d'un côté avec l'atelier général de l'autre avec les magasins, ce qui garantit un cheminement court des partie venant de l'atelier général et une bonne liaison avec les magasins : les pièces de rechange et l'outillage.

I-a-7-3- Bâtiments utilité (Carrosserie/Peinture)

Ce bâtiment constituant une aile aux autres bâtiments repartie en :

- Atelier carrosserie ;
- Atelier lavage peinture.

I-a-7-4- Bâtiment Pièce de Rechange

Ce bâtiment est destiné à la réception le magasinage et la livraison des pièces de rechange ; le magasin est organisé pour la vente au détail et aux grossistes et permet d'assurer l'approvisionnement des ateliers du site.

b. Généralités sur la maintenance

I-b-1- Introduction

Le monde de l'industrie et le monde des transports disposent de machines et d'installations de plus en plus performantes et complexes. Les exigences de haute sécurité, la réduction des coûts d'exploitation et la maîtrise de la disponibilité des équipements donnent à la maintenance des systèmes un rôle prépondérant. Elle doit permettre de n'intervenir qu'en présence d'éléments défectueux, de minimiser le temps de réparation, et de fournir un diagnostic fiable et facilement interprétable malgré la complexité des équipements.

Nous nous intéresserons principalement aux transmissions de puissance mécanique utilisées dans différents domaines tels que l'aéronautique, l'automobile, les transports ferroviaires et l'industrie... La maintenance de ces systèmes de transmission occupe un temps relativement important par rapport à leur temps d'utilisation. Actuellement la recherche scientifique vise à développer les outils nécessaires à l'optimisation de la maintenance de tels systèmes.

Afin de minimiser les temps d'immobilisation et de révision, le procédé de maintenance adopté est celui de **maintenance préventive conditionnelle** : maintenance préventive subordonnée à un type d'événement prédéterminé (niveaux de signaux issus de capteurs, bruits émis, mesure d'usure...) révélateur d'un état de dégradation du bien. Ainsi, le système n'est arrêté que lorsqu'il existe une certaine probabilité de défaillance, définie par l'analyse de niveaux d'indicateurs issus de mesures et établis en permanence au cours du fonctionnement.

I-b-2- Définition de la maintenance

Depuis 2001, la norme AFNOR **NF X 60 – 010** a été remplacée par une nouvelle définition, désormais européenne (**NF EN 13 306 X 60 – 319**) ; « ensemble de toutes actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise ». [1]

Une fonction requise est une fonction, ou un ensemble de fonctions d'un bien considérées comme nécessaires pour fournir un service donné.

Le terme « maintenance », forgé sur les racines latines **manus et tenere**, est apparu dans la langue française au XIII^e siècle.

Le ratio qui englobera tous ces aspects de la maintenance sera :

$$\frac{\text{Coût total(achat et maintenance)} + \text{Pertes de production}}{\text{Service rendu}} \rightarrow \text{doit être minimum}$$

«La maintenance est l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de Rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé »

Objectifs :

Selon la politique de maintenance de l'entreprise, les objectifs de la maintenance seront :

- la disponibilité et la durée de vie du bien. (Limiter les indisponibilités)
- la sécurité des hommes et des biens.
- la qualité des produits. (Garantir la qualité des produits et des services)
- la protection de l'environnement. (Protéger les personnes, l'environnement et les biens)
- l'optimisation des coûts de maintenance. (Maîtriser les coûts)
- Moins de défaillances et dépenses

Plus de disponibilité et la qualité de service

2-1-Maintenance, « médecine des machines » : Il existe une analogie entre la « santé humaine » et la « santé machine ».[2]

Tab.I. 1. L'analogie de l'homme et de la machine.

Santé de l'homme	Analogie	Santé- machine	Analogie
-Connaissance de l'homme -Connaissance des maladies -Carnet de santé -Dossier médical -Diagnostic, examen, visite -Connaissance des traitements -Traitement curatif -Opération	Naissance	-Connaissance technologique	Mise en service
	Longévité	-Connaissance des modes de défaillances -Historique	Durabilité
	Bonne santé	-Dossier machine -Diagnostic, expertise, inspection	Fiabilité
	Mort	-Connaissances des actions curatives -Dépannage, réparation, -Rénovation, modernisation -reconstruction	Rebut
Médecine		Maintenance industrielle	

2-2-La stratégie de maintenance :

"La stratégie de maintenance est une méthode de management utilisée en vue d'atteindre les objectifs de maintenance."

Les choix de stratégie de maintenance permettent d'atteindre un certain nombre d'objectifs de maintenance :

- développer, adapter ou mettre en place des méthodes de maintenance.
- élaborer et optimiser les gammes de maintenance.
- organiser les équipes de maintenance.

- internaliser et/ou externaliser partiellement ou totalement les tâches de maintenance.
- définir, gérer et optimiser les stocks de pièces de rechange et de consommables.
- étudier l'impact économique (temps de retour sur investissement) de la modernisation ou de l'amélioration de l'outil de production en matière de productivité et de maintenabilité. [3]

I-b-3- Les types de maintenance :

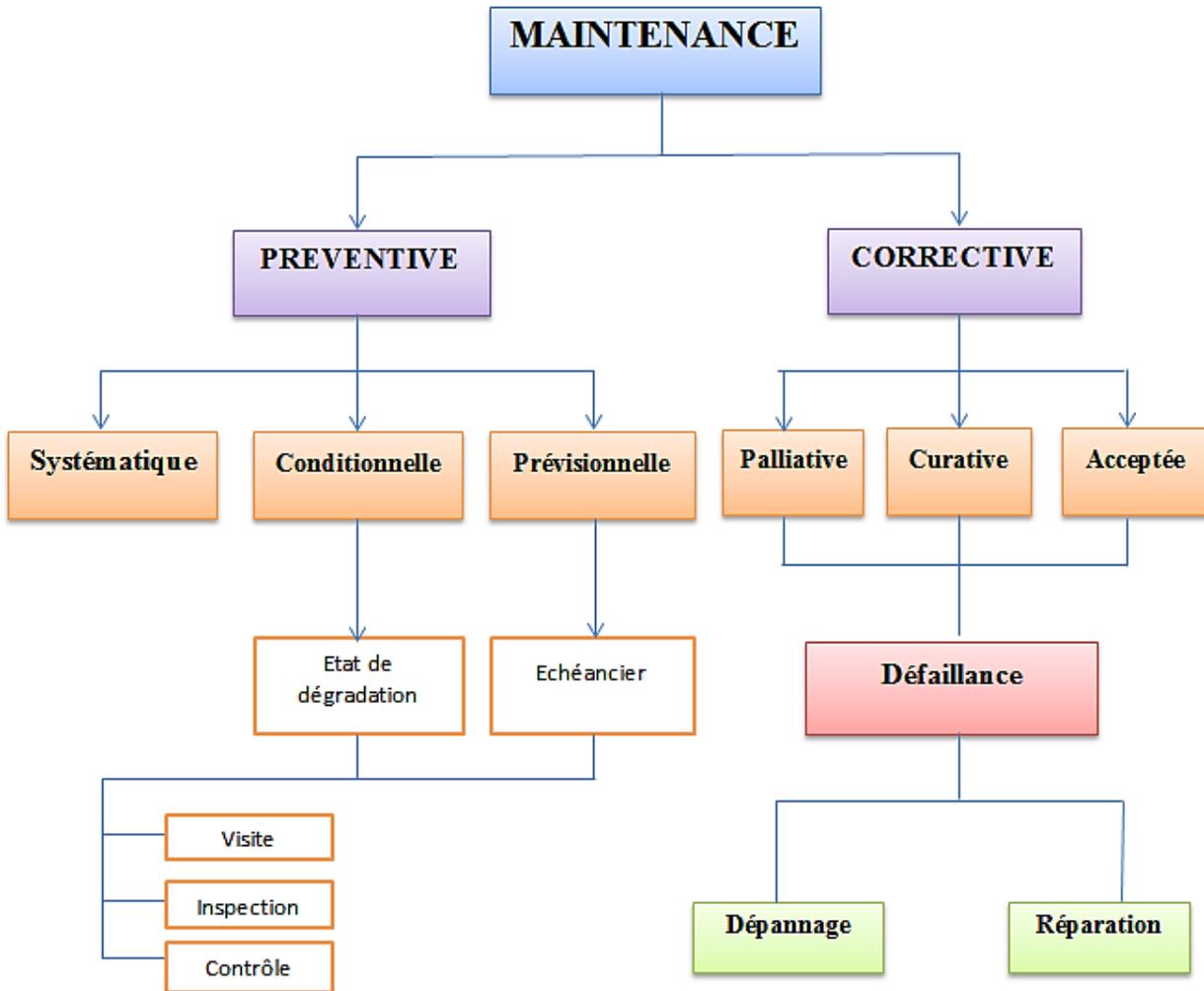


Fig.I.4. les différents types de Maintenance

- **La Maintenance préventive AFNOR (norme X 60 – 010) :**
 « Maintenance effectuée dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance d'un bien ou la dégradation d'un service rendu ». C'est une intervention de maintenance, prévue et programmée avant la date probable d'apparition d'une défaillance. [4]

➤ **Objectifs visés par le « préventif » :**

- Augmenter la fiabilité d'un équipement, donc réduire les défaillances en service : réduction des coûts de défaillance, amélioration de la disponibilité.
- Augmenter la durée de vie efficace d'un équipement,
- Améliorer l'ordonnancement de travaux, donc les relations avec la production,
- Réduire et régulariser la charge de travail,
- Faciliter la gestion des stocks (consommations prévues)
- Assure la sécurité (moins d'improvisations dangereuses)
- Plus globalement, en réduisant la part de « fortuit », améliorer le climat des relations humaines (une panne imprévue est toujours génératrice de tension)

➤ **MN conditionnelle :**

Selon la norme NF-EN13306 « Maintenance préventive basée sur une surveillance du fonctionnement du bien et/ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement intégrant les actions qui en découlent. La surveillance du fonctionnement et des paramètres peut être exécutée selon un calendrier, ou à la demande, ou de façon continue »

Se traduit par une surveillance des points sensibles de l'équipement, exercée au cours de visites préventives. Ces visites soigneusement préparées, permettent d'enregistrer un degré d'usure, un jeu mécanique, une température, une pollution, ou tout autre paramètre qui puisse mettre en évidence l'imminence d'une défaillance.

➤ **Objectifs de la MN conditionnelle :**

-Éliminer ou limiter le risque de panne, l'intervention ayant lieu avant que la dégradation n'atteigne un caractère critique et donc, ralentir le vieillissement.

-Réduire les dépenses de maintenance en intervenant à un stade précoce des dégradations, évitant ainsi les remises en état très coûteuses.

➤ **MN Systématique :**

Maintenance préventive exécutée à des intervalles de temps préétablis ou selon un nombre défini d'unités d'usage mais sans contrôle préalable de l'état du bien »

➤ **MN Prévisionnelle :**

Maintenance préventive subordonnée à l'analyse de l'évolution surveillée de paramètres significatifs de la dégradation du bien, permettant de retarder et de planifier les interventions. Selon la norme « Maintenance conditionnelle exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évolution de paramètres significatifs de la dégradation du bien ».

➤ **Maintenance corrective :**

D'après la norme AFNOR X60-010, la maintenance corrective se définit comme « une maintenance effectuée après défaillance ».

C'est l'ensemble des activités réalisées après défaillance d'un bien ou d'gradation de sa fonction, afin de lui permettre d'accomplir, au moins provisoirement une fonction requise. Ces activités comprennent la détection/localisation de la défaillance et son diagnostic, la remise en état avec ou sans modification, et le contrôle de bon fonctionnement. la remise en état peut prendre deux formes : le dépannage ou la réparation.

- ✓ **Détection :** action de déceler au moyen d'une surveillance accrue, continue ou non, l'apparition d'une défaillance ou l'existence d'un élément défaillant.
- ✓ **Localisation :** action conduisant à rechercher précisément le ou les éléments par lesquels la défaillance se manifeste.
- ✓ **Dépannage :** Action sur un équipement en panne, en vue de le remettre en état de fonctionnement, au moins provisoirement. Compte tenu de l'objectif, un dépannage peut s'accommoder de résultats provisoires et de conditions de réalisation 'hors norme' et dans ce cas, sera suivi de réparation.
- ✓ **Réparation :** La réparation consiste en la remise en état, de façon durable, dans le but de supprimer ou de réduire les conséquences de la vétusté, de l'usure ou du désordre, d'un équipement n'assurant plus dans des conditions acceptables la fonction qui est la sienne.
- **La maintenance est Acceptée :** lorsque la recherche permanentent du meilleur rapport usage/coût, conduit à accepter la défaillance d'un équipement, avant d'envisager des actions de maintenance peut être légitime pour les équipements de criticité mineure ou nulle.
- **La maintenance est palliative :** lorsque l'action corrective est destinée à permettre à l'équipement d'accomplir provisoirement tout ou partie de la fonction requise.
- **La maintenance est curative :** lorsque l'action de maintenance corrective à un caractère permanent
Et a pour objet de rétablir l'équipement dans un état spécifié pour lui permettre d'accomplir une fonction requise.
- **Ces opérations peuvent être classées en 3 groupes d'actions :**
 - le premier groupe concerne la localisation de la défaillance : il comprend les opérations suivantes : le test, la détection, diagnostic.
 - le deuxième groupe concerne les opérations de la remise en état ; il comprend les opérations suivantes : le dépannage, la réparation et la modification.
 - le troisième groupe concerne la durabilité ; il comprend les opérations suivantes : la rénovation, la reconstitution et la modernisation.

I-b-4- Les cinq niveaux de maintenance (AFNOR X 60 011) :

1^{ère} Niveau : Réglages simples prévus par le constructeur au moyen d'organes accessibles sans aucun démontage d'équipement ou échange d'éléments accessibles en toute sécurité.

2^{ème} Niveau : Dépannage par échange standard d'éléments prévus à cet effet, ou d'opérations mineures de maintenance préventives (rondes).

3^{ème} Niveau : Identification et diagnostic de pannes, réparation par échanges de composants fonctionnels, réparations mécaniques mineures.

4^{ème} Niveau : Travaux importants de maintenance corrective ou préventive.

5^{ème} Niveau : Travaux de rénovation, de reconstruction, ou de réparations importantes confiés à un atelier central.

I-b-5- Les fonctions du service maintenance (norme FD X 60-000) :

Tab.I.2. les fonctions de la maintenance.

Les fonctions de la maintenance	Etude
	Préparation
	Ordonnancement
	Réalisation
	Gestion

✓ **Etude**

Sa mission principale est l'analyse du travail à réaliser en fonction de la politique de maintenance choisie. Elle implique la mise en œuvre d'un plan de maintenance avec des objectifs chiffrés et des indicateurs mesurables.

✓ **Préparation**

La préparation des interventions de maintenance doit être considérée comme une fonction à part entière du processus maintenance. Toutes les conditions nécessaires à la bonne réalisation d'une intervention de maintenance seront ainsi prévues, définies et caractérisées. Une telle préparation devra bien sûr s'inscrire dans le respect des objectifs généraux tels qu'ils sont définis par la politique de maintenance : coût, délai, qualité, sécurité,...

Quel que soit le type d'intervention à réaliser, la préparation sera toujours présente. Elle sera :

- implicite (non formalisée) : dans le cas de tâches simples, l'intervenant assurera lui-même, par expérience et de façon souvent automatique la préparation de ses actions.
- explicite (formalisée) : réalisée par un préparateur, elle donne lieu à l'établissement d'un dossier de préparation structuré qui, faisant partie intégrante de la documentation technique, sera utilisé chaque fois que l'intervention sera réalisée. Il sera donc répertorié et conservé sous réserve de mises à jour ultérieures.

✓ **Ordonnancement**

L'ordonnancement représente la fonction "chef d'orchestre". Dans un service maintenance caractérisé par l'extrême variété des tâches en nature, en durée, en urgence et en criticité, l'absence de chef d'orchestre débouche vite sur la cacophonie quel que soit le brio des solistes.

✓ **Réalisation**

La réalisation consiste à mettre en œuvre les moyens définis dans le dossier de préparation dans les règles de l'art, pour atteindre les résultats attendus dans les délais préconisés par l'ordonnancement.

✓ **Gestion**

La fonction gestion du service maintenance devra être capable d'assurer la gestion des équipements, la gestion des interventions, la gestion des stocks, la gestion des ressources humaines, et la gestion du budget.[5]

I-b-6- Politique de Maintenance :

La politique de maintenance implique la prise de décision sous forme de compromis entre les quatre pôles : humain, économique, financier et technique.

- 1-Accroître la disponibilité des matériels de production.
- 2- Réduire les coûts de maintenance des matériels de production.
- 3- Permettre une production de haute qualité.
- 4- Diminuer les pertes de production
- 5-Augmenter la productivité du personnel de maintenance.
- 6- Améliorer l'efficacité de l'ordonnancement (moins « d'improvisations »).
- 7- Définir une politique d'approvisionnement.
- 8- Définir les conditions de renouvellement ou d'investissement.
- 9- Définir une politique de recours à des entreprises extérieures.
- 10- Optimiser la répartition entre la maintenance corrective et la maintenance préventive.
- 11- Choisir la méthode de maintenance la mieux adaptée à un matériel donné.

6-1-La mise en œuvre d'une politique de maintenance :

Sachant que les responsables opérationnels n'ont pas le pouvoir de définir la politique, nous pouvons dire qu'elle relève des décisions de la direction générale. Un certain retard a été pris dans ce domaine, trop peu de directions sont informées de l'existence d'outils d'aide à la décision ou de l'élaboration de doctrines permettant la réalisation d'une maintenance efficace et économique.

Une politique de maintenance peut s'articuler et s'organiser autour du concept suivant :

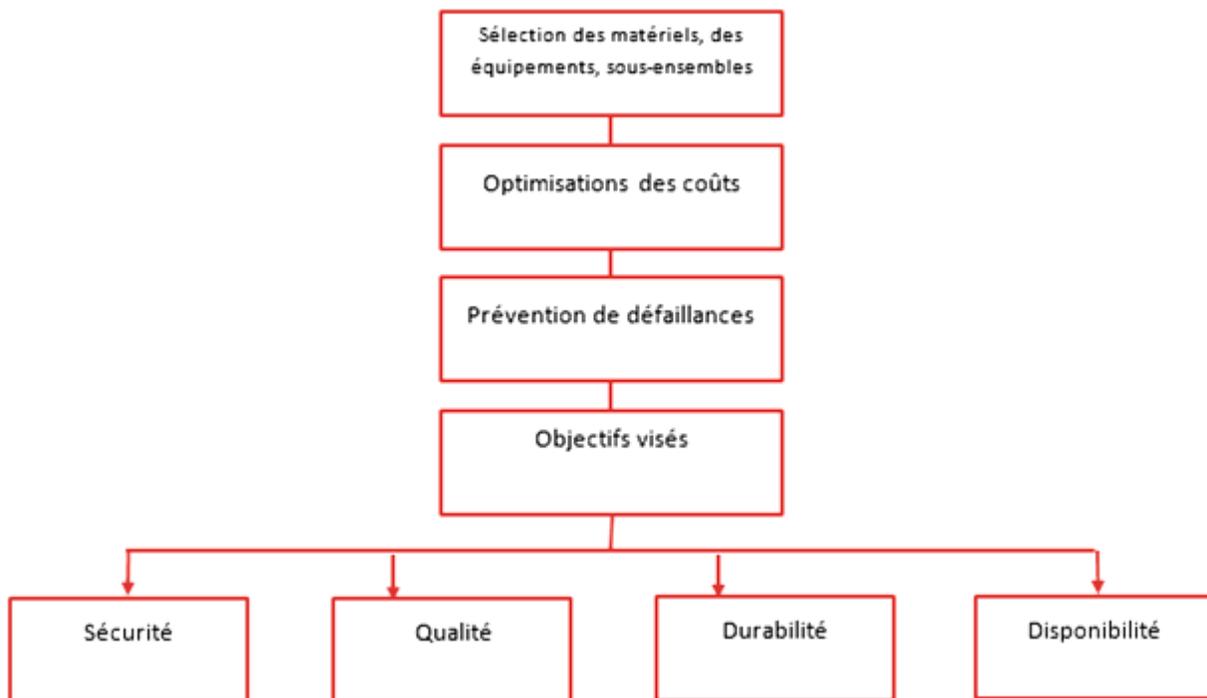


Fig.I.5. La politique de la Maintenance.

I-b-7- Maintenance et Performances :

Dans certains secteurs industriels tels que l'énergie, les transports et l'aéronautique, les performances d'un système ou d'une installation considèrent non seulement les coûts relatifs à l'exploitation mais également, de par la nature des activités, la sûreté de fonctionnement au sens large.

La notion de sûreté de fonctionnement couvre les aspects de fiabilité, sécurité, maintenabilité et disponibilité. Elle représente l'ensemble des aptitudes d'un produit qui lui permettent de disposer des performances fonctionnelles spécifiées, au moment voulu, pendant la durée prévue, sans dommage pour lui-même et son environnement. [6]

7-1- les défaillances :

➤ **Défaillance [Définition extraite de la norme EN13306 (2001)] :**

Cessation de l'aptitude d'un bien à accomplir sa fonction requise – perte de fonction, “tout ou rien”, vieillissement fiabiliste.

- **Panne :** L'état d'une entité inapte à accomplir une fonction requise.
- **Défaut :** est une déviation **non – autorisée** et **non- imprévue** d'un moins une propriété caractéristique ou d'un paramètre du système par rapport aux conditions standard.
- **Dégradation :** évolution irréversible d'une ou plusieurs caractéristiques d'un bien liée au temps, à la durée d'utilisation ou à une cause externe – altération de fonction, phénomène continu, vieillissement physique. [7]

I-b-8- Outils d'analyse des défaillances :

I-b-8-1- Graphe de Pareto ou Méthode ABC :

La méthode ABC permet de dégager l'important d'une masse d'informations, de faire apparaître objectivement ce qui est confusément perçu.

Il s'agit d'une méthode de choix qui permet de déceler entre plusieurs problèmes, ceux qui doivent être abordés en priorité. La courbe ABC permet donc de distinguer de façon claire les éléments importants de ceux qui le sont moins et ceci sous la forme d'une représentation graphique. Cette règle de répartition a été définie par Wilfredo PARETO (socio-économiste italien, 1848-1923) on l'appelle aussi la règle des 20/80.

- **Intérêt de la méthode :** Elle permet de ne pas se laisser influencer par des travaux certes utiles, mais de très faible importance par rapport au volume des autres travaux.

Les 2 règles d'or de Pareto :

- "Ne pas utiliser un éléphant pour écraser une mouche."
- "Ne pas utiliser une petite cuillère là où une louche est nécessaire."

I-b-8-2- Diagramme CAUSES-EFFET (ou ISHIKAWA ou en ARETE DE POISSON) :

Outil qui permet d'identifier les causes possibles d'un effet constaté et donc de déterminer les moyens pour y remédier.

Cet outil se présente sous la forme d'arêtes de poisson classant les catégories de causes inventoriées selon la loi des 5 M (matière, main d'œuvre, matériel, méthodes, milieu,).

Il s'agit d'une représentation arborescente des liaisons significatives entre un résultat, l'effet, et les multiples causes susceptibles d'en être à l'origine.

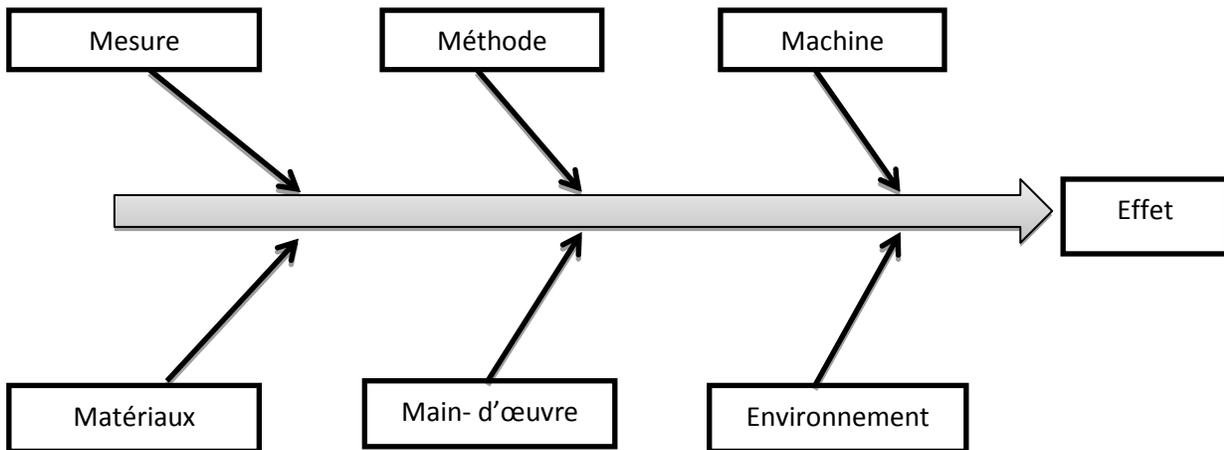
But :

Il sert à représenter la relation qui existe entre un **effet** et toutes les **causes** d'un problème. Il est utile pour faire la liste des causes potentielles de variabilité ou pour faire la liste des facteurs X reliés à une variable de réponse Y dans la planification d'une expérience.

- Le diagramme causes-effets n'apporte pas directement de solutions, il permet néanmoins de bien poser le problème.

Méthode :

1. Énoncer le problème, effet (variable de réponse).
2. Faire la liste des causes associées à cet effet dans une **session de brainstorming**.
3. Penser aux grandes catégories : matériaux, machines, méthodes, procédures, main-d'œuvre, environnement, système de mesures.
4. Tracer le diagramme.



*Fig.I.6.*Diagramme d'Ichikawa.

Matière : M1. Recense les causes ayant pour origine les supports techniques et les produits utilisés (nature, quantité, approvisionnement).

Main d'œuvre : M2. Problème de compétence, d'organisation, de Management (aptitudes, niveau de formation, motivation).

Matériel : M3. Causes relatives aux Machines, aux équipements et Moyens concernés (nouveaux, vétustes, malentretenus).

