



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique Et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة العربي التبسي - تيسة
Université Larbi Tebessi - Tébessa
معهد المناجم
Institut des Mines
قسم الإلكتروميكانيك
Département Electromécanique



MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention d'un diplôme de Master

Filière : Electromécanique

Option : Maintenance Industrielle

Maintenance des réducteurs de vitesse à l'entreprise somiphos bir-el-ater

Par

Allouche Haroun et Ghouli Tayeb

Devant les jury :

Taleb.M	MCB	Président	Université Larbi Tebessi Tébessa
Moghrani.R	MAA	Encadreur	Université Larbi Tebessi Tébessa
Louafi.M	Pr	Examineur	Université Larbi Tebessi Tébessa
Attia.M	MAA	Examineur	Université Larbi Tebessi Tébessa

Promotion 2021-2022

Remerciements

Nous tenons à remercier le bon Dieu de nous avoir donné la foi, la force et le courage pour réaliser ce travail dans de bonnes conditions.

Nous tenons à exprimer notre gratitude et reconnaissance à notre professeur Mr Moghrani Radhouane pour le dévouement incessant, son enthousiasme et surtout d'avoir accepté de nous encadrer.

Nous tenons également à remercier tous les enseignants de département d'électromécanique et le directeur d'institut pour leurs disponibilités, suggestions et encouragements. Que tout le personnel et tous les étudiants du département d'électromécanique de l'université de cheikh l'arbi tbessi trouvent mes sincères remerciements.

Nos remerciements vont également aux membres du jury pour avoir accepté d'examiner le présent travail, à travers eux nous remercions tous les enseignants, travailleurs et étudiants qui ont contribué dans notre cycle de formation.

Dédicace

Je dédie ce mémoire à:

-Mes parents qui m'ont beaucoup aidé durant mes études, et m'ont tellement encouragé moralement et psychologiquement, ils se sont sacrifiés pour moi durant toute la période de mes études, que DIEU les protègent,

-à ma chère épouse et ma petite chère fille DJAMILA.

-toute ma famille sans exception,

-tous les enseignements du Maintenance industrielle,

-tous mes amis de la promotion électromécanique sans citer les noms,

-tous ceux qui m'ont aidé durant ma vie universitaire.

Allouche Haroun

Dédicace

Je rends grâce à Dieu de m'avoir donnée le courage et la volonté.

Je dédie ce mémoire à :

-Ma très chère mère, pour son amour et ses encouragements.

-Mon très cher père, qui est le premier soutien pour moi.

-Toutes la famille Ghouli.

-Mon très cher binôme Haroun.

-A tous mes chers enseignants qui ont enseigné moi.

Ghouli