Méthode : M4. Procédures ou modes opératoires utilisés (standards, consignes, tolérance, information).

Milieu : M5. Environnement physique: (lumière, bruit, poussière, localisation, signalétique, distance, obstacle).

c. CONCEPT FMD

1-DEFINITION

[Définitions extraites de la norme EN13306 (2001)]

I-c-1- Fiabilité: aptitude d'un bien à accomplir une fonction requise, dans des conditions données, durant un intervalle de temps donné.

La fiabilité est la caractéristique d'un dispositif, exprimée par la probabilité que ce dispositif accomplisse une fonction requise dans des conditions d'utilisation et pour une période déterminée

La fiabilité des structures représente l'outil adéquat qui permet de quantifier les effets de ces incertitudes;

- Elle permet non seulement de calculer la probabilité de défaillance mais également de déterminer les mesures des sensibilités de cette probabilité à chaque variable aléatoire. Ces analyses fiabilistes sont particulièrement intéressantes pour les ingénieurs dans le domaine du dimensionnement probabiliste basé sur les coefficients partiels de sécurité et pour la stratégie de maintenance. [8]

- **Intérêt de l'analyse de la fiabilité**
 - Vision réaliste
 - Conception mieux équilibrée
 - Conception fiable vis-à-vis des règlements
 - Définition optimale des éléments structuraux
 - Prise en compte du retour d'expérience
 - Inspection-Maintenance-Réparation
 - Mieux connaître l'influence des incertitudes

• **Loi de Weibüll**

C'est un modèle statistique particulièrement bien adapté à l'étude statistique des défaillances.

Weibüll a donné au taux de défaillance $\lambda(x)$ une formule générale dépendant de 3 paramètres γ, η, β , qui modélise avec une bonne précision dans une gamme étendue.

➤ **Densité de probabilité:**

$$f(t) = \beta/\eta [(t-\gamma)/\eta]^{\beta-1} \cdot e^{-(t-\gamma/\eta)\beta} \dots\dots\dots (1)$$

➤ **Fonction de répartition:**

$$F(t) = 1 - e^{-(t-\gamma/\eta)\beta} \dots\dots\dots (2)$$

➤ **Fonction fiabilité:**

$$R(t) = e^{-[(t-\gamma)/\eta]\beta} \dots\dots\dots (3)$$

➤ **Taux de défaillance:**

$$\lambda(t) = f(t) /R(t) = \beta/\eta[(t-\gamma)/\eta]^{\beta-1} \dots\dots\dots (4)$$

➤ **Espérance mathématique:**

$$E(t) = \gamma + A.\eta \dots\dots\dots (5)$$

A: Coefficient lié à β

$$E(T) = \gamma + A.\eta = \text{MTBF ou MUT} \dots\dots\dots (6)$$

➤ **Variance**

$$V(X) = \sigma_x^2 = [B.\eta]^2 \dots\dots\dots (7)$$

B: Coefficient lié à β

➤ **Signification des paramètres β, η, γ :**

a) Paramètre de forme β :

C'est un nombre sans dimension : il définit l'allure de la distribution des durées ;il permet d'adopter la forme de courbe $\lambda(t)$ aux différentes étapes de vie.

$\beta < 1$:correspond à la zone décroissante de la courbe ,c'est la période de mise en place et de rodage de l'installation (période de jeunesse).

$\beta = 1$:correspond le taux de défaillance est pratiquement constant, c'est la période de défaillance aléatoire (fonction normal) qui ne représente généralement aucun symptôme de dégradation préalable(vie utile).

$\beta > 1$: correspond la zone croissante rapide, c'est la période de vieillesse provoquée par l'usure mécanique et lorsque : $1,5 < \beta < 2,5$:on a le phénomène de fatigue.

b) paramètre d'échelle η :

En unité de temps, qui est associé à l'échelle utilisée sur le graphe d'ALAIN PLAÏT, ce dernier qui est en papier de Wei bull, utilisé par la méthode graphique pour l'estimation des paramètres de cette loi, il est gradué comme suit :

-en abscisse : Lnt .

-en ordonnées : $Ln \left(Ln = \frac{1}{1-F(t)} \right)$

c) Paramètre de position γ (repérage ou localisation) :

Il permet de déterminer la date du début des défaillances en unité de temps.

I-c-2 LA MAINTENABILITE :

« Dans les conditions d'utilisation données pour lesquelles il a été conçu, la maintenabilité est l'aptitude d'un bien à être maintenu ou rétabli dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, avec des procédures et des moyens prescrits. » (NF X60-010).

– **Commentaires :** La maintenabilité caractérise la facilité à remettre ou de maintenir un bien en bon état de fonctionnement. Cette notion ne peut s'appliquer qu'a du matériel maintenable, donc réparable. « Les moyens prescrits » englobent des notions très diverses : moyens en personnel, appareillages, outillages, etc

➤ **Amélioration de la maintenabilité**

La maintenabilité d'un équipement est une qualité fondamentale, qui n'est malheureusement pas

Toujours prise en compte par les constructeurs et à laquelle les clients (souvent des services différents de la maintenance) n'attachent pas l'attention désirable. L'amélioration de la maintenabilité passe par la diminution des temps explicités au début de ce paragraphe, à savoir :

- Le temps de vérification de la réalité de la défaillance et de localisation,
- Le temps de diagnostic,
- Le temps de réparation puis le temps de contrôle et d'essais.

➤ **Calcul de la maintenabilité :**

La maintenabilité peut se caractériser par sa MTTR (Mean Time To Repair) ou encore Moyenne des Temps Techniques de Réparation :

$$MTTR = \frac{\sum \text{Temps d'intervention pour } n \text{ pannes}}{\text{Nombre de pannes}}$$

➤ **Taux de réparation μ :** Il est égal à l'unité de temps sur la MTTR

$$\mu = \frac{1}{MTTR}$$

$$M(t) = 1 - e^{-\mu t}$$

I-c-3-La Disponibilité :

« Aptitude d'un bien, sous les aspects combinés de sa fiabilité, de sa maintenabilité et de l'organisation de la maintenance, à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions de temps déterminées » (NF X60-010).

– **Commentaires :** Pour qu'un équipement présente une bonne disponibilité, il doit :

- Avoir le moins possible d'arrêts de production
- Être rapidement remis en bon état s'il tombe en panne

La disponibilité allie donc les notions de fiabilité et de maintenabilité Augmenter la disponibilité passe par :

- L'allongement de la MTBF (action sur la fiabilité)
- La notion de le MTTR (action sur la maintenance)

Cette aptitude est fonction d'une combinaison de la fiabilité, de la maintenabilité associée à la logistique de :

- maintenance du bien. Elle exprime la probabilité pour que le système accomplisse sa fonction, donc qu'il soit
- exempté de fautes, à l'instant t, sachant qu'il a pu en receler auparavant.

➤ **Les différents types de disponibilité :**

Disponibilité intrinsèque (D_i): Cette disponibilité est évaluée en prenant en compte les moyennes de bon fonctionnement et les moyennes de réparation, ce qui donne [9]:

$$D_i = \frac{\text{TBF}}{\text{TBF} + \text{TTR} + \text{TTE}}$$

- TBF : temps de bon fonctionnement
- TTR : temps technique de réparation
- TTE : temps technique d'exploitation

Disponibilité instantanée ($D(t)$) : On se place dans l'hypothèse exponentielle, avec les taux de défaillance $\lambda = \frac{1}{\text{MTBF}}$ et $\mu = \frac{1}{\text{MTTR}}$. on définit la disponibilité instantanée d'un système réparable par :

$$D(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} e^{-t(\lambda + \mu)}$$

I-c-4-Sécurité :

Elle a pour but d'obtenir un système sûr de fonctionnement, c'est à dire ne risquant pas d'occasionner la perte ou des blessures de personnes, des dommages ou des pertes d'équipement, que le système soit en état de fonctionnement normal, dégradé ou en état de non fonctionnement. Le concept de sécurité est en conflit avec celui de disponibilité. En effet, si on veut de la sécurité, on aura tendance à s'entourer de protection, et à se replier dans une situation de sécurité chaque fois que l'on aura un doute sur le bon fonctionnement, au détriment de la disponibilité. Il existe des solutions de redondance qui assurent la sécurité, d'autres qui assurent de la disponibilité. Les solutions qui assurent les deux sont, bien sûr, plus onéreuses. La fiabilité, la maintenabilité, la disponibilité et la sécurité (F.M.D.S) constituent bien ce que l'on appelle « **sûreté de fonctionnement** ». C'est l'ensemble des propriétés qui décrivent la disponibilité et les facteurs qui la conditionnent : fiabilité, maintenabilité et logistique de maintenance. C'est aussi une notion générale sans caractère quantitatif, mais qui caractérise les performances d'un système. Comme nous l'avons dit dans le chapitre précédent, elle vise à maîtriser le risque par un maintien de la qualité sur l'ensemble du cycle de vie d'un matériel. L'approche la plus rationnelle et la plus exhaustive pour identifier les besoins de maintenance consiste à utiliser les moyens d'investigation de la sûreté de fonctionnement.[10].

I-c-5-Qualité [11]

Les notions de fiabilité et qualité sont indissociables. Si la qualité est prise dans son sens général de « satisfaction du besoin de l'utilisateur », il est évident que la fiabilité (ou disponibilité) est un des éléments de la satisfaction de l'utilisateur : fiabilité = probabilité de bon fonctionnement. Si la qualité est prise dans le sens de « qualité initiale », nous pourrions dire que la qualité initiale garantit la conformité d'un produit à ses spécifications, alors que la fiabilité mesure son aptitude à y demeurer conforme au long de sa vie utile.

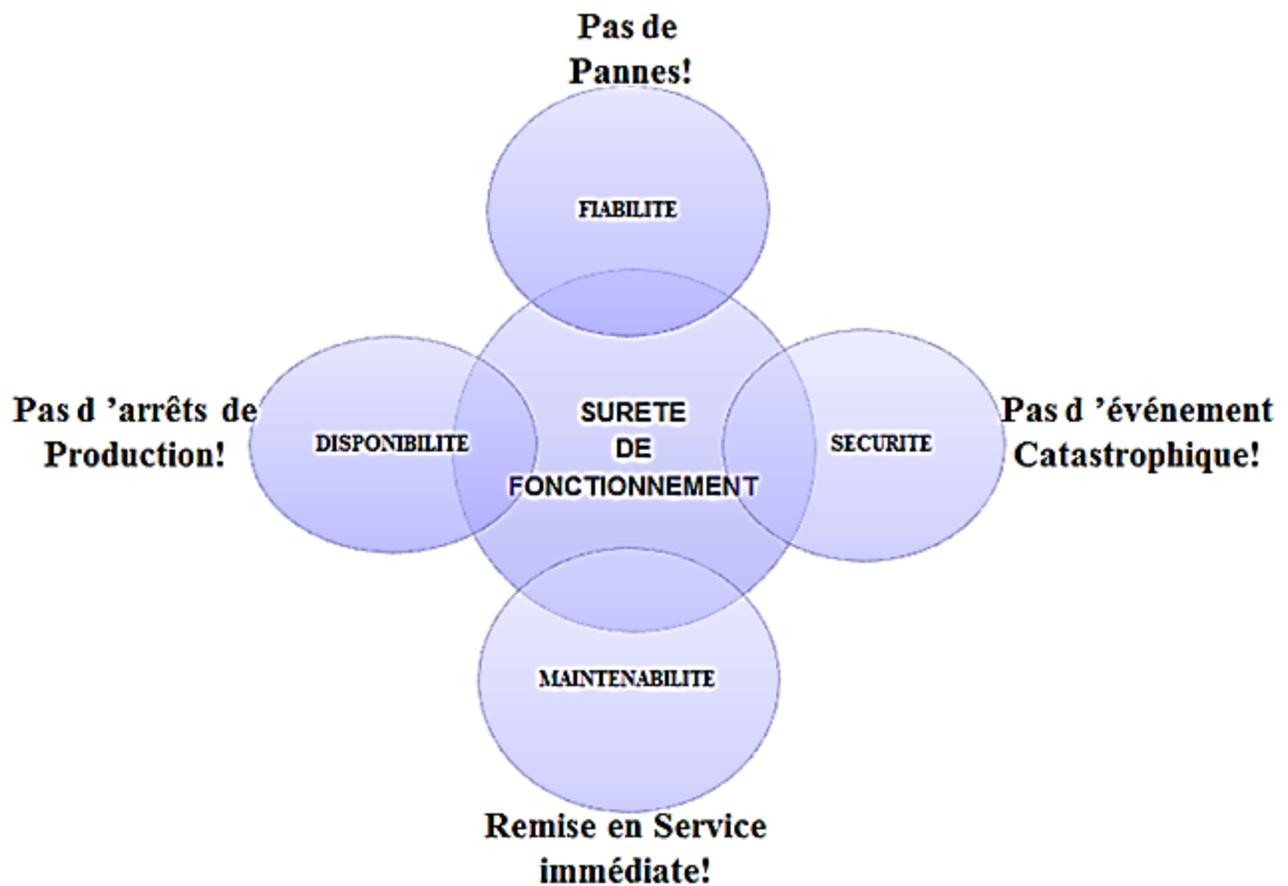


Fig.I.7. la sûreté de fonctionnement SDF.

II-1- Introduction

Les engrenages sont largement utilisés dans l'industrie mécanique comme moyen de transmission de puissance d'un arbre vers un autre. Ils sont obtenus par taillage sur des machines-outils spéciales soit par reproduction soit par génération. La précision d'exécution dépend essentiellement de la valeur et de la précision du rapport des trains d'engrenages introduits dans la chaîne cinématique qui lie la rotation de la fraise et la rotation de la broche porte-pièce.

Les engrenages sont utilisés comme moyen de transmission de puissance dans les boîtes de vitesses, d'avances et les réducteurs des machines où ils réalisent les vitesses, les couples et les sens de rotation des éléments de machines. Ces transmissions peuvent être simples ou composées.

Ces engrenages doivent réaliser des rapports de transmission qui sont égaux au rapport des nombres de dents des roues qui constituent la chaîne cinématique.

II-2- Théorie générale sur les engrenages

II-2-1 Bref historique :

L'histoire des engrenages commence dans les civilisations antiques, avec les roues de friction. Cependant, c'est seulement dans la période de la Renaissance que les mathématiciens ont commencé à appliquer les principes géométriques pour déterminer le meilleur profil de la dent d'engrenage. La conception d'un engrenage comprend des calculs mathématiques, l'aspect géométrique, la détérioration, les matériaux, la fabrication et la vérification. Parmi tous ces paramètres, il est essentiel de connaître avec précision les contraintes se trouvant dans la dent d'engrenage pour prévenir certains risques de rupture. Par conséquent, plusieurs méthodes théoriques et expérimentales ont été développées, à partir de la fin du **XIX^{ème}** siècle.

II-2-2 Définitions Géométriques :

- **Engrenage:** Un engrenage est un mécanisme composé de deux roues dentées mobiles autour d'axes de position fixe et dont l'une entraîne l'autre par l'action de dents successivement en contact et on dit que les deux roues sont conjuguées.

Les engrenages sont utilisés dans toutes les branches de la mécanique pour transmettre des mouvements, de l'horlogerie jusqu'au réducteur de l'industrie lourde. La transmission se fait avec un très bon rendement énergétique. La variation de vitesse obtenue entre l'entrée et la sortie ne dépend que du nombre de dents des pièces en contact. [1]

Ils sont **normalisés**. Les engrenages fabriqués avec la norme **ISO/DIN/AGMA** présentent l'avantage d'être facilement interchangeables et permettent des possibilités de fabrication plus économique.

On appelle généralement :

- **Pignon** : la plus petite des roues dentées (A) ;
- **Couronne** : une roue dentée intérieurement (B) ;
- **Roue** : une roue dentée extérieurement (C) ;
- **Crémaillère** : un profil dentée continu plan (A).

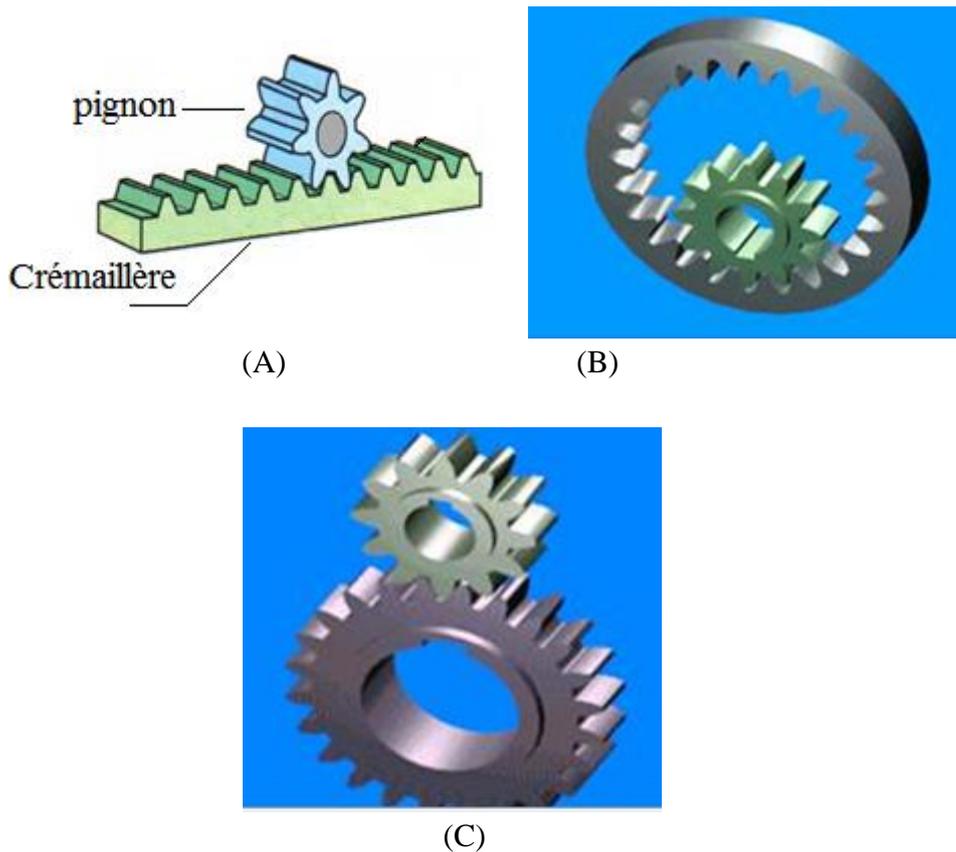


Fig.II.1. Nomination des éléments d'engrenages.

- **Train d'engrenage** : est une combinaison d'engrenage. L'engrènement d'une roue avec une crémaillère transforme le mouvement de rotation de la roue en un mouvement de translation de la crémaillère et inversement.

II-2-3 Les types d'engrenage :

- Les engrenages cylindriques à denture droite (A).
- Les engrenages à denture hélicoïdale à axes parallèles (B).
- Les roues coniques (C).
- Les engrenages à roue et vis sans fin (D).

Le calcul du rapport des vitesses est commun aux trois types de roues dentées :

$$\frac{W1}{W2} = \frac{Z2}{Z1} \quad (1)$$

W1 : Vitesse en entrée **Z1** : nombre de dents en entrée ;

W2 : Vitesse en sortie **Z2** : nombre de dents en sortie.



(A)

(B)

(C)



(D)

Fig.II.2.les principales familles d'engrenages.

Tab.II.1. Classification générale des roues dentées et engrenages.

Classe		Partie principale		Domaine d'utilisation					Appendice	
Forme des corps	Type	N°	Forme des roues	Puissance fréquence	Rendement mécanique	Niveau sonore	Précision d'ontage	usture	Coût d'exécution	Remarques et divers
Cylindre	Engrenage parallèle	1	Cylindrique	<20000kw	I=0,05 à 20 $\eta=96\text{à}99\%$	Moyen à grande	moyenne	faible	moyen	Recommandé Grande vitesse Grande couple
Cône	Engrenage concourant	2	Conique	<400kw	I=0,2 à 6 $\eta=92\text{à}96\%$	Moyen à grand	Sensible aux erreurs d'axe	faible	grand	Formes des flancs droits curvilignes
Hyperboloïde	Engrenage gauche	3	Cylindrique conique	<400kw	I=0,2 à 100 $\eta=30\text{à}98\%$	Faible à moyen	Moyenne à grande	Faible à	moyen	Roue hypoïde Vis cylindrique vis globique
Cylindre cône	Train planétaire	4	cylindrique conique	<2000 kw 0,1 à 50 t/s	I=0,1 à 30 $\eta=30\text{à}98\%$	Moyen à grand	Exigante	faible	Moyen à grand	Difficultés : répartition de la charge

II-2-4 Les principaux avantages et les inconvénients des mécanismes à roues dentées et des engrenages :

➤ Les avantages :

1. La possibilité de transmettre entre deux arbres des mouvements de rotation et des couples, donc des puissances des plus faibles aux plus élevées.
2. D'assurer un rapport de transmission constant entre les deux arbres indépendamment de la charge appliquée. Exception : les mécanismes à roues elliptiques dont le but est justement d'obtenir un rapport de transmission variable.
3. de pouvoir disposer les axes des roues d'une manière quelconque dans l'espace. Toutefois, la transmission par engrenages à axes parallèles est la meilleure des solutions possibles.
4. d'obtenir une grande sécurité en service et une durée de vie élevée même en présence d'efforts très variables.

➤ Les inconvénients

Il ne faut pas perdre de **vue certains inconvénients** à prendre en considération dans les transmissions par roues dentées. Parmi ceux-ci, citons :

1. un niveau sonore parfois gênant.
2. une transmission presque rigide entre l'arbre d'entrée et l'arbre de sortie, l'amortissement des à-coups restant peu efficace lors de variations brusques de couple ou de vitesse.
3. Une interchangeabilité entre roues ou engrenages le plus souvent limitée.

II-2-5 Le rapport de vitesse :

Le calcul du rapport des vitesses est commun aux trois types de roues dentées :

$$i = \frac{W1}{W2} = \frac{Z2}{Z1} \quad (2)$$

W1 : Vitesse en entrée **Z1** : nombre de dents en entrée

W2 : Vitesse en sortie **Z2** : nombre de dents en sortie

Le rapport de transmission i est le quotient de la vitesse angulaire de première roue menante d'un train d'engrenage par celle de la dernière roue menée. Vu que $i=w1/w2$ et comme on a, généralement :

$$w = \pi * n / 30 \quad (3)$$

Donc on peut écrire : $i=n1/n2$ (4)

$n1$: vitesse de rotation de la roue menante en tr/min.

$n2$: vitesse de rotation de la roue menée en tr/min.

II-2-6 Géométrie Des Engrenages:

Les engrenages sont classés dans la catégorie des éléments de transmission indirecte car le But principal de ces mécanismes est de modifier la fréquence de rotation entre les arbres Menant et mené. Dans les mécanismes à roues dentées, le rapport de transmission varie avec Les nombres de dents des roues formant l'engrenage. Il est invariable en moyenne si l'on Néglige les erreurs géométriques toujours présentes dans un engrenage réel. La classification Générale des roues dentées et des engrenages peut s'effectuer selon le catalogue global de la (Figure 1). Les roues dentées sont des corps de révolution équipés de denture transmettant le Mouvement par emboîtement des dents. Un engrenage simple est un mécanisme élémentaire Constitué d'au moins deux roues dentées.

II-3 Les engrenages cylindriques à denture hélicoïdale à axes parallèles

Les engrenages à denture hélicoïdale permettent une transmission plus souple, plus progressive et moins bruyante que les engrenages à dentures droite, La transmission des efforts est plus importante (nombres de dents en contacts plus élevés), y compris aux vitesses élevées, ils sont notamment utilisés dans les boîtes de vitesses d'automobiles, les réducteurs et les multiplicateurs de vitesses.. L'angle d'inclinaison de la denture est le même pour les deux roues, mais de sens opposé.

La génératrice de forme des dents est une ligne hélicoïdale de même axe que l'axe de rotation. Ce type de denture présente l'avantage d'être plus silencieux que la denture droite, en créant moins de vibrations. Les dentures hélicoïdales permettent également d'augmenter la conduite de la transmission, en faisant en sorte que le nombre de dents simultanément en contact devienne constant, ce qui permet de transmettre des efforts plus importants et surtout d'atténuer les vibrations et les bruits [2].

- **Les avantages de ces engrenages par rapport aux cylindriques à denture droite sont :**
 - Le fonctionnement est régulier et silencieux, car l'engrènement se produit graduellement ;
 - Ces engrenages supportent des grandes charges car un plus grand nombre de dents se retrouvent simultanément engrenées ;
 - Ils sont appropriés pour les vitesses élevées ;
 - Ils sont insensibles aux erreurs de formes de dents.

- **Les inconvénients sont :**
 - Le rendement est moins élevé à cause de l'inclinaison de la denture, qui donne naissance à des forces axiales engendrant des sollicitations supplémentaires au niveau des paliers des arbres, produisant des pertes par frottement ;
 - Pour les mêmes nombres de dents et les mêmes modules, les diamètres et l'entraxe augmentent avec l'angle de l'hélice.
 - La poussée axiale se laisse éliminée par l'emploi de denture hélicoïdale double ou en chevrons.

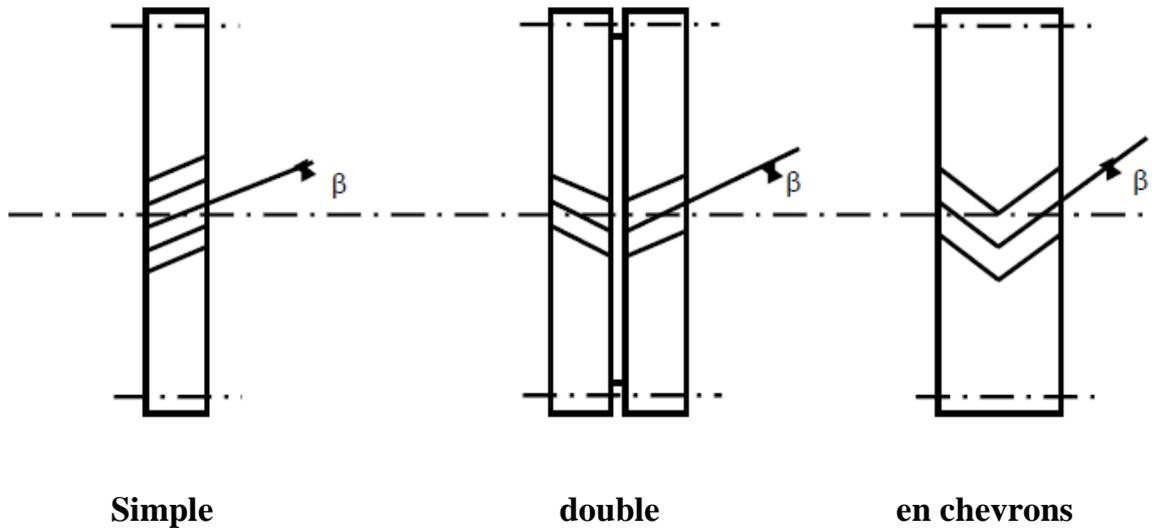


Fig.II.3. denture hélicoïdale.

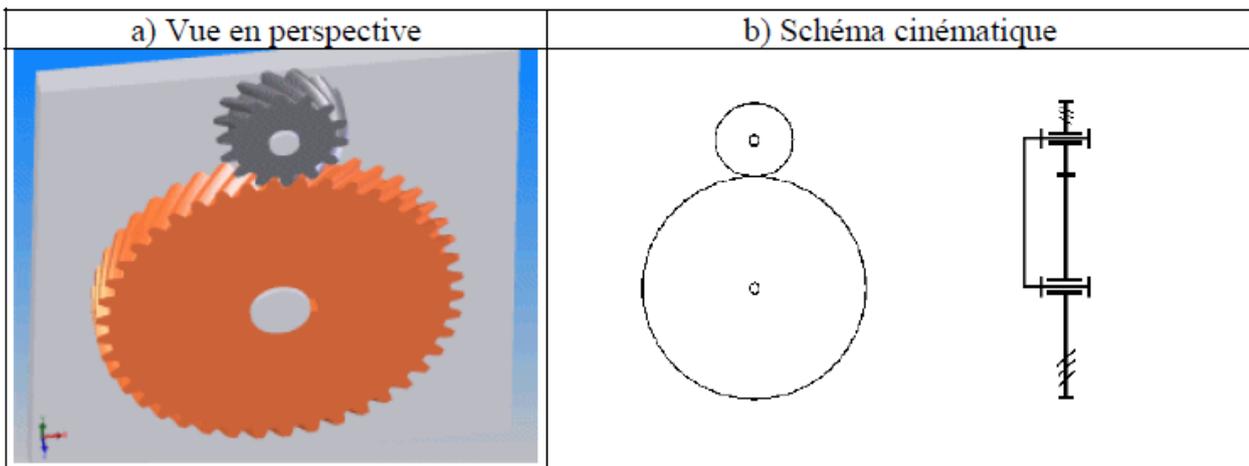


Fig.II.4. schéma cinématique (selon la norme NF EN ISO 3952-2).

Intérêt : L'engrènement de chaque dent est plus progressif ; ils sont plus silencieux que les engrenages à denture droite.

II-3-1. Fonctionnement des engrenages

Pendant le fonctionnement d'une transmission, le contact d'une dent de la rouemenant avec une dent de la roue menée s'amorce au pied de la dent menant et au sommet de la dent menée. L'engrènement s'effectue sur toute la largeur des dents à la fois (engrenage à dentures droites) et partiellement dans l'engrenage à dentures hélicoïdales .Pour que la transmission de la rotation à l'arbre mené soit continue, l'attaque du couple de dents suivant doit se produire avant la fin de prise du couple précédent.

Dans le cas d'un contact extérieur, la roue tourne dans le sens inverse du pignon. Pour conserver le sens de rotation du pignon, une solution consiste à intercaler une roue intermédiaire qui inverse le sens de rotation sans changer le rapport de transmission.

Dans le cas d'un contact intérieur réalisé avec un pignon et une couronne, les deux éléments tournent dans le même sens. [3]

Les engrenages peuvent avoir diverses utilisés :

- Réduction et /ou variation de la fréquence de rotation entre 2 arbres.
- Réduction /augmentation du couple moteur.
- Transmission d'un mouvement de rotation.

II-3-2. Caractéristiques des dentures

Plus complexes, à taille égale, Du fait d'une meilleure progressivité et continuité de l'engrènement (2, 3, ou 4 dents toujours en prise), ils sont aussi plus souples et silencieux. L'inclinaison de la denture engendre des efforts axiaux suivant l'axe de l'arbre qui doivent être supportés par les paliers.

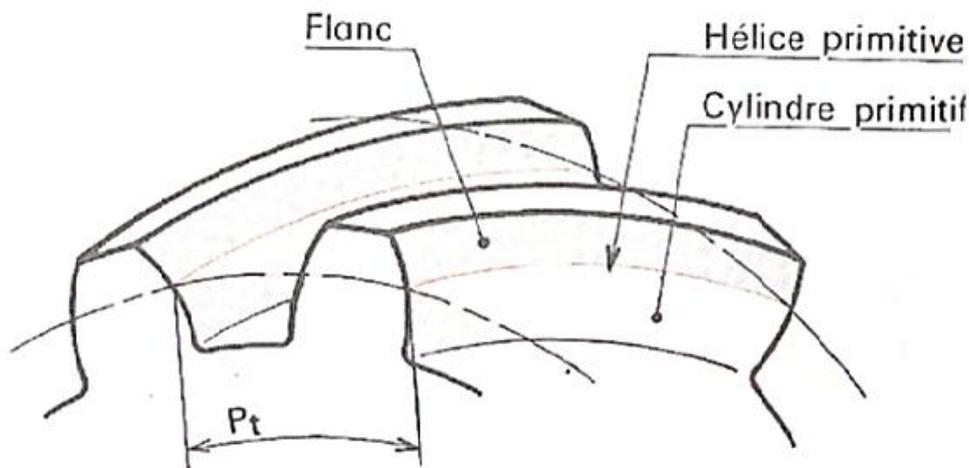


Fig.II.5. Représente la forme des dentures d'une roue hélicoïdale.

II-3-3. Définitions cinématiques

-**Entraxe(a)** : plus courte distance entre les axes d'un engrenage parallèle ou gauche.

-**Angle des axes(Σ)** : plus petit angle dont on doit faire tourner un des axes pour l'amener en superposition (engrenage concourant) ou en parallélisme (engrenage gauche) avec l'autre, de telle sorte que les sens de rotation des roues soient opposés.

-**Rapport d'engrenage(u)** :
$$\frac{\text{Nombre de dents à la roue}}{\text{Nombre de dents au pignon}} = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{d_2}{d_1} \quad (5)$$

-Rapport de transmission (i) : $i = \frac{w_{\text{sortie}}/0}{w_{\text{entrée}}/0}$ (6)

Angle d'hélice (β) : angle d'hélice de l'hélice primitive de référence d'une roue hélicoïdale. L'angle de l'hélice est mesuré entre la ligne de flanc de dent sur le diamètre primitif et l'axe de la roue et ses valeurs sont généralement [4]:

- Pour une denture hélicoïdale simple ou double : $\beta = 10^\circ \dots 20^\circ$.
- Pour une denture hélicoïdale en chevrons : $\beta = 30^\circ \dots 44^\circ$.

Il est recommandé de choisir la valeur de β de telle sorte à avoir un bon recouvrement, nécessaire pour un fonctionnement régulier, et de basses forces axiales.

La grandeur qui caractérise la position inclinée de la dent relative par rapport à la largeur de la roue, est le recouvrement q , arc mesuré sur le diamètre primitif (fig. 4).

$$q = b \cdot \tan \beta \quad (7)$$

Avec b : largeur de roue en mm.

II-3-4. Caractéristiques Géométriques De La Roue Dentée

Définitions :

-Hélice primitive de référence : intersection d'un flanc avec le cylindre primitif de référence d'une roue hélicoïdale.

-Pas apparent (p_t) : longueur de l'arc de cercle primitif compris entre deux profils homologues.

-Pas réel (p_n) : longueur de l'arc compris entre les lignes de flanc de deux flancs homologues consécutifs, mesurée le long d'une hélice du cylindre primitif orthogonal aux hélices primitives.

-Module apparent (m_t) : quotient du pas apparent par le nombre π , ou quotient du diamètre primitif par le nombre de dents.

-Module réel (m_n) : quotient du pas réel en mm par le nombre π .

-Diamètre primitif(d)^{*} : diamètre du cercle primitif de référence ou de fonctionnement.

*la norme NF E23-006 (1965) précise que (d) indique le diamètre primitif. On rencontre encore cependant les notations (d_p) ou (D_P) . [3]

-Diamètre de pied (d_f) : diamètre du cercle de pied.

-Diamètre de tête (d_a) : diamètre du cercle de tête.

-Hauteur de dent (h) : distance radiale entre le cercle de tête et le cercle de pied.

-Saillie (h_a) : distance radiale entre le cercle de tête et le cercle primitif.

-Creux (h_f) : distance radiale entre le cercle de pied et le cercle primitif.

-Nombre de dents(z) :Le nombre de dents Z de chaque roue dentée permettant de définir le rapport des vitesses r de l'engrenage.

-Flancs : portions de la surface d'une dent comprise entre la surface de tête et la surface de pied.

-Module normalisés(m) :quotient du pas exprimé en mm par le nombre π .quotient du diamètre primitif par le nombre de dents.

Tab.II.2. les valeurs normalisées du module (m) (extrait de la norme [DIN 780]).

Série 1	0,1 ; 0,12 ; 0,16 ; 0,2 ; 0,25 ; 0,3 ; 0,4 ; 0,5 ; 0,7 ; 0,8 ; 0,9 ; 1 ; 1,25 ; 1,5 ; 2 ; 2,5 ; 3 ; 4 ; 5 ; 6 ; 8 ; 10 ; 12 ; 16 ; 20 ; 25 ; 32 ; 40 ; 50 ; 60.
Série 2	0,11 ; 0,14 ; 0,18 ; 0,22 ; 0,28 ; 0,35 ; 0,45 ; 0,55 ; 0,65 ; 0,75 ; 0,85 ; 0,95 ; 1,125 ; 1,375 ; 1,75 ; 2,25 ; 2,75 ; 3,5 ; 4,5 ; 5,5 ; 7 ; 9 ; 11 ; 14 ; 18 ; 22 ; 28 ; 36 ; 45 ; 55 ; 70.
Série pour les engrenages à vis sans fin	1 ; 1,25 ; 1,6 ; 2 ; 2,5 ; 3,15 ; 4 ; 5 ; 6,3 ; 8 ; 10 ; 12,5 ; 16 ; 20.

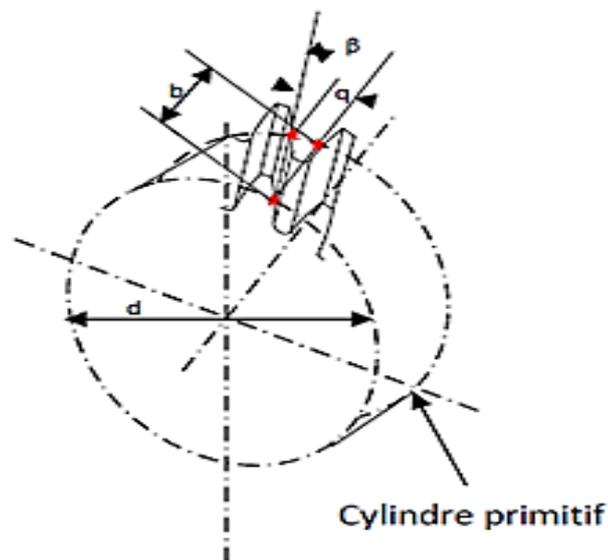


Fig.II.6. Recouvrement d'une denture hélicoïdale.

Tab.II.3. Les caractéristiques géométriques de la roue dentée.

Caractéristique (désignation)	symbole	Formule (en mm)
Module	m_n	Par un calcul de RDM
Nombre de dents	Z	Par un rapport de vitesse $(z_1/z_2)=(N_2/N_1)$
Pas apparent	P	$p= m.p= (\pi. d)/z$
Saillie	h_a	$h_a= m_n$
Creux	h_f	$h_f=1,25.m_n$
Hauteur de dent	H	$h=2,25.m_n$
Diamètre primitif	D	$d=m_t.z$
Diamètre de tête	d_a	$d_a=d+2.m_n$
Diamètre de pied	d_f	$d_f=d-2,5.m_n$
Pas réel	p_n	$p_n= p_n/\pi$
Entraxe	A	$a= (d_1+d_2)/2= m_t. (z_1+z_2)/2$

II-3-5 Engrènement :

➤ Rapport de transmission

Le rapport de transmission d'un engrenage cylindrique à denture hélicoïdale est défini comme celui des engrenages cylindriques à denture droite, c-à d par $i=Z_2/Z_1=\omega_1/\omega_2$. (8)

Avec ;

Z_2, Z_1 : sont les nombres des dents des roues ;

ω_1, ω_2 :Les vitesses correspondantes. [4].

➤ Angle de pression apparent

On distingue aussi l'angle de pression réel α_n et l'angle de pression apparent α_t . La relation entre Ces deux angles est donnée en fonction de l'angle de l'hélice β :

$$\tan\alpha_t = \frac{\tan\alpha_0}{\cos\beta} \quad (9)$$

➤ Rapport de conduite

Le rapport total de conduite ϵ_{tot} pour un engrenage cylindrique à denture hélicoïdale est calculé dans la section apparente et il est l'expression de la somme de deux rapports :

$$\epsilon_{tot} = \epsilon_\alpha + \epsilon_\beta \quad (10)$$

Le rapport de conduite apparent ϵ_α d'un engrenage cylindrique à denture hélicoïdale a pour expression :

$$\epsilon_\alpha = \frac{g}{p_{bt}} \quad (11)$$

$$g = r_{a1}^2 + \sqrt{r_{a1}^2 + r_{b1}^2} + \sqrt{r_{a2}^2 + r_{b2}^2} - a.\sin\alpha_t \quad (12)$$

$$r_a = \frac{z \cdot m_t}{2} + m_n \quad (13)$$

$$r_b = r \cdot \cos \alpha \quad (14)$$

$$p_{bt} = p_t \cdot \frac{\cos \alpha_t}{\cos \beta} \quad (15)$$

$$\text{Avec } \varepsilon_\beta : \text{Rapport de recouvrement} = \frac{b \cdot \tan \beta}{\pi \cdot m_t} \quad (16)$$

Unité : en mm.

S'il s'agit d'une denture hélicoïdale déportée, il faut remplacer dans ce qui suit la relation (12), r_a par r_{ax} , a par a_x et $\sin \alpha_t$ par $\sin \alpha_{tx}$; et comme le diamètre de base reste inchangé, le pas de base apparent p_{bt} est le même que celui d'une denture hélicoïdale non déportée.

➤ Etude des forces

La force F_n (force normale), qui agit perpendiculairement au flanc de la dent, est portée par la ligne normale de pression sous l'angle de pression réel α_n (figure 12).

$$F_t = 2000 \cdot M_t \cdot (K) / d \quad (17)$$

La force F_n se décompose en une force F' , perpendiculaire à la direction des flancs, et en un composante radiale F_r . la force F' se décompose, à son tour, en une force tangentielle F_t et axiale F_a . La force tangentielle F_t est donnée par :

- La force axiale est :

$$F_a = F_t \cdot \tan \beta \quad (18)$$

- La force radiale :

$$F_r = F_t \cdot \frac{\tan \alpha_n}{\cos \beta} \quad (19)$$

Unité : en N.

Avec α_n : angle de pression réel (20°) ;

β : Angle d'hélice.

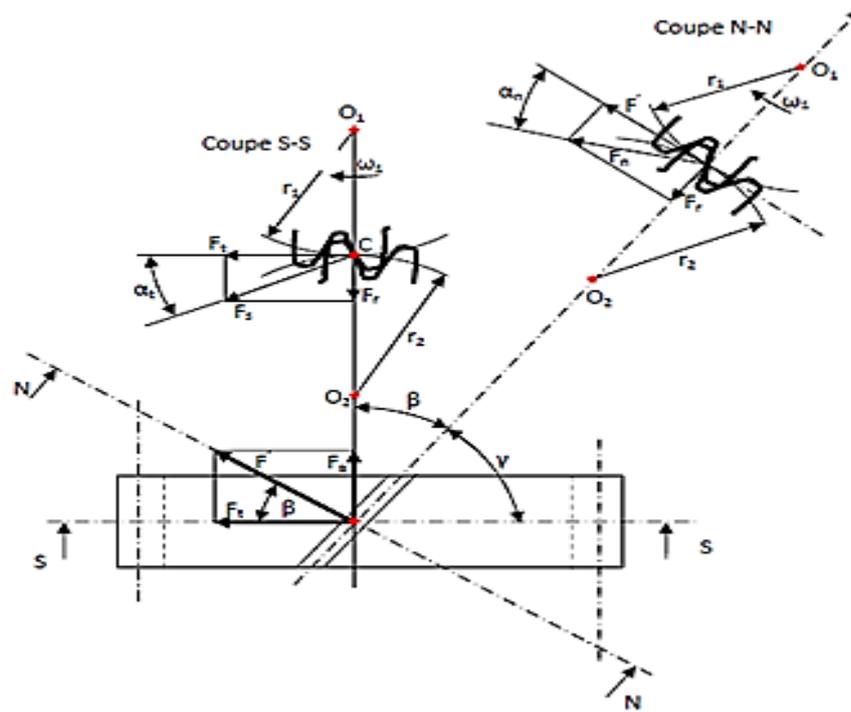


Fig.II.7. Forces agissants dans une roue cylindrique à denture hélicoïdale.

II-3-6 Vérification de la résistance de la racine de la dent (Denture hélicoïdale) :

Comme pour les engrenages cylindriques à denture droite, la contrainte de flexion à la racine de la dent est :

$$\sigma_f = \frac{F_t}{b.m_n} \cdot Y_f \cdot Y_\xi \leq [\sigma_f] \quad (20)$$

Avec :

- ✓ F_t : force tangentielle en N ;
- ✓ b : largeur de dent en mm ;
- ✓ Y_f : facteur de forme de dent ;
- ✓ Y_ξ : facteur de conduite ;
- ✓ $[\sigma_f]$: contrainte admissible de flexion en N/mm².

pour pouvoir déterminer le facteur de conduite Y_ξ , il faut déterminer le facteur auxiliaire q_l :

- Si $q_l > \frac{1}{\varepsilon_\alpha}$, on obtient $Y_\xi = 1$;
- Si $q_l \leq \frac{1}{\varepsilon_\alpha}$, on obtient $Y_\xi = \frac{1}{\varepsilon_\alpha}$.

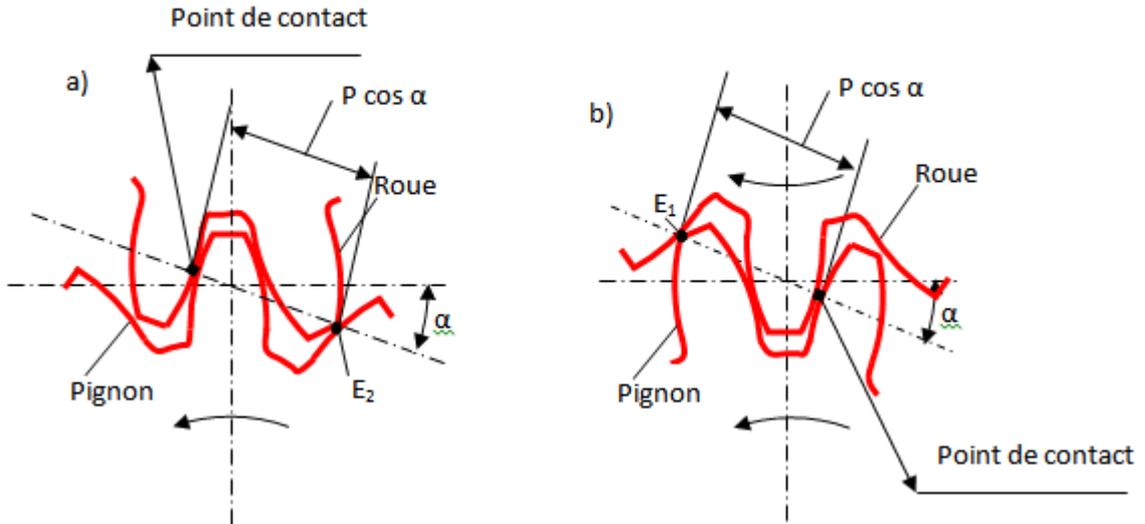


Fig.II.8. Dents en prise lors de l'engrènement.

- Pour pouvoir déterminer le facteur auxiliaire q_L (fig II.9).

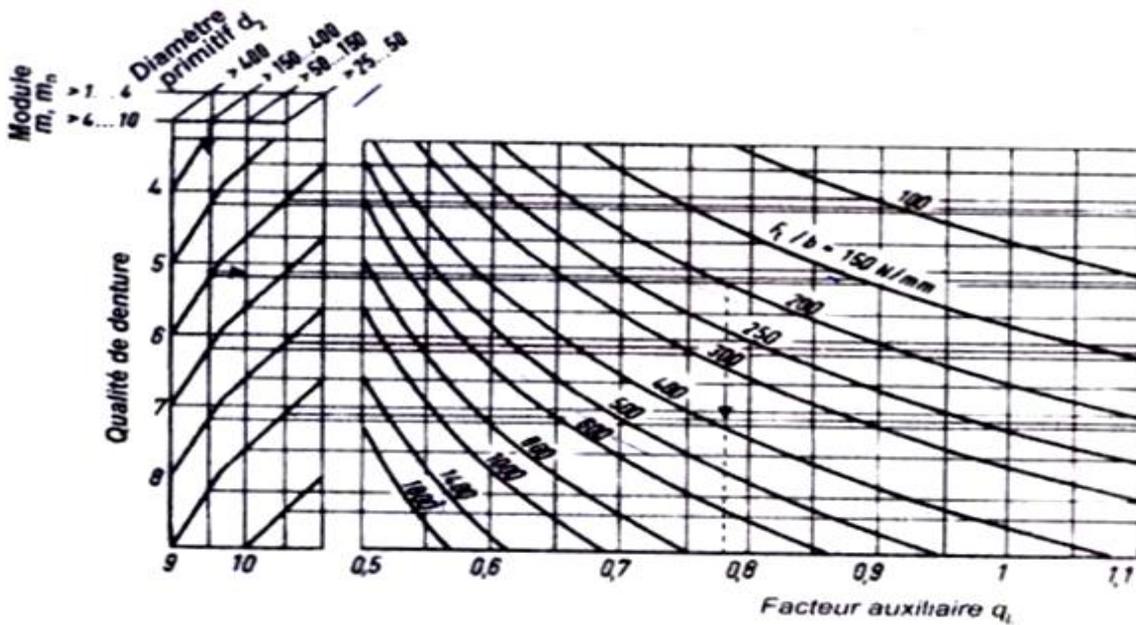


Fig.II.9. Détermination du facteur auxiliaire q_L pour la détermination du facteur de conduite Y_e et facteur de répartition de charge Z_e .

II-3-7 Vérification de la résistance des flancs

Comme pour les engrenages cylindriques à denture droite, la pression de contact au point de roulement est :

$$P_{max} = \sqrt{\frac{F_t}{b \cdot d_1} \cdot \frac{u+1}{u}} \cdot Z_M \cdot Z_H \cdot Z_\varepsilon \leq [P] \quad (21)$$

Avec :

- ✓ F_t : force tangentielle en N ;
- ✓ b : largeur de la roue égale à la longueur de la ligne de contact en mm ;
- ✓ u : rapport de nombre de dents = Z_1/Z_2 ;
- ✓ d_1 : diamètre primitif du pignon en mm ;
- ✓ Z_M : facteur de matériau ;
- ✓ Z_H : facteur de forme ;
- ✓ Z_ε : facteur de répartition de charge ;
- ✓ $[p]$: pression admissible en N/mm².

La détermination de Z_ε passe par la détermination du facteur auxiliaire q_l :

- Si $q_l > \frac{1}{\varepsilon_\alpha}$, on obtient $Z_\varepsilon = 1$;
- Si $q_l \leq \frac{1}{\varepsilon_\alpha}$, on obtient $Z_\varepsilon = \sqrt{1/\varepsilon_\alpha}$.

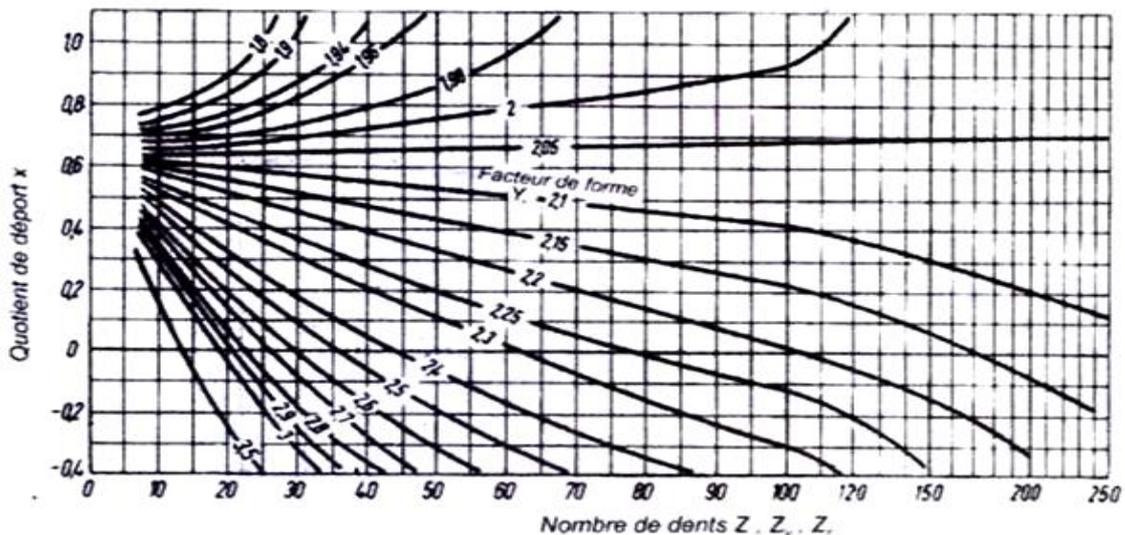


Fig.II.10. Détermination du facteur de forme de dent pour le calcul de la résistance de la racine de la dent.

II-3-8 Compléments concernant la fabrication des engrenages

Le taillage par génération est le procédé de dentures le plus utilisé. il nécessite évidemment une machine spéciale. [5]

Rentabilisée par des fabrications en grandes séries. Les outils utilisés sont :

-L'outil crémaillère : il ne peut pas tailler en principe moins de 17 dents

-L'outil pignon : le principe est le même que l'outil crémaillère .mais l'outil a la forme d'une roue dentée .le nombre de dents moins de 12 dents

-La fraise- mère : l'idée est de donner à l'outil crémaillère un mouvement de coupe par rotation, au lieu du mouvement alternatif

Environ 4 fois plus rapide que l'outil crémaillère

-Le fraisage : avec un outil ayant déjà la forme en développante de cercle n'est qu'un procédé de fabrication unitaire. Ou de dépannage. Le seul avantage est d'utiliser une fraiseuse classique. Mais il faut usiner dent par dent. La fraise possède un profil très spécifique qui n'est adapté que pour un module. Et surtout un nombre de dents bien définis.

-Le moulage : de roues dentées en matières plastiques n'est pas réservé aux jouets, de plus en plus de réducteurs industriels utilisent ces matériaux.

-Le découpage (à la presse, au laser, au jet d'eau..) dans une tôle peut donner des dentures d'une précision convenable pour certaines applications (tournebroche...)

II-3-9 Résistance des engrenages

II-3-9-1 Choix des matériaux (ISO 21771)

Les matériaux des roues peuvent être, d'après les conditions de fonctionnement, choisis préalablement, s'ils doivent être connus pour la détermination approximative des dimensions principales. Ils peuvent, quand la vérification de la résistance l'exige, être changés.

Les pignons sont souvent en acier; alors que les grandes roues dentées, selon les sollicitations, sont soit en fonte, soit en acier moulé soit encore en acier. Les grandes roues, dont les dents ont subi un revenu ou sont trempées, se présentent sous forme de couronnes, en acier correspondant, montées pressées sur des corps (par exemple en fonte) [4].

Le matériau du pignon doit, à cause de la grande usure, être toujours plus dur que celui de la grande roue. En général, on pose:

$$Hb_{pignon} \geq Hb_{roue} + \frac{150N}{mm^2} \left(\frac{N}{mm^2} \right). \quad (22)$$

Le couplage de roues en acier non trempé est formellement à éviter à cause du grippage (usure adhésive) des surfaces de contact.

Durant l'engrènement, les dents en prise fléchissent, de plus leur nombre varie (2 – 3), ce qui engendre du bruit et des vibrations.

Matériaux utilisés:

- Fonte à graphite sphéroïdal FGS : Roues de grandes dimensions.
- Aciers ordinaires type C 40 : Engrenages peu chargés.
- Aciers au nickel-chrome (10 NC 12) : Engrenages fortement chargés.
- Matières plastiques : Nylon, Téflon.

Le choix préalable des matériaux et leur comportement peut être effectué à l'aide du (tableau6).

Tab.II.4. Instructions pour le choix des matériaux pour les engrenages cylindrique. [4]

		Matériaux	
N	Exigences et exemples d'utilisation	Pignon	Grande roue
1	Petites charges et petites vitesses; fonctionnement intermittent, treuil, mécanisme de levage.	Ft, A 42, A 50, matières plastiques.	Ft15, Ft20, matièresplastiques.
2	Charges et vitesses moyennes; transmission usuelle, installation de transport, petites machines-outils.	Ft, A 50, A 60, acier moulé, matières plastiques.	F _t 20, F _t 25, F _t 30, FGS 380, FGS 420, 190-380M, 230-450M, matières plastiques.
3	Charges et vitesses élevées;réducteurs universels, machines-outils, construction de machines en général,	A 60, A70.Aciers d'amélioration.	de Ft 30 à Ft 40, de FGS 500 à FGS 700, 260-520M, 300-600M,Aciers d'amélioration (bandage)
4	Les exigences les plus élevées; automobiles, machines motrices, réducteurs de bateaux.	A 60, A 70, aciers trempés, aciers d'amélioration, aciers de cémentation.	300-600M, aciers d'amélioration, aciers de cémentation (bandage).

Tab.II.5.Caractéristiques mécaniques des matériaux pour les engrenages cylindriques et Coniques (les valeurs sont données pour une rugosité $R_t = 3 \dots 6 \mu m$).

N°	Matériaux	Traitement Thermique	Degré de dureté de surface des flancs ¹⁾ HV10, HV1*	Résistance de roue dentée				
				Limite d'endurance des flancs P_D^{2*} N/mm ²	Limite d'endurance à la flexion répétée ^{3*} σ_{DRF} N/mm ²	Limite d'endurance à la flexion alternée ^{3*} σ_{DAF} N/mm ²	Résistance à la rupture R_m N/mm ²	
01	Fontes grises	Ft20		270	50	35	200	
02		Ft25		310	60	42	250	
03		Ft35		360	80	56	350	
04	Fontes à graphite sphéroïdal	FGS 420		360	200	140	800	
05		FGS 500		420	210	150	900	
06		FGS 600		490	220	155	1000	
07		FGS 700		525	230	160	1100	
08	Aciers moulés	230-450M		280	130	90	410	
09		260-520M		340	150	105	470	
10		300-600M		420	170	120	520	
11	Aciers de construction à usage général	A42		290	170	120	450	
12		A50		340	190	135	550	
13		A60		400	200	140	650	
14		A70		460	220	140	800	
15	Aciers d'amélioration	XC25	Revenu	140	440	170	120	600
16		XC48	Trempé en	560	1100	270	190	1000
17		XC48	rotation.	400*	1100	350	250	1100
18		XC65	nitruré dans un	210	620	220	155	900
19		32 C 4	bain	260	650	260	180	900
20		37 C 4	revenu	260	650	270	190	950
21		37 C 4	revenu	610	1280	310	220	1150
22		42 CD 4	revenu	280	670	290	200	1100
23		42 CD 4	trempé en	650	1360	350	250	1300
24		42 CD 4	rotation	500*	1220	430	300	1450
25		34 CND 6	revenu	310	770	320	225	1300
26	Aciers de cémentation	XC18		720*	1600	230	160	900
27		16MC5		720*	1630	460	320	1400
28		20MC5		720*	1630	480	335	1500
29		20DC4	cémenté	720*	1630	400	280	1300
30		16CN6		720*	1630	500	350	1600
31		18CN8		740*	1630	500	350	1700
32		18 CND 6		740*	1630	500	350	1700

1) L'essai de dureté de Vickers HV 10 ou encore HV 1*.

2) Les valeurs de P_D correspondent à une formation de piqures sur 1...2% de la surface active des flancs après environ $5 \cdot 10^7$ passages du pignon.

3) Valeurs de σ_{DAF} de σ_{DRF} correspondent à au moins $3 \cdot 10^6$ cycles de charge sans risque de rupture.

II-4 LES LUBRIFIANTS

Les lubrifiants ont pour rôle de réduire les frottements entre pièces en mouvement. Les lubrifiants peuvent être liquides ou fluides (huiles), consistants (graisses ou gel de silicone), ou solides (graphite, téflon).

Les performances et caractéristiques diffèrent d'un lubrifiant à l'autre, leur seul point commun est qu'ils sont tous composés d'un constituant principal appelé « base lubrifiante », qui représente 75 à 85% de l'huile ou d'une graisse et qui peut être d'origine pétrolière ou synthétique.

Un lubrifiant caractérisé telles que sa stabilité chimique, sa viscosité dynamique, viscosité cinématique (elle est donnée pour une température de référence de 40°C), son point éclair (température d'inflammation des vapeurs du fluide), son point de congélation (température à laquelle le fluide ne coule plus), etc.

II-4-1 Types de lubrification

- Hydrodynamique : séparation de deux surfaces par un film relativement épais, par un mouvement dynamique de la pièce en mouvement.
- Hydrostatique : introduction de lubrifiant sous pression entre les surfaces en mouvement (source de pression).
- Elastohydrodynamique : semblable à hydrodynamique mais une des surfaces roule (roulement, dent profilée d'engrenage).

II-4-2 Lubrification des engrenages

Pour fonctionner avec fiabilité, les engrenages doivent être convenablement lubrifiés, de façon à éviter un contact métallique direct .de plus, une lubrification correcte empêche l'usure et protège les surfaces de la corrosion, le choix du lubrifiant dépend, en premier lieu, des conditions de fonctionnement, c'est-à-dire de la plage de températures et de la vitesse, ainsi que l'influence de l'environnement.[6].

Cependant, si le lubrifiant doit remplir des fonctions additionnelles, telles que l'étanchéité ou la dissipation de chaleur, des quantités plus importantes sont requises.

Le pouvoir lubrifiant d'une graisse ou d'une huile diminue dans le temps par suite des contraintes mécaniques, du vieillissement et de la contamination.il est donc nécessaire de procéder à des appoints de graisse ou à un renouvellement compte de celle-ci, et de filtrer et remplacer l'huile à intervalles réguliers.

La norme NFISO/TR 3498 donne des recommandations pour le choix des lubrifiants pour machines- outils (réducteur, boîte de vitesse ...).

II-4-3 Type du système de lubrification

II-4-3-1 Lubrification à l'huile

Les engrenages utilisés en transmission de puissance sont généralement lubrifiés à l'huile (environ 90% des engrenages). L'huile permet notamment de mieux dissiper la chaleur et d'évacuer les calories ainsi que les particules d'usure produites par le frottement entre les dents en contact.

Le frottement entre les dents évolue entre un frottement onctueux et un frottement hydrodynamique, plusieurs cas sont possibles[7].

a) Lubrification par bain d'huile (par barbotage)

Le bas des roues trempe en permanence dans un bain d'huile, avec la rotation, les dents entraînent une certaine quantité d'huile qui permet la lubrification au niveau des dents en contact. Des dispositifs avec racleurs ou palettes sont parfois indispensables si les vitesses sont trop faibles. La hauteur d'immersion doit être sensiblement la même pour chaque roue trempée, ni trop faible, ni trop grande (une trop grande immersion peut provoquer un phénomène de barattage et une élévation de la température). Il est indispensable de surveiller les niveaux prescrits.

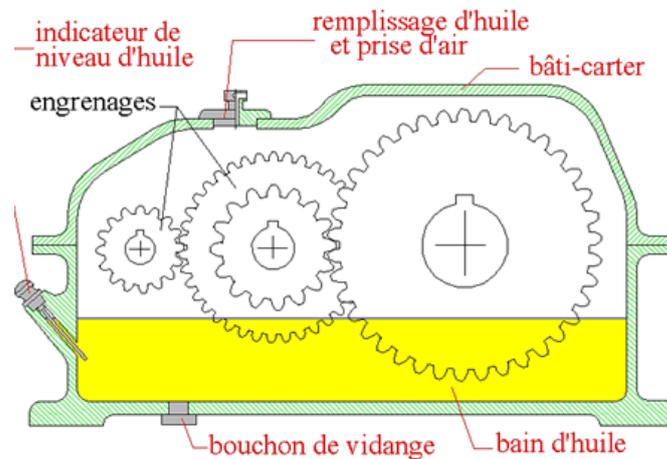


Fig.II.12. Lubrification par bain d'huile (barbotage).

b) Lubrification par bain et ruissellement (barbotage et projection) :

Si les projections et le ruissellement sont suffisants, l'huile projetée sur les parois par effet centrifuge peut être recueillie (goulottes, larmiers...) puis canalisée vers les parties à lubrifier (dentures, roulements...).

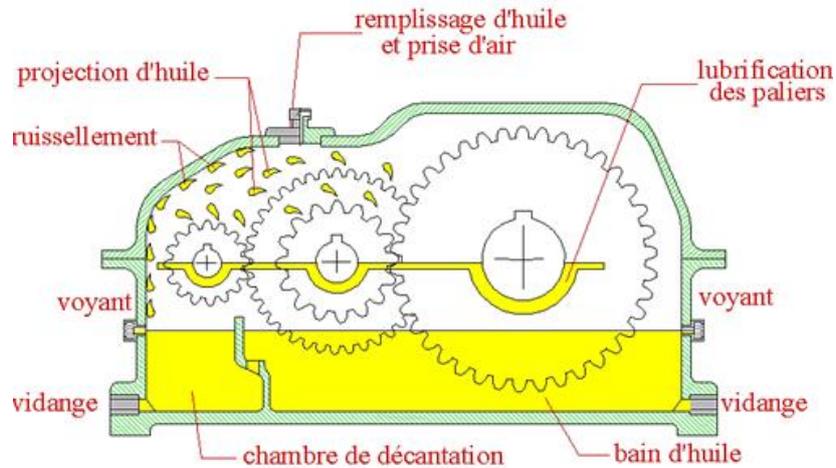


Fig.II.13. Lubrification par bain et ruissellement (barbotage et projection).

c) Lubrification par circulation d'huile :

L'huile circule en permanence et arrive près des points à lubrifier grâce à une pompe et des canalisations (même principe qu'un moteur d'automobile). Le dispositif permet d'apporter la quantité d'huile strictement nécessaire là où elle est indispensable. De plus il est facile d'incorporer des unités de filtration des échangeurs thermiques (radiateurs...), des réchauffeurs, etc.

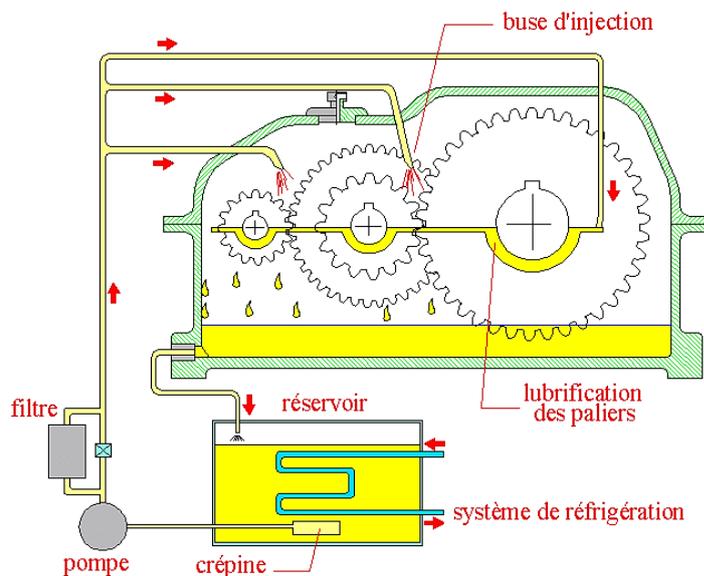


Fig.II.14. Lubrification par circulation d'huile.

d. Lubrification par brouillard d'huile ou air –huile :

Elle est utilisée aux vitesses très élevées (engrenages, roulements).

Principe : un débit constant d'air comprimé aspire et pulvérise une certaine quantité d'huile sous forme de fines gouttelettes. Le brouillard ainsi constitué est amené par un réseau de canalisations près des points à lubrifier. En ce point, des rétrécissements (raccord de condensation ou tuyères) condensent l'huile sous forme de gouttes plus grosses directement utilisables pour la lubrification.

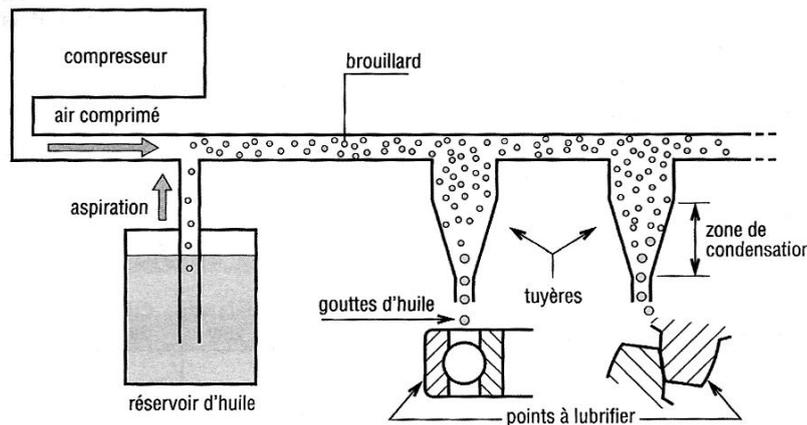


Fig.II.15. Lubrification par brouillard d'huile.

II-4-3-2 Lubrification à la graisse

Les graisses utilisées doivent avoir une consistance suffisante, présenter une bonne stabilité au malaxage et contenir des additives extrêmes pressions.

La lubrification à la graisse ne permet pas, contrairement à l'huile, d'évacuer la chaleur ou les calories engendrées par le frottement. Même remarque en ce qui concerne les particules produites par l'usure. Par contre, elle permet le graissage à vie (cas de l'électroménager) ou le renouvellement à de très longs intervalles, de supprimer ou de limiter les fuites de lubrifiant (qui sont à proscrire en agroalimentaire, papeterie...). En pratique, elle est surtout utilisée avec les petits réducteurs transmettant peu de puissance[19].

II-4-3-3 Lubrification solides

Le graphite et le bisulfure de molybdène constituent les deux lubrifiants solides utilisés dans les conditions extrêmes (vide poussé, températures trop hautes ou trop basses).le graphite peut être utilisé jusqu'à 400°C, au-delà il devient abrasif. Aux basses températures ont utilisé les téflons, nylons et divers polyamides.

II-4-4 Avantages et inconvénients des principaux modes de lubrification pour l'engrenage :

Tab.II.4. Les avantages et inconvénients des types de lubrification pour engrenage [8].

Type de lubrification	Avantages	Inconvénients
HUILE	Permet aux engrenages de pouvoir fonctionner sous de fortes charges. Permet d'évacuer les particules produites par l'usure. Permet d'évacuer la chaleur et les calories engendrées par le frottement.	Exige dans certains cas des installations complexes avec système de circulation et dispositifs divers: pompe, zones de refroidissement, de régénération... Exige un système de surveillance et de maintenance plus élaboré: analyses, etc.
GRAISSE	Permet le graissage à vie Permet de Supprimer ou de réduire les fuites de lubrifiant (nuisibles en agro-alimentaire, papeterie...) Maintenance ou entretien plus réduit (plus longs intervalles de renouvellement) Permet une protection efficace contre la corrosion et l'oxydation (en particulier en fonctionnement discontinu) Avec le temps, altère moins les joints d'étanchéité en élastomère que les huiles.	Ne convient qu'aux petits réducteurs. Ne permet pas d'évacuer la chaleur ou les calories produites par le frottement entre les dents en contact. Ne permet pas d'évacuer les particules produites par l'usure. Exige l'emploi de dentures plus dures (dureté supérieure). Exige des déflecteurs pour orienter la graisse vers les zones à lubrifier et un bon "dessin " du carter. Le renouvellement de la graisse usagée exige dans certains cas un rinçage préalable.
LUBRIFIANTS SOLIDES	Peuvent fonctionner sous des températures très élevées (fours...) Solution possible pour les engrenages nus (sans carter de protection). Souvent utilisés comme additifs avec les huiles et les graisses.	Ne peuvent pas dissiper la chaleur produite Engrenages soumis à de faibles charges

II-5 Les Principaux types d'avaries dans les engrenages

Qu'est-ce que les avaries d'engrenages ?

Les avaries telles que la fatigue de flexion et de contact sont une préoccupation majeure dans les procédures de conceptions des engrenages influant fortement sur la géométrie des dents et les niveaux de charges admissibles (via la norme ISO 6336 en particulier). Au contraire, l'usure et ses conséquences ou les interactions avec d'autres mécanismes de défaillance ont suscité moins d'intérêt en dépit de ses répercussions importantes sur la durabilité des transmissions mécaniques. Les conditions de contact entre les flancs de dents usées peuvent être sensiblement modifiées perturbant ainsi les distributions de charge et les contraintes mais également le bruit et les vibrations d'un engrenage, ce qui justifie des études statiques et dynamiques approfondies.[9], [10], [11]

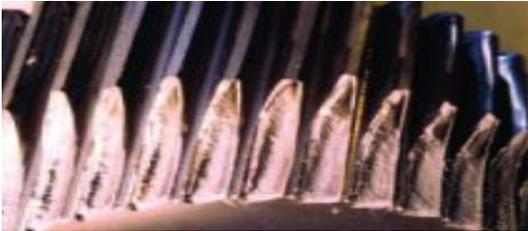
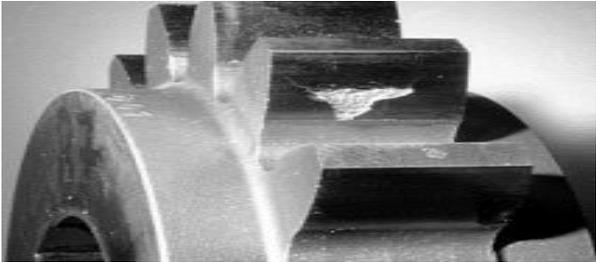
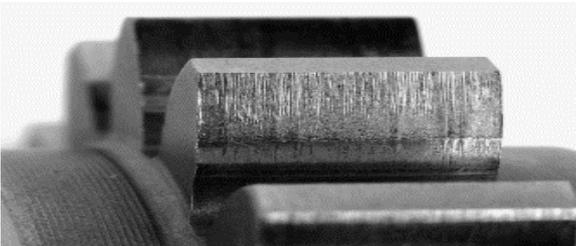
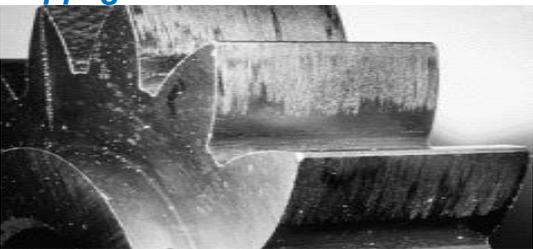
Type d'avaries	Identification
<p>Fatigue de flexion</p> 	<p>La fatigue de flexion résulte de fissures initiées en pied de dent qui peuvent entraîner la rupture de toute ou partie d'une dent. Cette avarie est généralement associée à une charge excessive conduisant à des contraintes en pied de dent supérieures à la limite d'endurance du matériau des engrenages.</p>
<p>Pitting (Piqûre)</p> 	<p>Il s'agit d'une avarie typique de la fatigue de contact produite par un nombre de cycles répétés de chargement. Elle se produit sur les surfaces soumises à des contacts avec roulement/glissement fortement chargés (engrenages, paliers....).</p>
<p>Usure</p> 	<p>L'usure est un processus continu combinant un ensemble complexe de phénomènes conduisant à une émission de débris caractérisé par une perte de masse, de côtes, de forme ainsi que des transformations physico-chimiques des surfaces en lien avec l'évolution du nombre de cycles de sollicitation.</p>
<p>Grippage</p> 	<p>Il s'agit d'une avarie instantanée des surfaces de dentures (donc très brutale) qui est attribuée à une rupture du film lubrifiant en lien avec des températures de surface très élevées. Ce type d'avarie se produit dans les zones où les pressions et vitesses de glissement sont élevées.</p>

Fig.II.16.principaux types d'avaries dans les engrenages.

III-1 Généralités sur la boîte de vitesse

1) Définition de la boîte de vitesse

Une boîte de vitesse est un dispositif mécanique, permettant d'adapter la transmission d'un mouvement entre un arbre moteur et un arbre récepteur. Utilisée dans de multiples contextes (machine-outil, véhicule automobile , etc.), son cas d'utilisation le plus fréquent est la transformation et la transmission de la puissance d'un moteur souvent en augmentant le couple moteur en réduisant la vitesse de rotation.

2) Rôle de la boîte de vitesse

Adapter le couple moteur au couple résistant en utilisant les différents rapports, aussi permettre l'inversion du sens de rotation de la transmission (marche arrière).

3) Emplacement de la boîte de vitesse

La boîte de vitesse se situe entre l'embrayage et l'arbre de transmission.

4) Constitution de la boîte de vitesse

Généralement, les boîtes de vitesse sont composées d'arbres (entrée-intermédiaires-sortie).

III-2 Définition de boîte de vitesse BV ZF -S5-42

➤ Description de la boîte de vitesse et fonctionnement

La boîte de vitesses synchronisée ZF S5-42 a spécialement été conçue pour être utilisée dans les véhicules utilitaires de classe moyenne/élevée. [20]

Cette boîte se compose essentiellement :

- D'une boîte de base à quatre vitesses entièrement synchronisée ;
- D'un rapport de marche arrière et d'une vitesse extra-lente intégrés ;
- D'un groupe- relais à train planétaire monté en aval de la boîte.

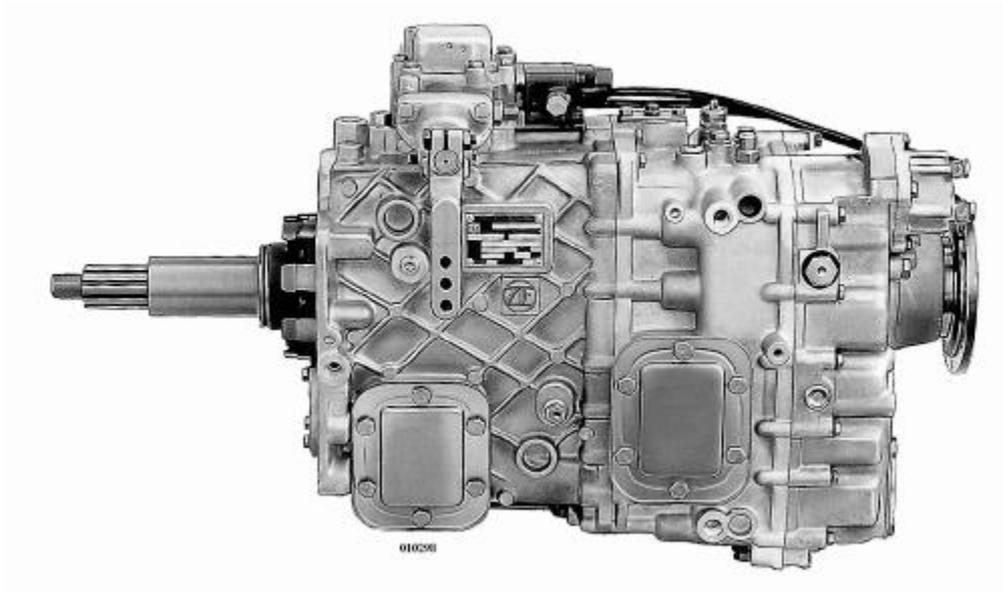


Fig.III.1. Boite de vitesse ZF S5-42.

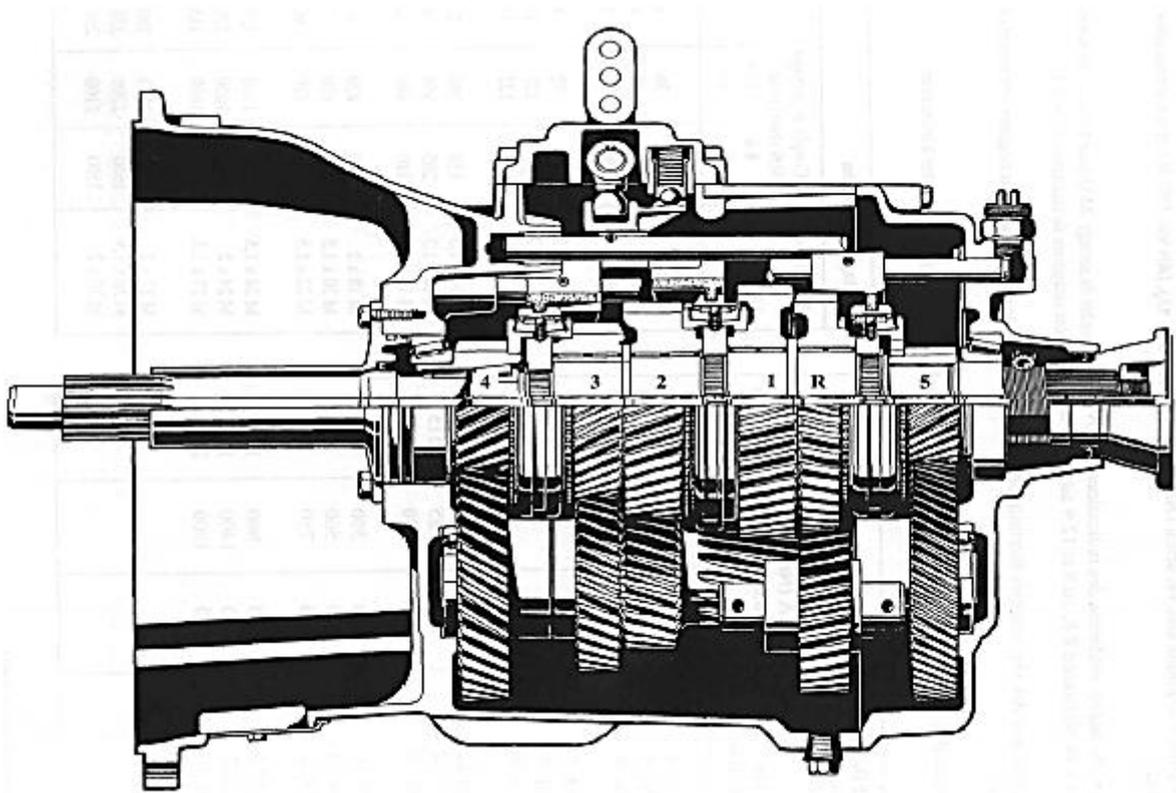


Fig.III.2. Version à vitesse surmultipliée (BV : S5-42).

II-2. Nomenclatures de la boîte de vitesse

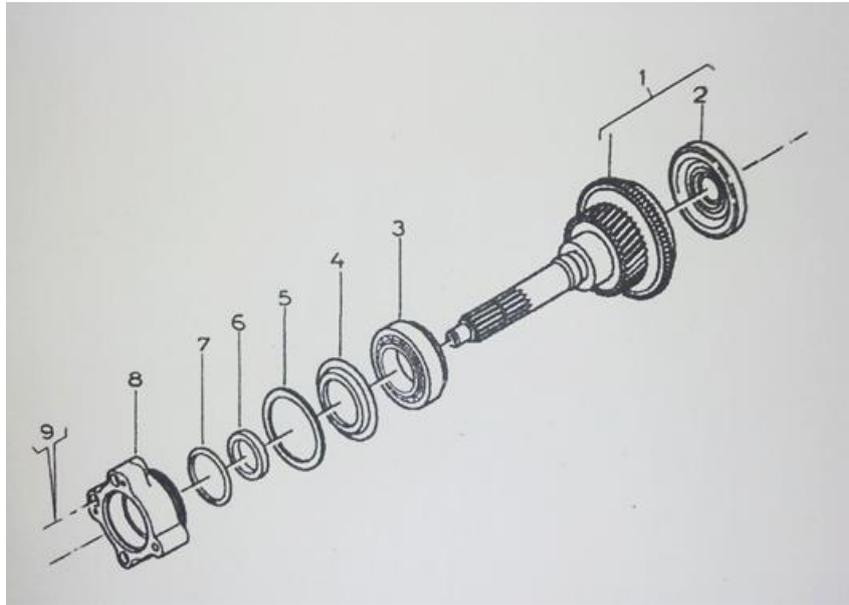


Fig.III.3. Arbre de commande.

Tab.III.1. Nomenclature (arbre de commande)

Rep	N° de la pièce	Qté	Désignation
1	00 01 132 636	1	Arbre d'entrée
2	00 01 132 637	1	Disque de retenue
3	50 01 822 947	1	Roulement 50.8*92*25.4
4	50 00 293 341	1	bague56*91.9*3
5	50 00 293 341	1	Rondelle
6	50 00 293 888	1	Bague AF 40*52*7
7	5000293887	1	Joints torique 85*4
8	00 01 132 638	1	Bride de palier
9	00 01 132 639	3	Vis CM 8*60

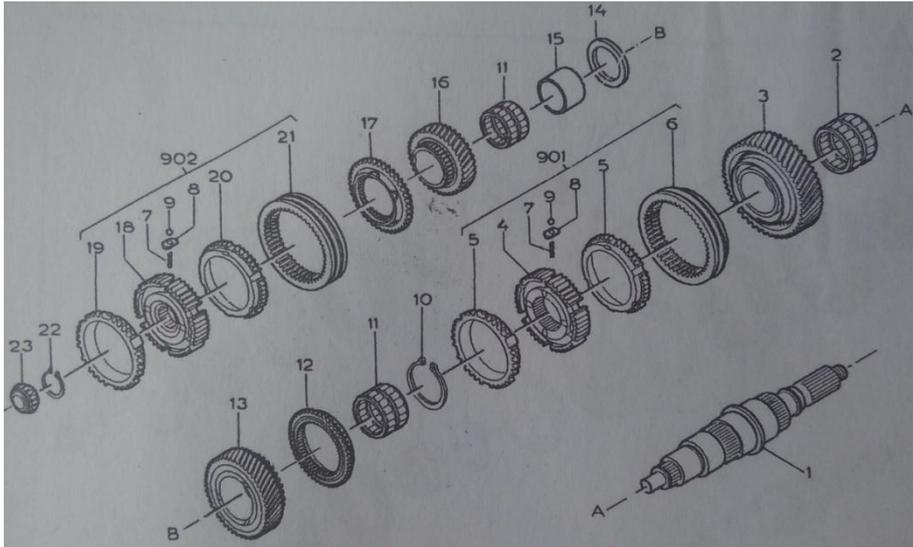
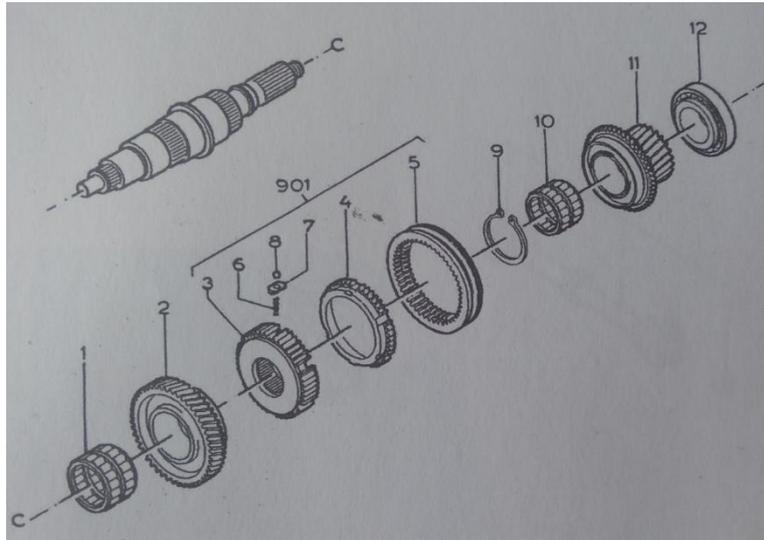


Fig.III.4. Arbre principal avant.

Tab.III.2. Nomenclature (Arbre principal avant).

Rep	N° de la pièce	Qté	Désignation
1	00 01 132 642	1	Arbre principale
2	50 00 294 015	1	Cage a aiguilles 67*73*37
3	00 01 132647	1	Pignon de 1 ère
4	00 01 128 685	1	Moyeu de synchro
5	00 01 132 649	2	Bague de synchro
6	50 00 940 045	1	Manchon baladeur
7	50 00 294 020	6	Ressort de pression
8	5000 294022	6	Poussoir
9	6005 000508	6	Bille
10	0001 032644	1	Circlips
11	5000 294046	2	Cage a aiguilles 60*66*42
12	0001132648	2	Manchon d'accouplement
13	0001 132650	1	Pignon 2 éme
14	5000294048	1	Rondelle
15	5000 294049	1	Douille
16	0001132651	1	Pignon de 3 éme
17	0001 132652	1	manchon d'accouplement
18	0001 128690	1	Moyeu de synchro
19	0001 128677	1	Bague de synchro
20	0001 132653	1	Bague de synchro
21	5000 294056	1	Manchon baladeur
22	5000 294056	1	Circlips
23	5000 294061	1	Roulement conique 24*28.5
24	0001128684	1	ENS. Synchro de 1 ère / 2éme
25	0001128689	1	ENS. Synchro de 3 éme /4 éme



FigIII.5. Arbre principal arrière.

Tab.III.3. Nomenclature(arbre principal arrière).

Rep	N° de la pièce	Qté	Désignation
1	50 00 294 015	1	Cage a aiguilles 67*73*37
2	00 01 132 643	1	Pignon de M – AR
3	50 00 394 017	1	Moyeu de synchro
4	00 01128 677	1	Bague de synchro
5	50 01 823 290	1	Manchon de baladeur
6	50 00 294 020	3	Ressort de pression
7	5000294022	3	Poussoir
8	6005000508	1	Bille
9	0001 132644	1	Circlips
10	5000 294032	1	Cage a aiguilles 43*48*39.5
11	0001 128678	1	Pignon de 5 éme
12	5001 822322	1	Roulement à rouleaux 42*92*25.4
13	0001 128676	1	ENS synchro de 5 éme / M- AR

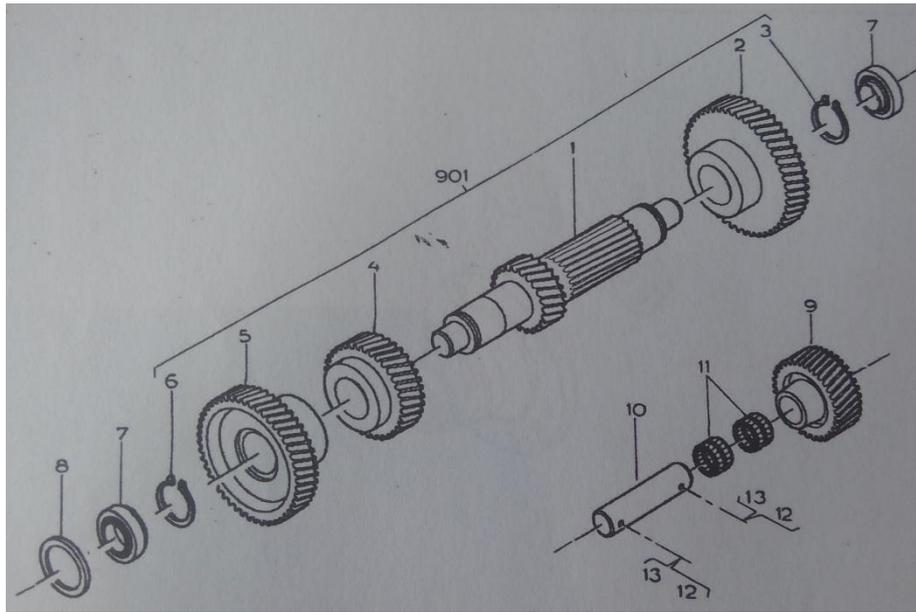


Fig.III.6. arbre Intermédiaire

Tab.III.4 Nomenclature(arbre Intermédiaire)

Rep	N° de la pièce	Qté	Désignation
1	0001 128671	1	Arbre intermédiaire
2	0001 128672	1	Pignon de 5 ème -57 dents
3	0253 101 049	1	Circlips 40*1.75
4	0001128673	1	Pignon de 3 ème -31 dents
5	0001 132 641	1	Pignon de 45 dents
6	02 53109105	1	Circlips 45x1.75
7	5000293913	1	Roulement à rouleaux 31.7*66.4*25.4
8	5000 293 906	1	Rondelles
9	0001132954	1	Pignon de M-AR
10	5000293958	1	Axe
11	5000293956	1	Cage a aiguilles 30*38*30
12	0001128693	2	Vis CHC M 8*50
13	0001128694	2	Bague joint 8.7*13*1
14	0001132640	1	ENS. Arbre intermédiaire

➤ *Le système de lubrification*

Dans la plupart des cas, la lubrification de la boîte de vitesse est réalisée par un graissage onctueux par barbotage.

Une partie des pignons seulement est au contact du bain d'huile et celle – ci prélevée en tournant, assure le graissage de la denture des pignons. La centrifugation de l'huile provoque une pulvérisation sur tous les organes et une projection importante sur les parois du carter.

Ce contact avec le carter contribue pour une grande part au refroidissement de l'huile.

Des rainures hélicoïdales pratiquées sur les faces latérales des pignons, facilitent l'accès de l'huile vers les axes et les paliers.

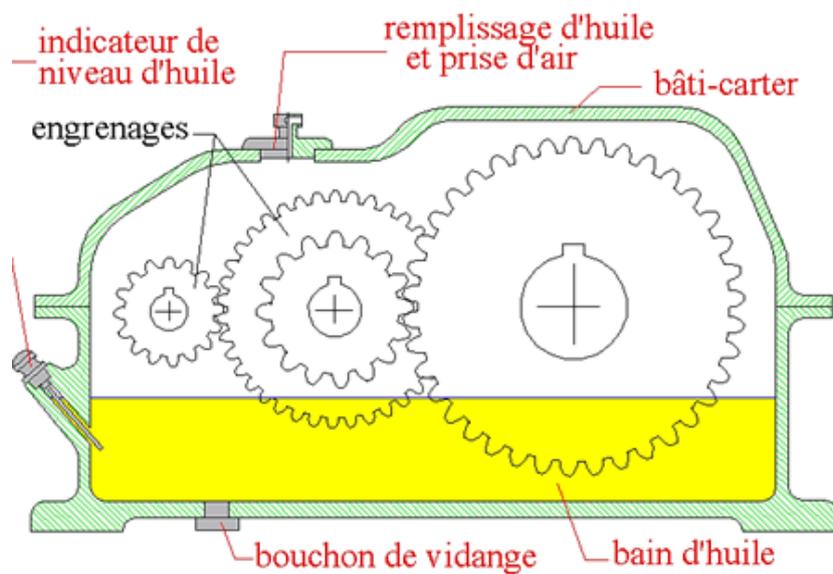


Fig.III.9.Lubrification par bain d'huile (barbotage).

➤ *Les défaillances de notre cas :*



Fig.III.10. Différents défaillances sur les dents.

IV-1 Introduction

L'absence des techniques scientifiques facilitant l'utilisation rationnelle des équipements d'une part et le manque d'une politique de maintenance d'autre part, ont un impact direct et néfaste sur l'équipement.

Donc notre étude consiste au traitement et à l'analyse des informations recueillies, ainsi à la détermination du taux de défaillance qui caractérise la fiabilité des systèmes.

IV-2 Historique des pannes (boîte à vitesse ZF S5-42) type de véhicule K66 :

En se basant sur l'historique que nous avons récupéré au niveau de l'entreprise SNVI. Nous allons déterminer les indicateurs maintenance à l'évolution de cet équipement.

L'historique des données de cette boîte de vitesse pour 7ans (depuis le 21/02/2010 jusqu'au 24/03/2016) sont regroupées dans le tableau suivant :

Tab.IV.1 Historique des pannes sur la boîte à vitesse.

N°	date d'entrée	date de sortie	Panne
1	21/02/201010:30	23/02/201012:00	pas de rotation au niveau des vitesses
2	06/06/201009:30	07/06/201010:30	lubrification non conforme
3	05/08/201010:30	06/08/201016:00	fuite d'huile
4	04/01/201109:30	06/01/201113:00	serrage des vis
5	05/04/201108:30	07/04/201115:00	changement de roulement
6	09/06/201114:00	12/06/201109:00	pas de rotation (pignon endommagé)
7	02/08/201110:00	05/08/201114:00	synchro grippé
8	12/11/201108:30	14/11/201109:00	pignon M.A ne fonctionne pas
9	09/01/201213:00	13/01/201209:00	fixation et serrage des vis
10	04/10/201214:00	06/10/201211:15	cassure dans les dents de pignon
11	19/12/201210:30	22/12/201215:00	réglage défaut d'alignement des arbres
12	20/05/201309:00	21/05/201313:00	roulement endommagée
13	10/06/201311:00	13/06/201310:00	corrosion des pignons
14	05/11/201314:30	07/11/201309:00	échauffement de pignon 3ème
15	08/02/201411:00	09/02/201410:30	défait d'alignement des arbres
16	15/10/201409:00	18/10/201411:00	piqûre dans la roue dentée
17	02/02/201511:00	03/02/201509:30	mauvaise engrainement des dents
18	20/10/201509:30	22/10/201513:00	lubrification non conforme
19	10/01/201614:00	12/01/201610:00	Changement du joint, rondelle
20	02/02/201615:15	04/02/201609:00	grippage localisé sur le flanc de dent (pignon 3ème)
21	21/03/201609:30	24/03/201610:00	arrachement total des dents (pignon 4ème)

IV-3 Application pratique des Méthodes d'analyse

IV-3-1 Méthode d'analyse prévisionnelle(ABC)

Tout d'abord il faut faire un classement des pannes par ordre décroissant des heures des panne puis nous a permis de réaliser les résultats de graphe de Pareto selon la règle de la loi ABC.

Tab.IV.2 L'analyse ABC.

N°	Organe	TTR	cumul TTR	% TTR	Nbre des pannes	cumulées des pannes	% de pannes cumulées
1	Engrenage (pignon)	601,20	601,20	60,56	11	11	52,38
2	lubrification non conforme, fuite	122,50	723,70	72,90	3	14	66,66
3	réglage défaut d'alignement	115,50	839,20	84,54	2	16	76,19
4	Roulement	77,50	916,70	92,34	2	18	85,71
5	changement du joint, rondelle	76,00	992,70	93,28	1	19	90,47
6	fixation et serrage des vis	71,50	1064,20	100	2	21	100

IV-3-2 La courbe d'analyse ABC

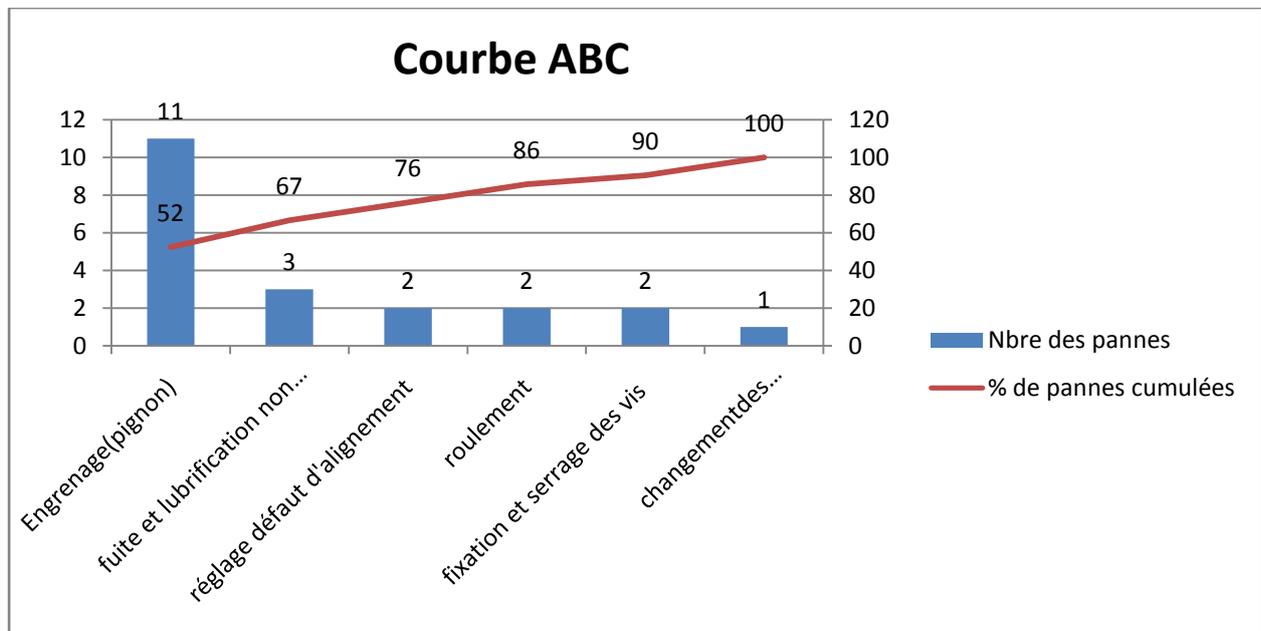


Fig.IV.1 Courbe ABC

➤ **Interprétation des résultats**

Dans cette courbe, on peut constater que 52% des pannes cumulent 76% des temps d'arrêt : il serait sans doute nécessaire d'exercer une maintenance préventive sur ce matériel.

Plus exactement cette courbe montre le classement des différents types de défaillance par ordre d'importance en se basant sur le nombre de panne. Ceci montre clairement que le pignon est l'élément le plus défaillant.

IV-4 La fiabilité

IV-4-1 Application du modèle de WEIBULL

Dans notre cas, on applique la loi de weibull sur un nombre N d'échantillons, égale à 21.

Tab.IV.3. Fonction de répartition réelle $F(t_i)$ en %.

Rang	TBF	Ni	$\sum ni$	Fe(ti)théori	Fe(ti)théori%
1	168	1	1	0,045	4,545
2	504	1	2	0,091	9,091
3	552	1	3	0,136	13,636
4	1152	1	4	0,182	18,182
5	1296	1	5	0,227	22,727
6	1392	1	6	0,273	27,273
7	1440	1	7	0,318	31,818
8	1560	1	8	0,364	36,364
9	1824	1	9	0,409	40,909
10	1968	1	10	0,455	45,455
11	2184	1	11	0,500	50,000
12	2280	1	12	0,545	54,545
13	2448	1	13	0,591	59,091
14	2520	1	14	0,636	63,636
15	2640	1	15	0,682	68,182
16	3552	1	16	0,727	72,727
17	3646	1	17	0,773	77,273
18	3648	1	18	0,818	81,818
19	5976	1	19	0,864	86,364
20	6240	1	20	0,909	90,909
21	6456	1	21	0,955	95,455

IV-4-2 Test Kolmogorov Smirnov:

- Avant la validation de toutes les lois de fiabilité, il est nécessaire de tester l’hypothèse pour savoir si nous devons accepter ou rejeter. Le test KolmogorovSmirnov consiste à calculer l’écart entre la fonction théorique $F_e(t_i)$ et la fonction réelle $F(t_i)$ et prendre le maximum en valeur absolue $D_{n, \max}$ i.e :

$$D_n = \sup |F(t_i) - F_e(t_i)| \quad (2)$$

- On lit la valeur critique $D_{n, \alpha}$ dans la table de la loi du test Kolmogorov-Smirnov (Annexe). Si $D_{n, \max} < D_{n, \alpha}$ on a accepté l’hypothèse si non on la rejette.

F(ti)	Fe(ti)théori	Dn
0,10274038	0,045	0,057
0,21895414	0,091	0,128
0,23246464	0,136	0,096
0,36832801	0,182	0,187
0,39456751	0,227	0,167
0,41106543	0,273	0,138
0,41904061	0,318	0,101
0,47712851	0,364	0,113
0,43823673	0,409	0,029
0,4966381	0,455	0,042
0,52393947	0,500	0,024
0,53538524	0,545	0,010
0,55448743	0,591	0,036
0,56233445	0,636	0,074
0,57498835	0,682	0,107
0,65661829	0,727	0,071
0,66380332	0,773	0,109
0,66395405	0,818	0,154
0,79382879	0,864	0,070
0,8042824	0,909	0,105
0,81236323	0,955	0,142

Tab.IV.4. Ecart entre les fonctions de répartition réelle et théorique.

D’après les calculs de D_n on a trouvé que : **$D_{n, \max} = 0,187$** .

On se fixe un risque d’erreur de 5% c’est -à-dire le niveau significatif $\alpha = 0,05$, et en se référant à la table du teste de Kolmogorov-Smirnov, on obtient : **$D_{n, \alpha} = 0,294$** .

Il bien claire que : $D_{n, \max} < D_{n, \alpha}$ donc l’hypothèse du modèle de weibüll est acceptable.

Avec $20 \leq N \leq 50$:

$$Fe(t_i) = \frac{\sum ni}{N+1} \quad (1)$$

En rapportant les valeurs des TBF et des Fe(%) sur le papier d'Allan Plait (figure IV.2)

On a pu déterminer les trois paramètres de la loi de weibüll :

- $N > 20$, donc on porte les nuages de points correspondants à la bande de confiance, le nuage de points correspond à une droite, ce qui signifie que le paramètre de position γ est égale à 0.
- La droite de régression linéaire coupe la droite de weibüll à l'abscisse t, se point représente η , rapporté à l'échelle on obtient : $\eta = 3250$ heures.
- Le paramètre de forme β est la pente de la droite de corrélation .on trace une droite parallèle à la droite de corrélation, et passant par le repère $\eta=1$ on lit ensuite β sur l'axe (D). Dans notre cas, $\beta=0,75$.

A partir de la table de weibüll donnant les paramètres A et B selon les valeurs de β (Annexe) :

A=1,1906.

B=1,610.

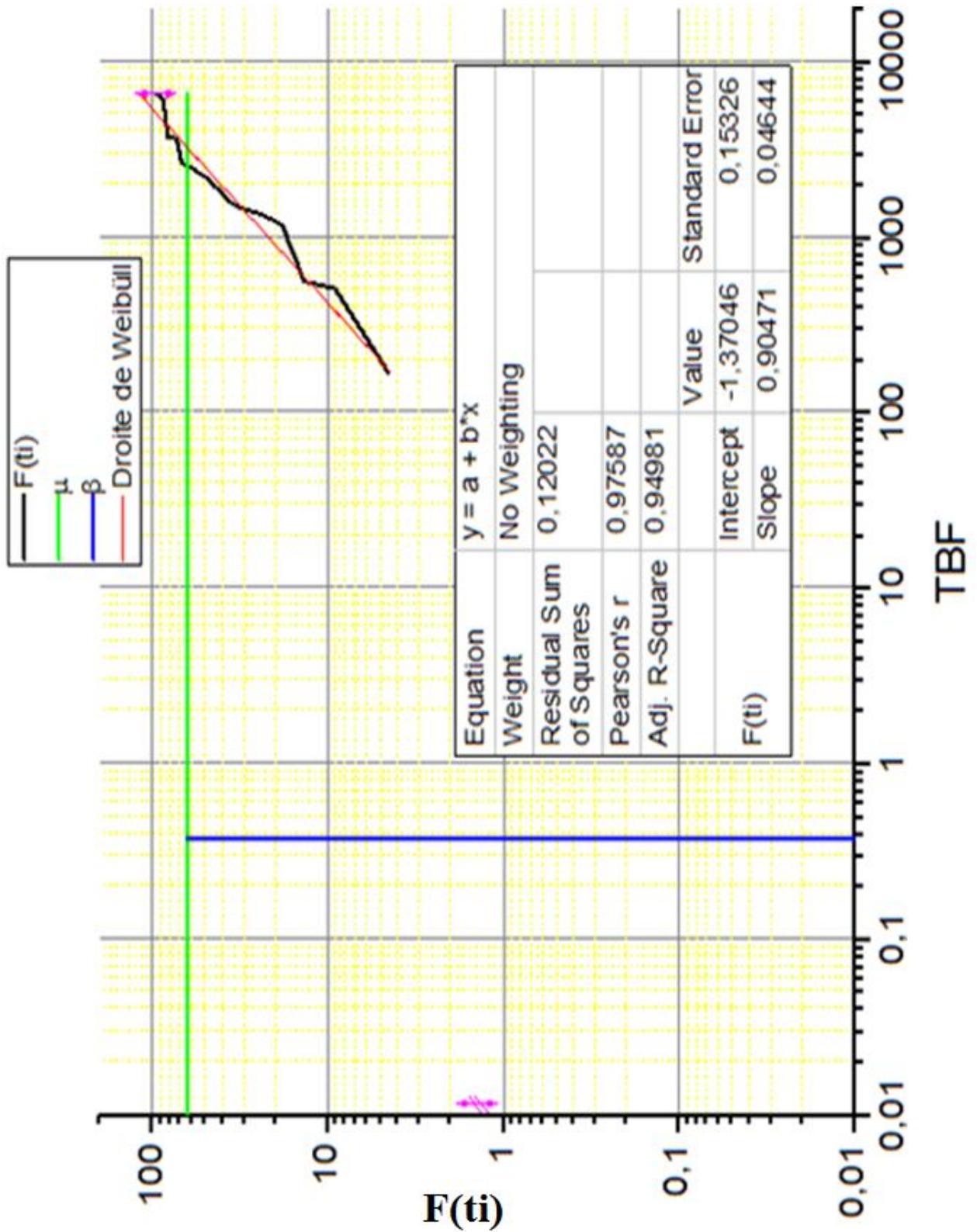


Fig.IV.2.papier weibüll.

IV-4-3 Exploitation des paramètres de weibull :

- **MTBF :**

$$MTBF=A*\eta+\gamma$$

$$MTBF=1,1906*3250= \mathbf{3869.45 \text{ h.}}$$

- **L'écart type :**

$$\delta=B*\eta$$

$$\delta=1,610*3250=\mathbf{5232.5}$$

- **MTTR :**

$$MTTR=\sum TTR/N$$

$$MTTR=1064.15/21=\mathbf{50.674 \text{ h}}$$

- **La densité de probabilité en fonction de MTBF :**

$$f(t_{=MTBF}) = \beta/\eta [(t-\gamma)/\eta]^{\beta-1} \cdot e^{-(t-\gamma)/\eta} \beta$$

$$f(t_{=3869,45})=0,000050920547=\mathbf{5,0920547*10^{-5}}$$

- **La fonction de répartition :**

$$F(t_{=MTBF}) = 1 - e^{-(t-\gamma)/\eta} \beta$$

$$F(t_{=3869,45})=1-0.3199183583= 0.6800816417=\mathbf{68\%}.$$

➤ **Fonction fiabilité:**

$$R(t_{=MTBF}) = e^{-[(t-\gamma)/\eta] \beta}$$

$$R(t_{=3869,45})=0.3199183583=\mathbf{32\%}.$$

$$R(t_{=MTBF})=1- F(t)$$

$$R(t_{=3869,45})=1-(0.6800816417)= 0.3199183583=\mathbf{32\%}.$$

➤ **Taux de défaillance:**

$$\lambda(t_{=MTBF}) = f(t) /R(t) = \beta/\eta[(t-\gamma)/\eta]^{\beta-1}$$

$$\lambda(t_{=3869,45})=0,000050920547/0.3199183583=\mathbf{1.59165*10^{-4} \text{ p/h.}}$$

- **Calcul de la périodicité systématique (durée de vie associée à un seuil de fiabilité) :**

$$R(t)=70\% \implies \ln R(t)=-\frac{(t-\gamma)}{\eta}\beta$$

$$\ln 1/R(t)=\frac{(t-\gamma)}{\eta} \beta \implies (t-\gamma)/\eta= [\ln 1/R(t)]^{1/\beta}$$

Donc :

$$T= \eta \cdot (\ln 1/R(t))^{1/\beta} + \gamma \text{ } \xrightarrow{1545 \text{ heures.}}$$

Il est intéressant de savoir à quel instant la fiabilité atteindra un seuil déterminé ?

Pour garder la fiabilité à 70%, il faut intervenir sur le roulement et les pignons et/ou bien faire le vidange chaque temps systématique égale à 1545heures.

Par ses heures systématiques il faut préparer des interventions (gamme opératoire d'intervention préventive systématique) : contrôle, vérification de ces éléments principaux.

IV-4-4 Etude de modèle de weibull

TAB.IV.5.Calcul les fonctions (R(t), $\lambda(t)$,f(t), F(t)).

Rang	TBF	β	η	R (ti)	$\lambda(ti)$	f (ti)	F (ti)
1	168	0,75	32.50	0,897	0,00048397	0,0004342	0,103
2	504	0,75	3250	0,781	0,00036774	0,0002872	0,219
3	552	0,75	3250	0,768	0,00035947	0,0002759	0,232
4	1152	0,75	3250	0,632	0,00029908	0,0001889	0,368
5	1296	0,75	3250	0,605	0,0002904	0,0001758	0,395
6	1392	0,75	3250	0,589	0,00028526	0,0001680	0,411
7	1440	0,75	3250	0,581	0,00028285	0,0001643	0,419
8	1560	0,75	3250	0,562	0,00027725	0,0001557	0,438
9	1824	0,75	3250	0,523	0,00026662	0,0001394	0,477
10	1968	0,75	3250	0,503	0,0002616	0,0001317	0,497
11	2184	0,75	3250	0,476	0,00025488	0,0001213	0,524
12	2280	0,75	3250	0,465	0,00025215	0,0001172	0,535
13	2448	0,75	3250	0,446	0,00024771	0,0001104	0,554
14	2520	0,75	3250	0,438	0,00024592	0,0001076	0,562
15	2640	0,75	3250	0,425	0,00024308	0,0001033	0,575
16	3552	0,75	3250	0,343	0,0002257	0,0000775	0,657
17	3646	0,75	3250	0,336	0,00022123	0,0000744	0,664
18	3648	0,75	3250	0,336	0,0002242	0,0000753	0,664
19	5976	0,75	3250	0,206	0,00019817	0,0000409	0,794
20	6240	0,75	3250	0,196	0,00019604	0,0000384	0,804
21	6456	0,75	3250	0,188	0,00019438	0,0000365	0,812

Les formules utilisées dans le calcul voir chapitre I (étude FMD).

IV-4-5 La représentation graphique des fonctions obtenues :

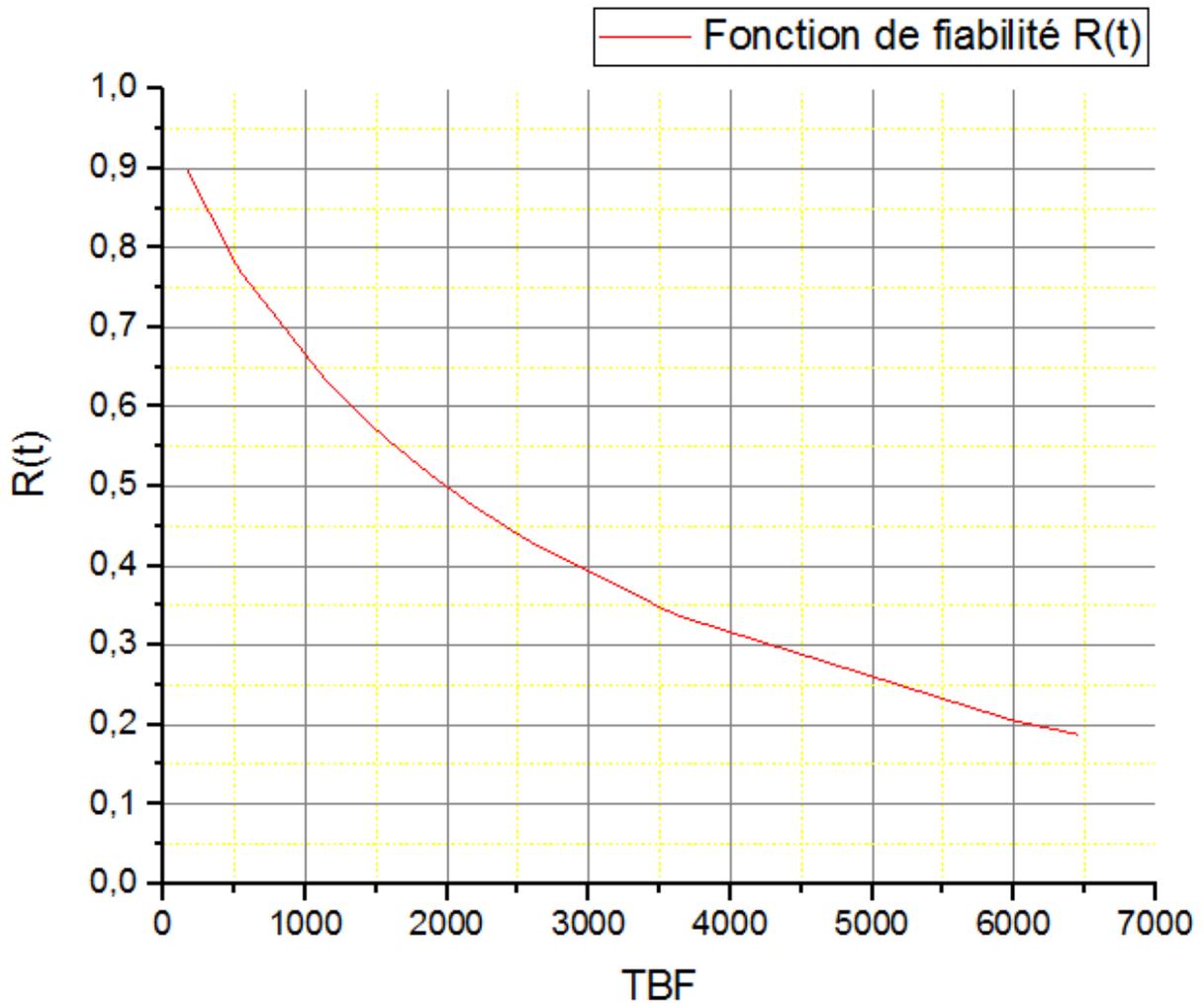


Fig.IV.3.Fonction de fiabilité.

Analyse :

D'après le graphe, la fonction fiabilité diminue en fonction du temps avec une moyenne de $R(MTBF)=32\%$ qui représente la fiabilité de la boîte de vitesses. Il est clair que cette valeur reste très faible malgré que notre équipement en période de rodage. Cette résultat montre bien l'importance et l'influence des engrenages comme élément essentiel de transmission de puissance.

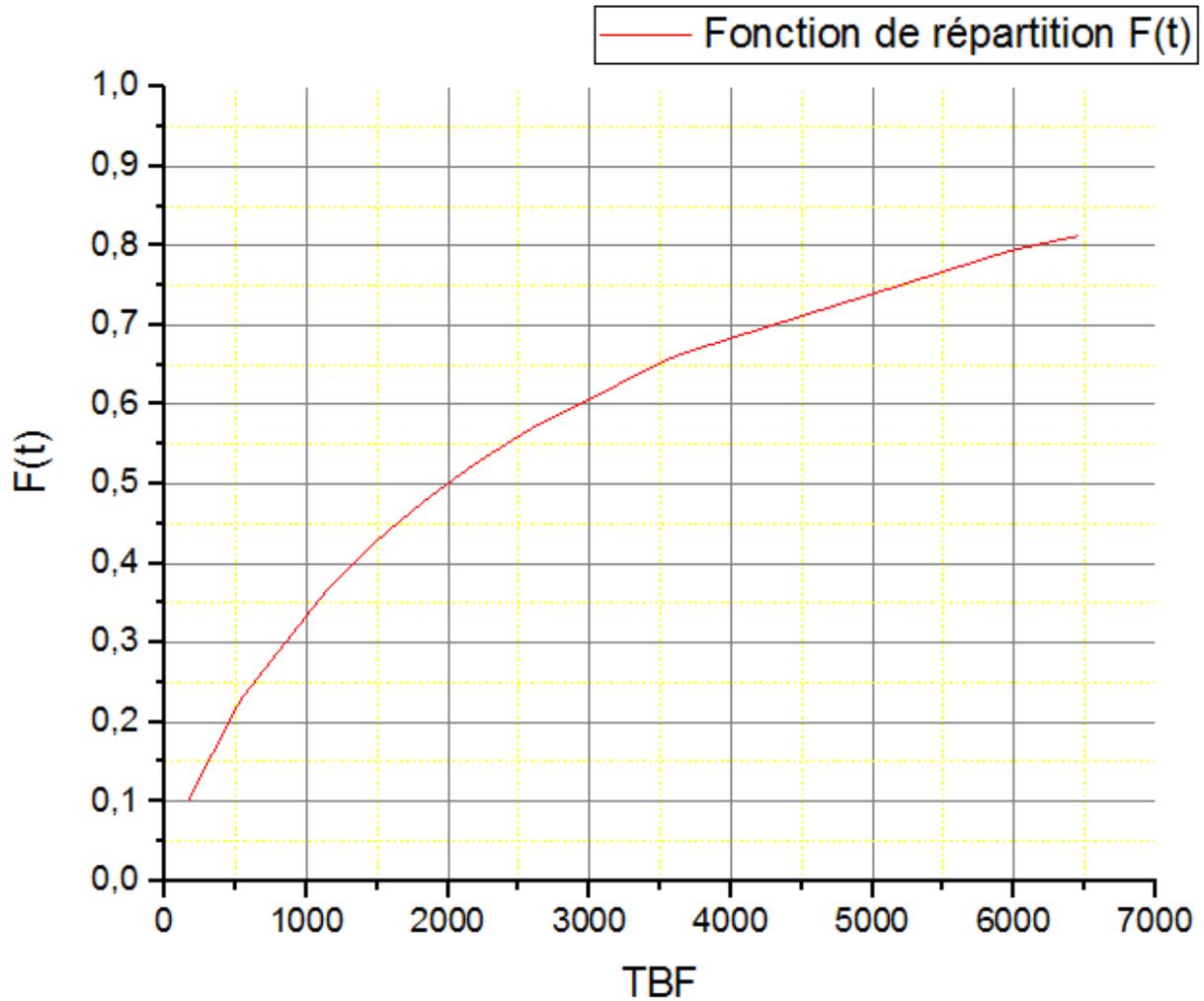


Fig.IV.4. Fonction de répartition.

Analyse :

La fonction de répartition de défaillance croissant en fonction de temps, et pour $F(\text{MTBF})=68\%$. Qui est expliqué par le phénomène de dégradation des engrenages et de lubrifiant.

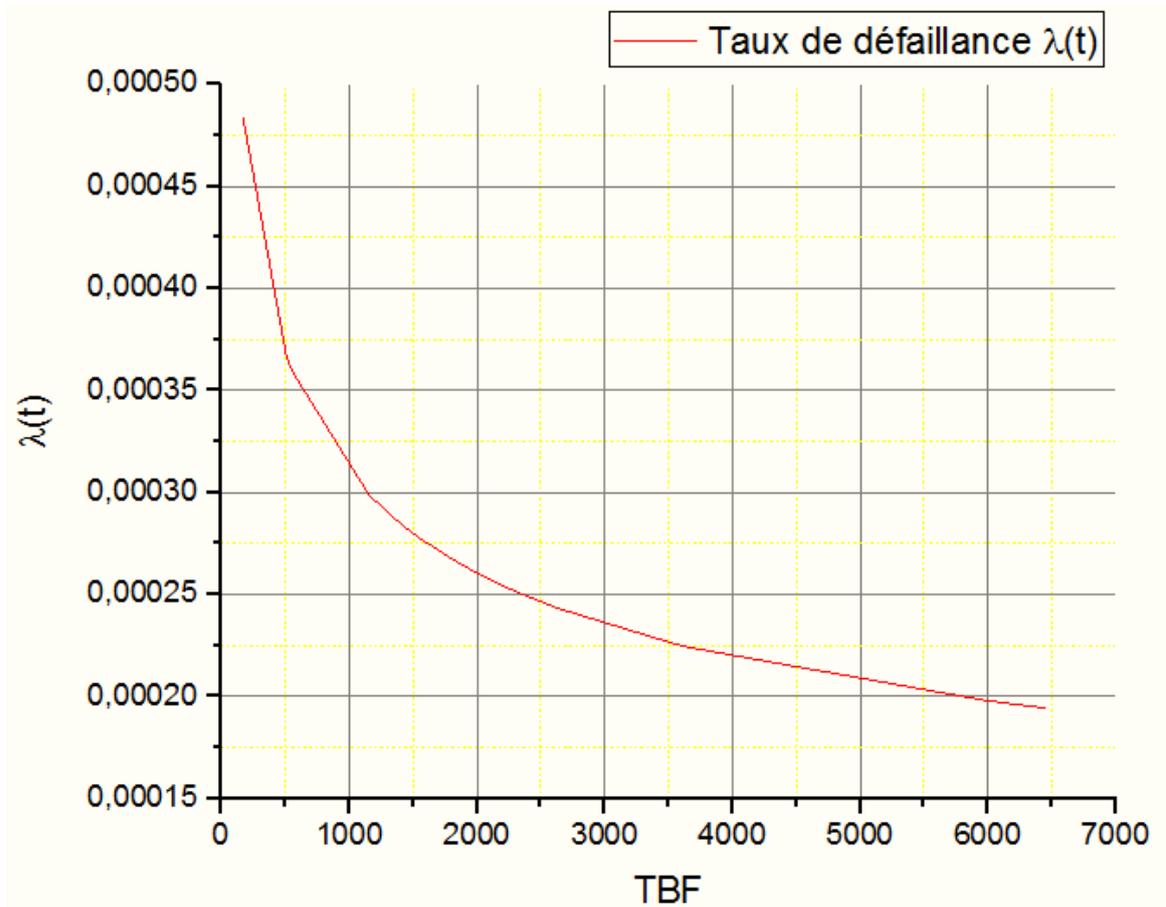


Fig.IV.5. Fonction de taux de défaillance.

Analyse et traitement du taux de défaillance :

On a remarqué que le taux de défaillance décroît par rapport aux TBF. i.e l'équipement est dans la période de la jeunesse (pré-usure et rodage), il faut appliquer la maintenance corrective sur notre équipement.

Le taux de défaillance est un indicateur de la fiabilité. Il montre une proportion de survivants à un instant t pour un dispositif donné.

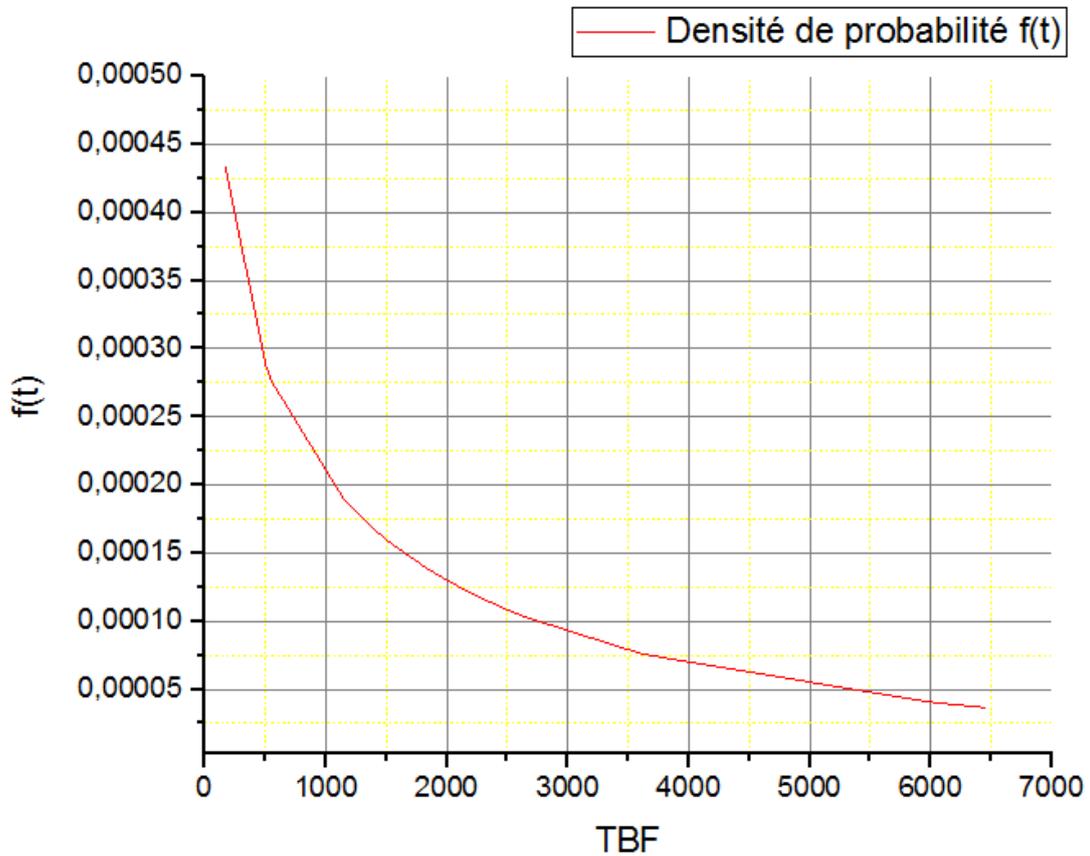


Fig.IV.6. Fonction de densité de probabilité.

Analyse :

L'intérêt de la fonction de la densité de probabilité étant de voir l'allure de la distribution des défaillances enregistrées et d'après le graphe on a remarqué que $f(t)$ est une fonction décroissante avec l'évolution des TBF, ce qui est expliqué par le phénomène de dégradation des engrenages traduite par la rupture des dents voir arrachement des dents à ça racine (Fig.IV.10).

IV-5 La maintenabilité :

D'après l'historique des pannes on a :

$$MTTR = \sum TTR / N \text{ et } \mu(t) = 1 / MTTR$$

$$MTTR = 50.674(h)$$

Taux de Répartition (μ) :

- $\mu(t) = 1/50.674 = 0.0197339$ Intervention/heure

La Fonction de Maintenabilité M(t):

- $M(t) = 1 - e^{-\mu t}$

$M(50.674) = 0.63211749$

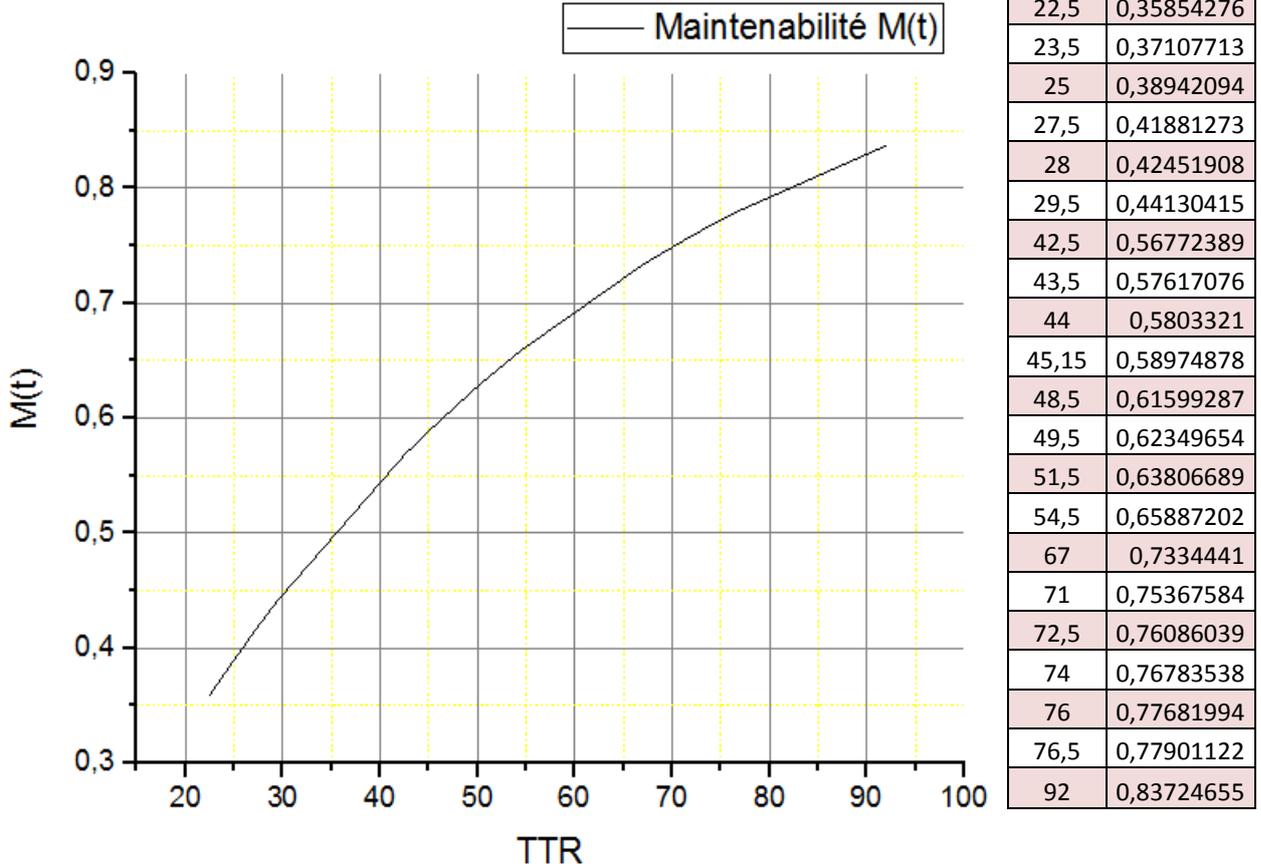


Fig.IV.7. Courbe de la maintenabilité.

Analyse:

Nous remarquons que la fonction maintenabilité croit avec l'augmentation du temps de répartition.

Elle dépend de nombreux facteurs : documentation- aptitude au démontage-facilité d'utilisation- PDR-préparation et formation des personnels-étude d'amélioration et l'interchangeabilité.

IV-6. La Disponibilité:

5.1 Disponibilité intrinsèque:

$$D_i = \frac{3869.45}{3869.45 + 50,0674} = 0,9874 = \mathbf{98,74\%}.$$

5.2 Disponibilité instantanée:

MTBF=1/λ indique que λ=1/MTBF=1/3869.45=0.002584.

MTTR=1/μ indique que μ=1/MTTR=1/50,674=0,0197339.

$$D(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} e^{-t(\lambda + \mu)}$$

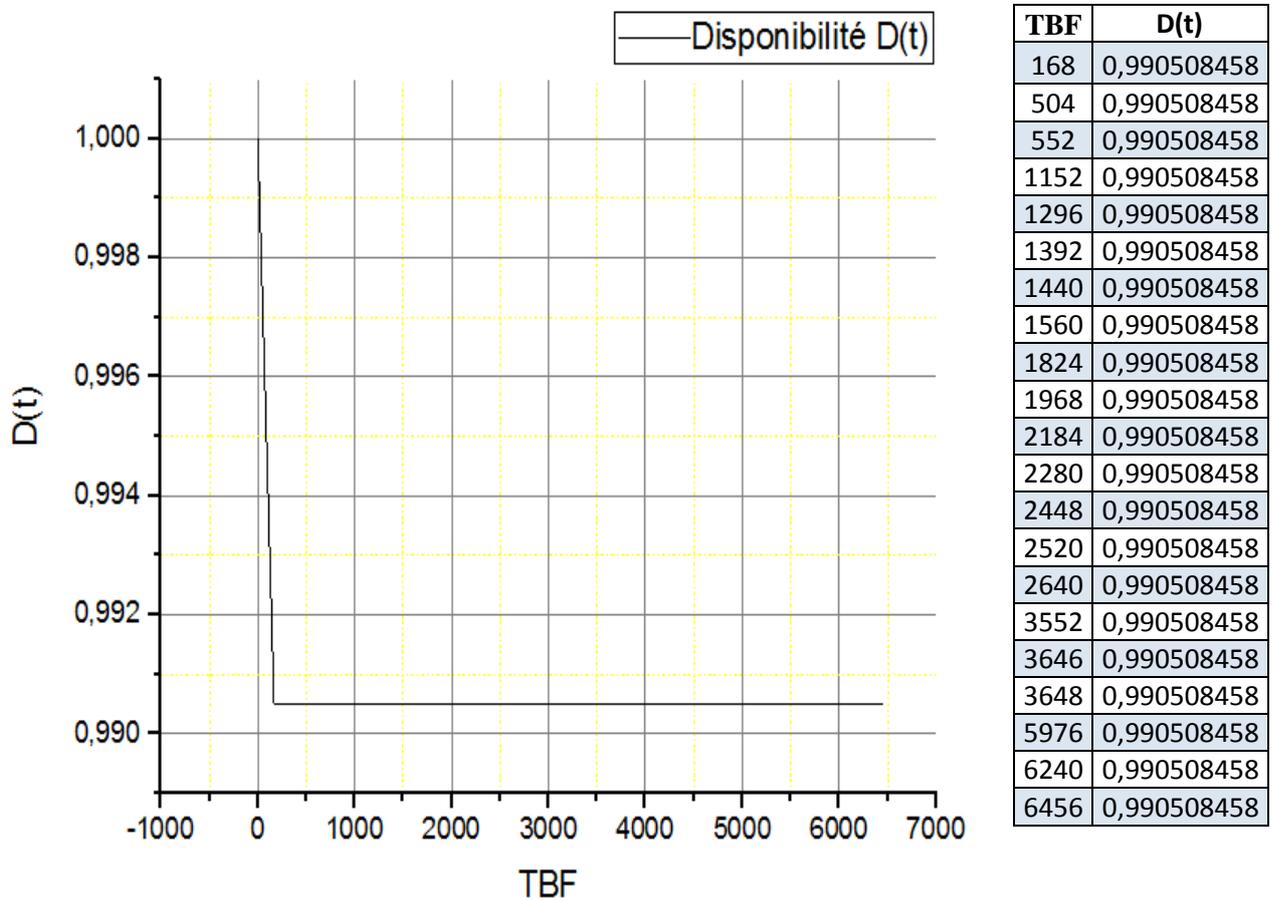


Fig.IV.8.Courbe de la disponibilité.

Analyse :

D'après l'allure de la courbe nous constatons que la valeur de la disponibilité décroît sensiblement jusqu'à la valeur $D(168) = 0,990508458$ qui a l'allure d'une droite constante.

IV-7 Analyse des résultats

- Les courbes sont très significatives, en effet on voit bien que la durée de vie de la boîte de vitesse diminue avec le temps, si on croit la courbe $R(t)$, la fiabilité chute rapidement, cette chute est due essentiellement soit à une mauvaise utilisation de la boîte, soit à la dégradation du matériel.
- La courbe de densité de probabilité et montre la distribution des défaillances autour de la moyenne de la tenue du matériel, en considérant le MTBF, on voit que $R(\text{MTBF}) = 32\%$ ce chiffre indique que la fiabilité de la boîte est au-dessus de la moyenne, donc il est urgent mettre un plan d'intervention systématique pour l'amélioration de la fiabilité.
- D'après la courbe de taux de défaillance : on voit que le taux croît en fonction de temps, i.e. dans la période de jeunesse.
- Lorsque λ et μ sont indépendants de temps et quand t devient grand, on constate que $D(t)$ tend vers une valeur constante.
- D'après la courbe (IV.8) on peut dire que la boîte est disponible après la moyenne de TBF.

IV-8 Construction du DIAGRAMME D'ICHICKAWA

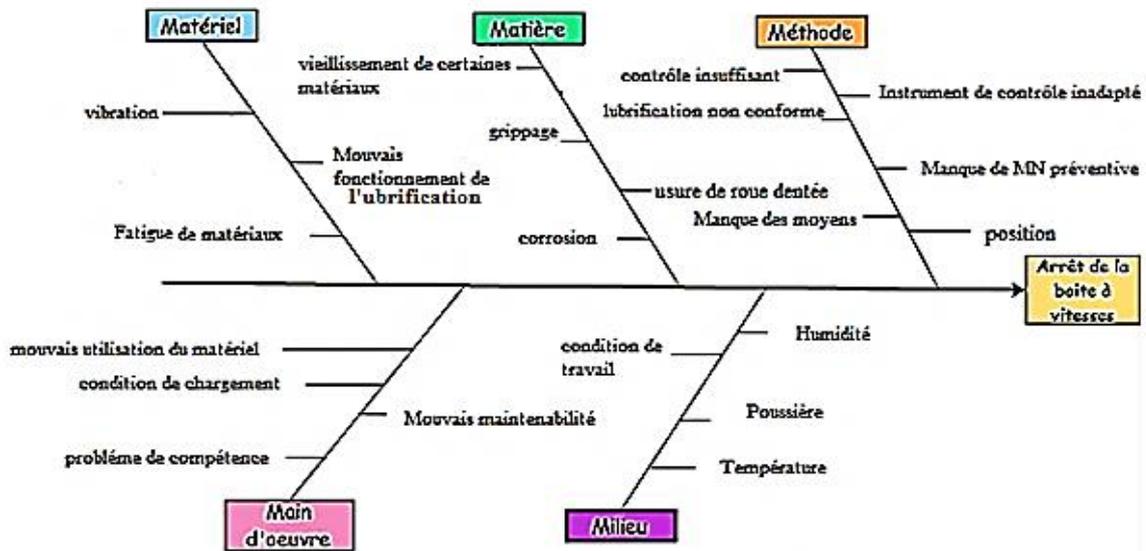


Fig.IV.9. Diagramme d'Ichikawa de la boîte de vitesse.

IV-9 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons abordé une étude FMD sur la boîte de vitesse ZF S5-42, cette dernière nous permet de choisir les meilleurs moyens et solutions à entreprendre du point de vue maintenance assurant ainsi la possibilité de réduire les temps d'arrêts ou d'indisponibilité.

A partir des résultats obtenus on peut citer les causes de défaillance suivantes :

1. Mauvaise utilisation des engins surtout en période de rodage (manipulation) ;
2. Mauvais choix du lubrifiant ;
3. Vibration /fatigue des matériaux/ mauvais fonctionnement de l'lubrification ;
4. Vieillessement de certains matériaux/ grippage/ corrosion/usure ;
5. Instrument de contrôle inadapté-position-manque de MN préventive- lubrification non conforme ;
6. Humidité/ poussière/ température/ condition de travail ;
7. Condition de chargement -mauvais maintenabilité- mauvais utilisation du matériel-compétence.

Pour cela on vous propose l'étude de vérification des éléments de transmission par engrenage afin de minimiser les causes principales de défaillance des éléments de la boîte de vitesses surtout le train d'engrenages de 4^{ème} vitesse comme montre dans la figure suivant :

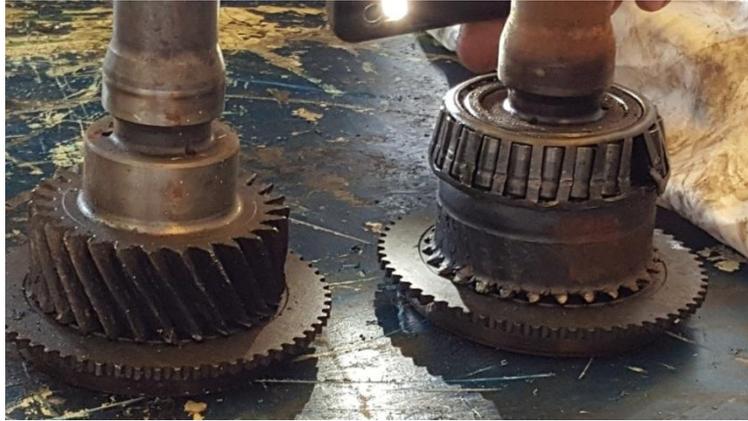


Fig.IV.10. arrachement totale au niveau de pignon de 4^{ème} vitesse.

V-1- Introduction

Dans ce chapitre nous avons procédé aux calculs et vérifications des dimensions des engrenages à denture hélicoïdale afin de bien choisir le lubrifiant approprié pour notre boîte de vitesse ZF S5-42 suite à notre analyse FMD.

V-2- KISSsoft - logiciel de calcul et optimisation d'éléments de machine

- **Définition**

KISSsoft est un progiciel pour le calcul d'éléments mécaniques. L'accent est porté sur les roues dentées qui sont les éléments centraux des réducteurs. Les arbres, roulements, éléments de liaison, ressorts ainsi que les chaînes et les courroies peuvent également être calculés. Des modules complémentaires, tels que la conversion entre différents systèmes de dureté ou des calculs de tolérance complètent KISSsoft.

A l'aide des normes en vigueur (DIN, ISO, AGMA), notre logiciel garantit un dimensionnement, une validation ainsi qu'un calcul de capacité de charge rapides et de qualité des éléments mécaniques et fournit des informations relatives à la durée de vie et aux facteurs de sécurité.

V-3- Calcul d'une paire de roues cylindriques à denture hélicoïdale

Méthode de calcul → ISO 6336:2006 Méthode B

	Roue 1	Roue 2
Puissance (kW) [P]	80.960	
Vitesse de rotation (1/min) [n]	2800.0	1178.9
Couple (Nm) [T]	276.1	655.8
Facteur d'application [KA]	1.25	
Roue menante (+) / menée (-)	+	-

a.géométrie de dent et matériau(Calcul de géométrie selonDIN 3960:1987)

Tab.V.1.Géométrie de dent et matériau.

	Symbole	Roue 1	Roue2
Entraxe (mm)	[a]	111.250	
Tolérance d'entraxe DIN 58405:1977 j6			
Module normal (mm)	[mn]	2.5000	
Angle de pression réel (°)	[α]	20.0000	
Angle d'hélice au cercle primitif(°)	[β]	24.0000	
Nombre de dents	[z]	24	57
Largeur de dent (mm)	[b]	38.00	35.00
Inclinaison		Gauche	Droite
Chanfrein Largeur de dent (mm)	[bK]	0.20	0.00
Qualité d'engrenage [Q-ISO 1328:1995]		6	
Diamètre intérieur (mm)	[di]	20.00	30.00

b- Matériau

Acier de cémentation i.e un acier faiblement allié pour traitement thermochimique dit cémentation ce traitement permis à enrichisse la couche superficielle de profil de dent en carbone pour augmenter la résistance au frottement en revanche pour garder la malléabilité au cœur de la pièce cela lui permettre de résisté la flexion.

Roue 1:18CrNiMo7-6, Acier de cémentation, cimentéISO 6336-5 Image 9/10 (MQ) ;
 Roue 2:18CrNiMo7-6, Acier de cémentation, cimenté ISO 6336-5 Image 9/10 (MQ).

c- Dureté de la surface

Tab.V.2.Dureté de la surface.

	Symbole	Roue 1	Roue 2
Limite d'endurance - contrainte pied de dent (N/mm ²)	[sigFlim]	430.00	430.00
Limite d'endurance (pression hertzienne) (N/mm ²)	[sigHlim]	1500.00	1500.00
Résistance à la rupture (N/mm ²)	[Rm]	1200.00	1200.00
Limite élastique (N/mm ²)	[Rp]	850.00	850.00
Module d'élasticité (N/mm ²)	[E]	206000	206000
Coefficient de Poisson	[ny]	0.300	0.300
Rugosité arithmétique moyenne Ra, flanc (µm)	[RAH]	0.60	0.60
Rugosité moyenne crête à crête Rz, flanc (µm)	[RZH]	4.80	4.80
Rugosité moyenne crête à crête Rz, pied (µm)	[RZF]	20.00	20.00

d-lubrification

- Type de lubrification : Lubrification à bain d'huile
- Type d'huile : Huile: ISO-VG 220
- Base de lubrifiant : Base d'huile minérale
- Viscosité nominale cinématique à 40 °C (mm²/s): 220.00
- Viscosité nominale cinématique à 100 °C (mm²/s): 17.50
- Densité spécifique à 15 °C (kg/dm³) : 0.895
- Température d'huile (°C) : 70.000

e- Calcul de transmission

Tab. V.3. Calcul de transmission.

	symbole	Roue1	Roue2
Rapport d'engrenage	[u]	2.375	
Module apparent (mm)	[mt]	2.737	
Angle de pression au cercle primitif de référence (°)	[alft]	21.723	
Entraxe zéro (mm)	[ad]	110.832	
Coefficient de déport	[x]	0.2394	-0.0702
Epaisseur de dent (arc) (en module) (en module)	[sn*]	1.7451	1.5197
Modification de saillie (mm)	[k*mn]	-0.005	
Diamètre de référence (mm)	[d]	65.678	155.986
Diamètre de base (mm)	[db]	61.014	144.908
Diamètre de tête (mm)	[da]	71.865	160.625
Ecart sur le cercle de tête (mm)	[Ada.e/i]	71.865 /71.855	160.625 /160.615
Diamètre de pied (mm)	[df]	60.625	149.385
Hauteur de dent (mm)	[H]	5.620	
Nombre de dents virtuel	[zn]	30.766	73.068
Epaisseur de dent normale au cylindre de tête (mm)	[san]	1.701	2.014
Longueur de conduite (mm)	[ga, e/i]	11.036 (11.102/010.949)	
Diamètre point de contact particulier B (mm)	[d-B]	64.73/64.73/64.72	157.87/157.82/157.93
Diamètre point de contact particulier D (mm)	[d-D]	68.66/68.60/68.73	154.22/154.22/154.21
Rapport de conduite de saillie	[eps]	0.79(0.79/0.78)	0.59(0.597/0.584)
Longueur minimale de la ligne de contact (mm)	[Lmin]	49.915	
Rapport de conduite apparent	[eps_a]	1.382	
Rapport de conduite apparent effectif	[eps_a.e/m/i]	1.390/1.380/1.371	
Rapport de recouvrement	[eps_b]	1.813	
Rapport total de conduite	[eps_g]	3.194	
Rapport total de conduite avec écarts	[eps_g.e/m/i]	3.203 / 3.193 / 3.183	

V-4- facteurs d'influence

Tab.V.4.Facteurs d'influence.

	symbole	Roue1	Roue2
Force périphérique dans cercle primitif de référence (N)	[Ft]	22.226	
Force axiale (N)	[Fa]	3743.5	
Force radiale (N)	[Fr]	3349.9	
Force normale (N)	[Fn]	9794.4	
Force périphérique nominal cercle prim. de réf. par mm (N/mm)	[w]	240.23	

V-5- Résistance à la racine de dent

a- Charge limite du pied

Calcul des facteurs de profil de dent selon méthode: B

Facteurs de profil calculés avec le déport de taillage [xE.e]

Tab .V.5.Charge limite du pied.

	Symbole	Roue1	Roue2
Facteur de profil de dent	[YF]	1.27	1.39
Facteur de correction de contrainte	[YS]	2.11	2.00
Angle de pression (°)	[alfFen]	20.90	19.76
Bras de levier de pliage (mm)	[hF]	2.47	2.80
Epaisseur du pied de dent (mm)	[sFn]	5.39	5.50
Rayon du pied de dent (mm)	[roF]	1.21	1.28
Coefficient de recouvrement	[Yeps]	1.000	
Facteur d'angle d'hélice	[Ybet]	0.800	
Facteur denture haute	[YDT]	1.000	
Facteur de la couronne dentée	[YB]	1.000	
Largeur de dent déterminante (mm)	[beff]	38.000	35.000
Contrainte nominale-pied de dent (N/mm ²)	[sigF0]	189.51	214.12
Contrainte en pied de dent (N/mm ²)	[sigF]	290.61	328.37

b- Contrainte de pied de dent admissible de la roue dentée

Tab.V.6. Contrainte de pied de dent admissible.

	Symbole	Roue1	Roue2
Facteur d'appui	[YdrelT]	0.997	0.997
Facteur de surface	[YRrelT]	0.957	0.954
Effet de dimensions (pied de dent)	[YX]	1.000	1.000
Coefficient de résistance à la fatigue limitée	[YNT]	0.869	0.884
Facteur de flexions alternées	[YM]	1.000	1.000
Facteur de correction de contrainte	[Yst]	2	2
Contrainte en pied de dent admissible (N/mm²)	[sigFE]	860.00	860.00
Résistance limite-pied de dent (N/mm²)	[sigFG]	543.32	547.57
Sécurité prescrite	[SFmin]	1.40	1.40
Puissance transmissible (kW)	[kWRating]	141.86	127.64

V-6- Résistance au flanc de dent

a- Sécurité des flancs

Tab .V.7.Sécurité des flancs.

	Symbole	Roue1	Roue2
Facteur de zone	[ZH]	2.288	
Facteur d'élasticité (N[^].5/mm)	[ZE]	189.812	
Coefficient de recouvrement	[Zbet]	0.851	
Facteur d'inclinaison	[Zbet]	1.046	
Largeur de dent déterminante (mm)	b _{eff}	35.00	
Pression de contact nominale (N/mm²)	[sigH0]	881.05	
Pression de contact au cercle primitif de fonctionnement (N/mm²)	[sigHw]	1098.09	
Facteur de contact unique	[ZB,ZD]	1.000	
Pression de flanc (N/mm²)	[sigH]	1098.09	
Facteur de lubrification (lors de NL)	[ZL]	1.020	
Facteur de vitesse (lors de NL)	[ZV]	0.999	
Facteur de rugosité (lors de NL)	[ZR]	0.960	
Coefficient d'appariement des matériaux (lors de NL)	[ZW]	1.000	
Coefficient de résistance à la fatigue limitée	[ZNT]	0.879	0.903
Pression de flanc admissible (N/mm²)	[sigHP=sigHG/SHmin]	1289.30	1323.96
Résistance limite-piqûres (N/mm²)	[sigHG]	1289.30	1323.96

b- **Résistance au grippage**(Méthode de calcul selon ISO TR 13989:2000)

Tab. V.8. Résistance au grippage.

	Symbole	Roue1	Roue2
Facteur de lubrification (par type de lubrification)	[XS]	1.000	
Facteur d'engrènement multiple	[Xmp]	1.000	
Facteur de structure relatif (grippage)	[XWrelT]	1.000	
Coefficient de contact thermique (N/mm/s ^{0.5} /K)	[BM]	13.780	
Dépouille de tête déterminante (µm)	[Ca]	2.00	
Dépouille de tête optimale (µm) [Ceff]	[Ceff]	18.74	
Largeur de dent déterminante (mm)	[beff]	35.000	
Force périphérique/largeur de dent déterminante (N/mm)	[wBt]	373.161	

V-7- Critère de la température éclair

Tab. V.9. Critère de la température éclair.

	Symbole	roue1	roue1
Facteur lubrifiant	[XL]	0.830	
Température de masse (°C)	[theMi]	80.12	
Température de grippage (°C)	[theS]	348.80	
Coordonnée gamma (point culminant de la température)	[Gamma]	0.497	
Température de contact maximale. (°C)	[theB]	131.62	
Coefficient éclair (°K*N ^{-0.75} *s ^{0.5} *m ^{-0.5} *mm)	[XM]	50.058	
Facteur de début d'engrènement	[XJ]	1.000	
Facteur de répartition de la force	[XGam]	0.915	
Viscosité dynamique (mPa*s)	[etaM]	41.90 (70.0C°)	
Coefficient de frottement	[mym]	0.055	
Sécurité prescrite	[SBmin]	2.000	
Facteur de sécurité contre grippage (temp. éclair)	[SB]	4.525	

V-8- Tolérances des dentures(Selon ISO 1328:1995)

Tab.V.10. Tolérances des dentures.

	symbole	Roue1	Roue2
Qualité d'engrenage	[Q-ISO1328]	6	6
Erreur individuel de pas (µm)	[fpt]	8.50	9.00
Diamètre de base - écart de pas (µm)	[fpb]	7.90	8.40
Erreur de forme du profil (µm)	[ffa]	8.50	9.50
Erreur d'angle de profil (µm)	[fHa]	7.00	8.00
Erreur total de profil (µm)	[Fa]	11.00	13.00
Erreur de la forme de ligne de flanc (µm)	[ffb]	8.50	9.00
Erreur d'angle de ligne de flanc (µm)	[fHb]	8.50	9.00
Erreur total de ligne de flanc (µm)	[Fb]	12.00	13.00
Erreur total du pas (µm)	[Fp]	27.00	35.00
Valeur maximale pour inclinaison des axes (µm)	[fSigdel]	28.23	

V-9-Données complémentaires

Tab.V.11. Données complémentaires.

		Symbole	Roue1	Roue2
entraxe maximale possible (eps_a=1.0)		[aMAX]	112.440	
Rigidité à la torsion (MNm/rad)		[cr]	0.5	2.9
Coefficient de frottement moyen (selon Niemann)		[mum]	0.060	
Glissement d'usure selon Niemann		[zetw]	0.651	
Puissance dissipée par frottement des dents (kW)		[PVZ]	0.576	
Rendement de l'engrenage (%)		[etaz]	99.288	
Poids - calculé avec da (kg)		[Mass]	1.113	5.359
Poids total (kg)		[Mass]	6.473	
Moment d'inertie (système par rapport à la roue 1): Calcul sans tenir compte de la forme exacte de la dent(kg*m ²)	roues individuelles ((da+df)/2...di)	[TraeghMom]	0.0005536	0.01544
	System ((da+df)/2...di)	TraeghMom]	0.003291	

REMARQUES

- Les valeurs avec [e/i] signifient: Valeur maximale [e] et minimale [i] en tenant compte des tolérances
- Indications avec [m] signifient : valeur moyenne dans la tolérance
- Pour le jeu, les tolérances d'entraxe et les épaisseurs de dent sont prises en compte. Les jeux minimum et maximum correspondant au plus petit, respectivement

et au plus grand des écarts sont indiqués. Le calcul est effectué pour le cercle primitif de fonctionnement.

V-10- Analyse de contact (Engrènement roue 1 – roue2)

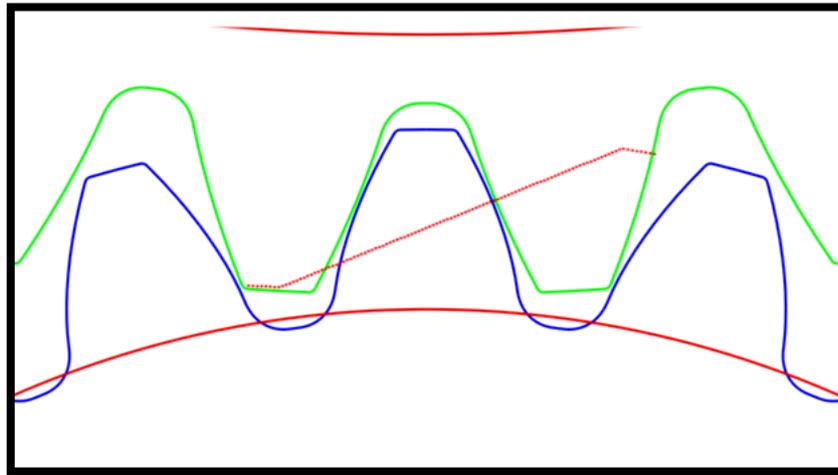


Fig.V.1.Ligne d'action

a- Distribution de charges

Rigidité d'engrènement = 13.623 N/mm/μm

Module d'élasticité = 206000.0/206000.0 N/mm²

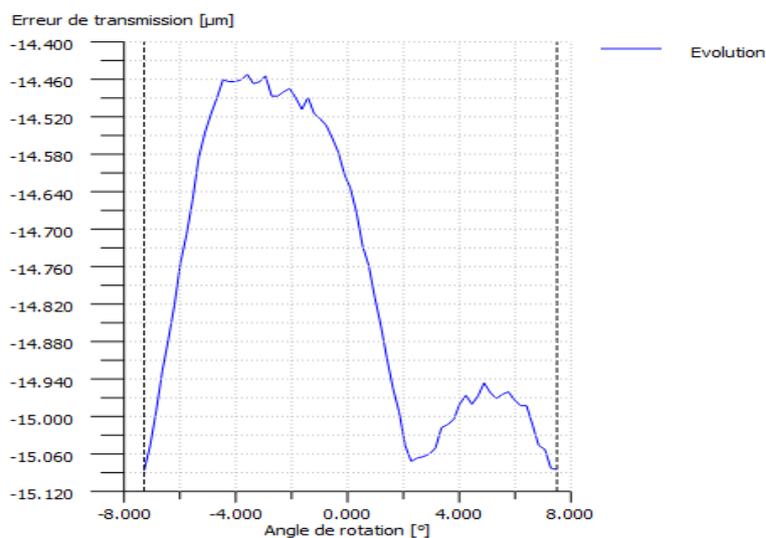


Fig.V.2.Erreur de transmission

Commentaire (fig v.2)

Cette figure montre l'erreur de transmission en fonction d'angle de rotation en peu remarque que globalement l'erreur très faible ce que notre conception de point de vue théorique est acceptable.

On peut dire aussi d'après la figure ce dernier divisé en deux zones :

Zone1 : [2 ; 8] le contacte situer entre le cercle de tête et le cercle primitif, la flèche augmente ce qui influe directement sur l'erreur de transmission, par contre la zone2 : [-8 ; 2] le contacte est rigide.

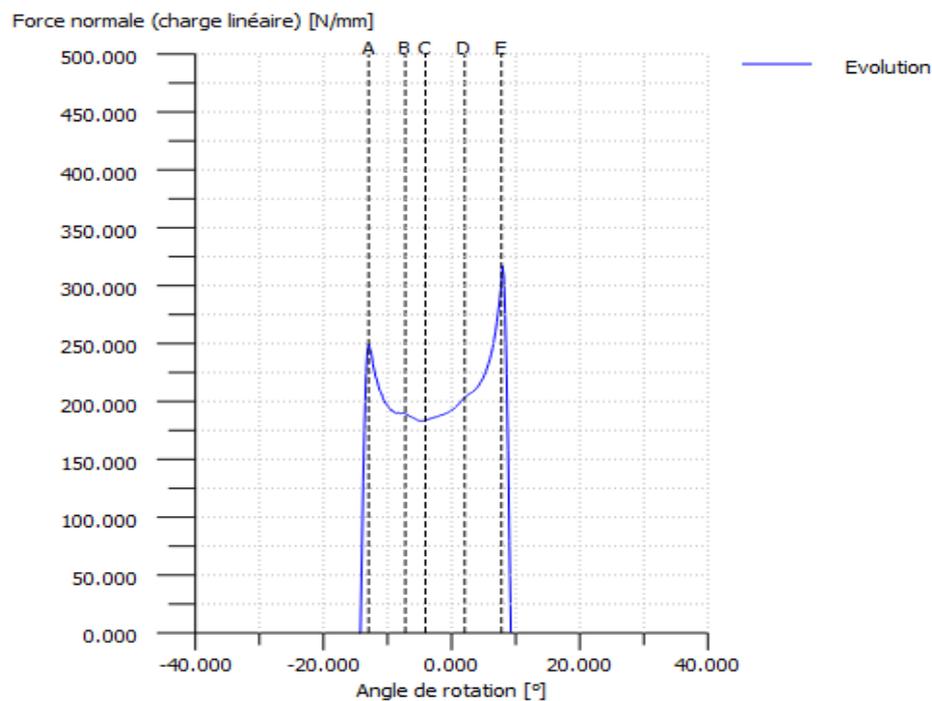


Fig.V.3. Courbe de la force normale (Charge linéaire)

$$a = 111.250 \text{ mm} \quad f_{pt} = 0.000 \text{ } \mu\text{m} \quad \mu = 0.05$$

Commentaire (figv.3)

Cette figure montre l'évolution de la force normale en fonction de l'angle de profil de dent divisée en 3 parties :

- deux partie en double contacte i.e ne avons de deux roue en contact et une zone à contact unique voir la fig de force normale qui montre bien la différents entre les 3

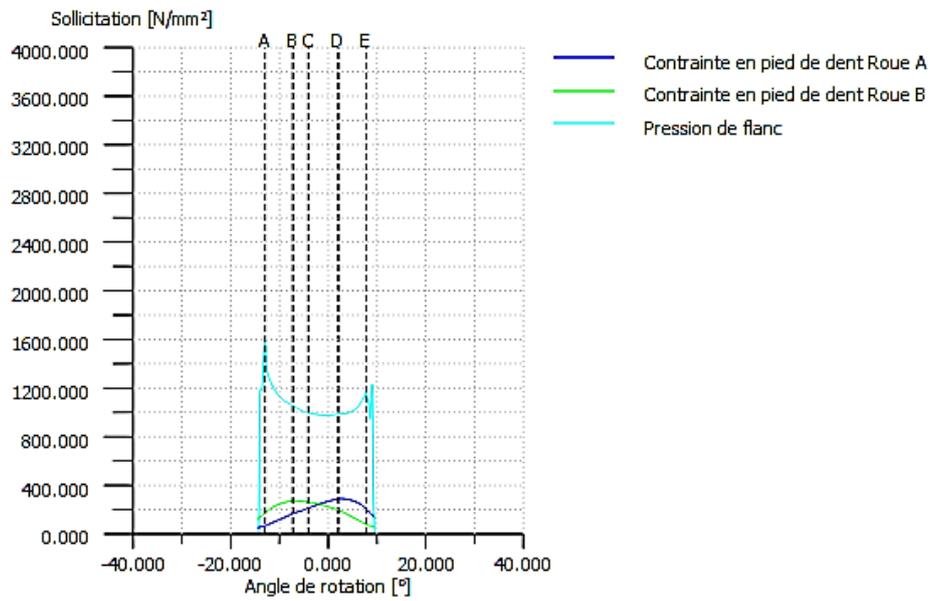


Fig.V.4. Répartition de contraintes

Commentaire (fig v.4)

Cette figure montre la variation ou l'évolution de sollicitation (pression. Contrainte) en fonction de l'angle de rotation i.e toute au long de flanc de dent.

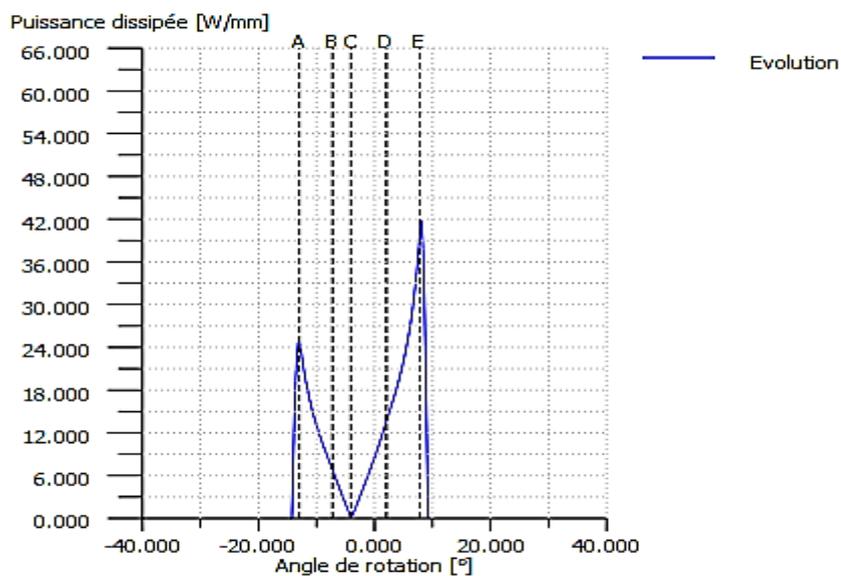


Fig.V.5. la puissance dissipée en w/mm.

Commentaire (fig v.5)

L'avantage de transmission de puissance par engrenement est de minimiser la dissipation max est de 42% par rapport à la puissance de notre transmission de 80 KW ce dernier est presque négligeable.

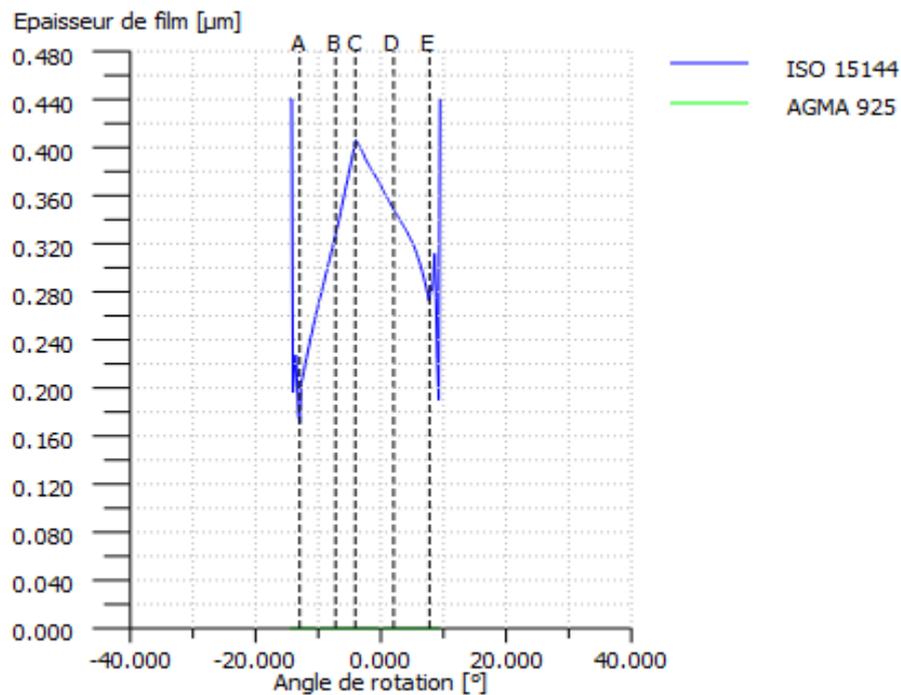


Fig.V.6. Film lubrifiant (ISO TR 15144).

$a = 111.250 \text{ mmfpt} = 0.000 \text{ } \mu\text{m}$ $\mu = 0.06 \text{ the Oil} = 70.0 \text{ } ^\circ\text{C}$ theM
 (température)= 79.1 °C Ra (rugosité) = 0.600 µm

Commentaire (fig v.6)

Montre l'épaisseur de film d'huile en fonction de nos données de départ :
 -type d'huile
 -état de chargement
 -forme de profil

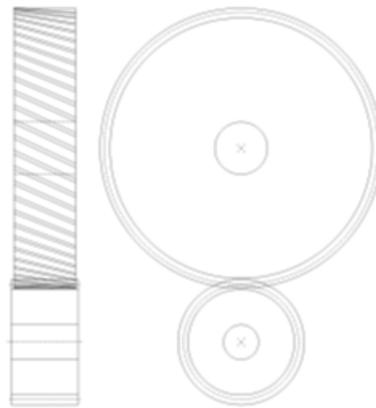


Fig. V.7. Aperçu d'ensemble

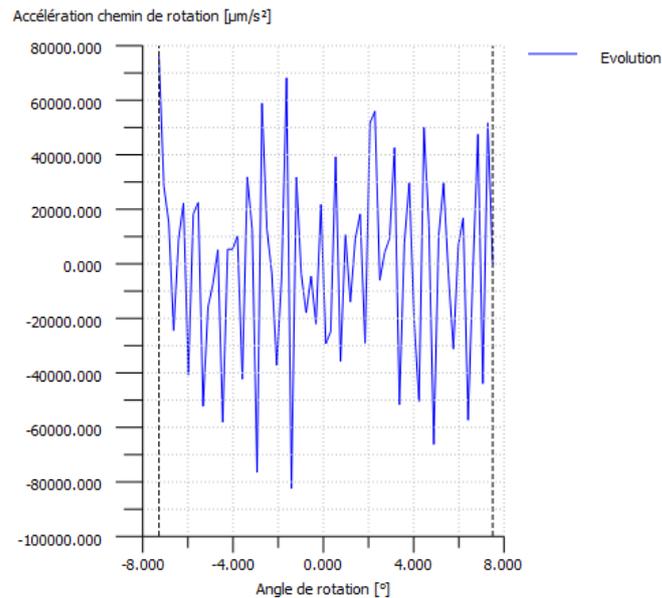


Fig. V.8. Accélération chemin de rotation.

$$a = 111.250 \text{ mm} \quad f_{pt} = 0.000 \text{ } \mu\text{m} \quad \mu = 0.05.$$

Commentaire (fig v.8)

Cette figure montre la variation sur l'accélération de la nature de contact entre les dents influe directement sur le système de transmission.

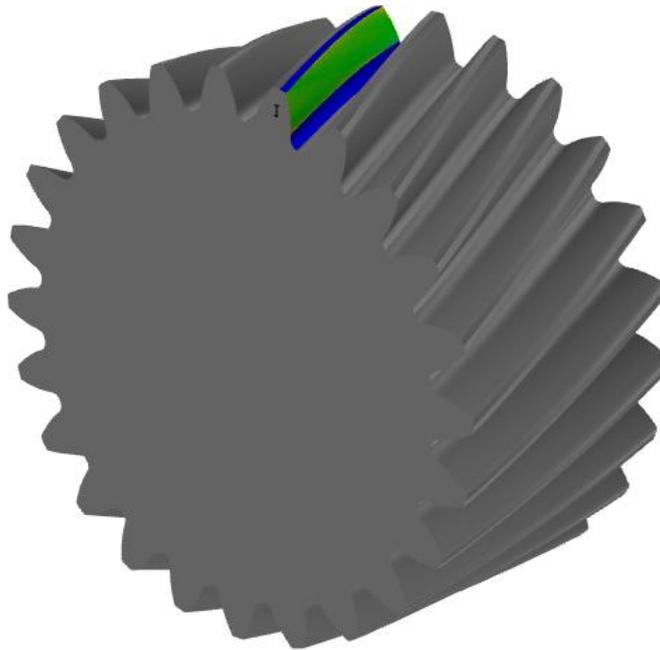


Fig.V.9.Répartition normale de la force (Charge linéaire).

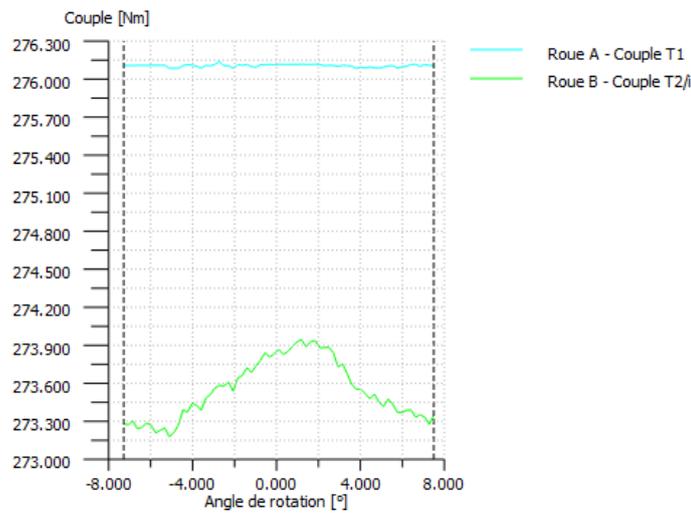


Fig.V.10.Evolution du couple.

Commentaire(fig v.10)

La figure montre la variation du couple en fonction de l'angle de rotation, pour les roue1 et 2 ont peut remarquer que la variation du couple de la roue 1 presque stable par contre la variation du couple pour la roue2 ont peut remarquer que le couple à un certain changement du an variation de point de contact.

V-11- Conclusion

Nous avons étudié le dimensionnement géométrique (pour le choix préalable des dimensions des engrenages à denture hélicoïdale). Une étude des forces de contact et la continuité de l'engrènement a été développée. Enfin, une vérification de la résistance est discutée.

A partir des données géométrique et de l'état de chargement de train d'engrenage de 4^{ème} vitesse nous avons entamé une étude de vérification à l'aide de logicielle KISSsoft. Afin de bien choisir le lubrifiant adéquat : ISO-VG 220 à base minérale pour assurer une bonne continuité d'engrènement & de protéger nos éléments de transmissions contre les phénomènes de dégradation cité au chapitre II.

Les résultats obtenue sont bien juger que notre choix est approprié par rapport au choix donnée par les utilisateurs des engaines équipée par la boîte de vitesse ZF S5-42.

CONCLUSION GENERALE

La maintenance s'attache en priorité à recenser les équipements critiques dont les conséquences des défaillances sont importantes pour les objectifs de l'entreprise (sécurité, disponibilité, coût, maintenabilité, qualité..). Afin de pouvoir sélectionner uniquement les équipements critiques, pour notre cas, nous avons commencé par une étude théorique de la maintenance avec les concepts FMD. Par la suite nous avons fait une description sur boîte de vitesse.

Par conséquent une étude FMD a été réalisée sur la boîte de vitesse afin de vérifier la fiabilité de système.

Par enchaînement, nous avons étudié le dimensionnement géométrique (pour le choix préalable des dimensions des engrenages à denture hélicoïdale). Une étude des forces de contact et la continuité de l'engrènement a été développée. Enfin, une vérification de la résistance est discutée.

A partir des données géométrique et de l'état de chargement de train d'engrenage de 4^{ème} vitesse nous avons entamé une étude de vérification à l'aide de logicielle KISSsoft.

Afin de bien choisir le lubrifiant approprié : ISO-VG 220 à base minérale pour assurer une bonne continuité d'engrènement & de protéger nos éléments de transmissions contre les phénomènes de dégradation cités au chapitre II.

Recommandations

Ce travail permettra de dégager des actions suivantes en vue d'une meilleure fiabilité de la boîte de vitesses :

- prévoir un plan d'inspection conduisant à optimiser les coûts et réduire le temps d'intervention ;
- minimiser le risque de panne ;
- réduire les dépenses de maintenance en intervenant à un stade précoce des dégradations ;
- utiliser des capteurs de contrôle géométrique et de fonctionnement de l'engrenage ;
- nettoyer fréquemment pour mettre en évidence toute fissure éventuelle ;
- inspection périodique des traces de corrosion pour entretien et protection ;
- s'assurer que les composants et les consommables achetées répondent aux normes du constructeur ;
- respecter les procédures de fabrication de pièces de rechange telles qu'elles sont préconisées par le constructeur ;
- veiller à l'application des procédures de maintenance afin de réduire les interventions plusieurs fois ;
- utiliser les outils spécifiques appropriés à la maintenance de l'équipement ;
- respecter les méthodes et les consignes d'exploitation de l'équipement préconisées par le constructeur ;
- L'attente de pièce de rechange achetée ou fabriquée sur site.

Problématique

Le thème de ce mémoire de fin d'études du Master II en Maintenance Industrielle et Fiabilité Mécanique a été élaboré dans le but de contribuer à la résolution d'un problème technique rencontré au niveau de la boîte à vitesses de véhicule K66 située au niveau de l'entreprise SNVI-ANNABA.

Nous avons découvert les facteurs qui influent de manière prépondérante sur le comportement de fatigue dans le mécanisme de transmission par engrenage suite à une analyse de l'équipement qui montre une insuffisance en termes de fiabilité.

Les engrenages peuvent prendre divers formes, ils sont utilisés dans tous les secteurs de l'industrie surtout dans notre cas ils constituent les boîtes de vitesses des véhicules servant au transport. Ce sont des éléments mécaniques très complexes à dimensionner et à réaliser, qui présente des différents défauts limitant leur durée de vie. A ce point-là on va faire des études basées sur le calcul, l'étude des matériaux aussi la lubrification pour éviter la panne de l'équipement.

D'où la définition de notre thème « étude fiabiliste des engrenages à denture hélicoïdale d'une BV S5-42 » dans le but de prévenir et de maintenir de meilleures conditions de fonctionnement et ainsi la sécurité en phase d'exploitation de ces équipements.

Les défauts qui existent dans les engrenages sont :

- l'usure des surfaces de contact à cause de particules abrasives ou d'un film d'huile inadéquat
- la fatigue des surfaces à cause de contrainte cyclique très élevée
- rupture des dents à cause des surcharges

Alors notre nouvelle approche consiste à l'élaboration d'une.....

Référence

Chapitre I

- [1] : Techniques de l'ingénieur, Norme : (NF EN 13306 X60-319) article B5055, vol.BD1.
- [2] : Cour Maintenances Des Equipements Goundiam Madi Yassa : Enseignant Chercheur 2ie 2008/2009.
- [3] : Chapitre 2 cours de maintenance industrielle tec 336 smail benissaad.
- [4] : Cour de Mr. Khelif/R, master « optimisation de la maintenance » 2014/2015.
- [5] : Cours de stratégie de maintenance, A.BELHOMME ,2010/2011.
- [6] : Villemeur, A, Sûreté de fonctionnement des systèmes industriels.Ed.Eyrolles, 1997.
- [7] : Master I ' ' MIFM' ' Module Fiabilité des structures.
- [8] : Méthodes De Maintenance Licence Mécatronique - Iut Troyes Introduction Au Concept Fmd : Fiabilité – Maintenabilité – Disponibilité.
- [9] : Cour « Disponibilité et fiabilité des services et des systèmes Anthony Busson.
- [10] : Fichier PDF assurances de disponibilités.
- [11] : Cour master II « module MBF », 2015.

Chapitre II

- [1] : Pascal lussiez .construction mécanique et dessin industriel, MAXI FICHES.DUNOD, Paris ,2012.
- [2] : Georges Henriot, Engrenages - Conception - Fabrication - Mise en œuvre, Dunod, 8^e éd. 2013.
- [3] : Claude Barlier et René bourgeois. Mémotech plus conception et dessin ,7^e édition.
- [4] : Fundamental Rating Factors and Calculation Methods for Involute Spur and Helical Gear Teeth. American national standard ANS/AGMA. 2001-C95.
- [4] Mohamed M. Construction mécanique. Université de Badji Mokhtar-Annaba.2004.
- [5] : Résistance des matériaux. Version de 01/11/2014.
- [6] : cial2@hpceurope.com HPCTome 4, 2013.
- [7] : <http://joho.monsite.orange.fr/TRAINS D'ENGRENAGES>.
- [8] : Claude Barlier et René bourgeois, memotech plus « conception et dessin » université de Badji Mokhtar –Annaba, 7^e edition.2011
- [9] : Georges Henriot, Traité théorique et pratique des engrenages, Tome 1.2 : étude complète du matériel, 4^e édition. Dunod technique 1972.
- [10] : CORINA OANCEA, Analyse Des Dents D'engrenages Droits Par La Méthode Des Potentiels Complexes, thèse Faculté des études supérieures de l'Université Laval.1997.

[11]: Alban, Lester E. Systematic analysis of gear failures. Metals Park, Ohio: American Society for Metals, viii, 232 p. 1985

[12] Anders Flodin, SörenAndersson, simulation of mild wear in spur gears, Wear 207 (1997) 16–23.

[13] B. Bhushan, Modern Tribology Handbook, CRC Press, 2001, eBooks.

[14] : Thèse' Simulation de l'usure et d'avaries sur des dentures d'engrenages cylindriques - Influence sur le comportement statique et dynamique de transmissions par engrenages'2012
Par Thaer OSMAN (Ingénieur de l'Université Tichreen - Syrie).

[15]: <http://biblio.univ-annaba.dz/wp-content/uploads/2014/03/tarek-maifi.pdf>.

[16]. Fatigue des surfaces, techniques de l'ingénieur, article B5055, vol.BD1

[17] : Résistance des matériaux. Version de 01/11/2014.

Mathieu Rossat mathieu.rossat@univmed.frwww.mathieurossat.fr

[18] : Cour de Mr. merabtine « fatigue des matériaux » 2014.

[19] :R.LEFEVER, « lubrification et tribotechnique », volumeI.1990.

Chapitre III

[20] : documentation de l'entreprise SNVI -Annaba.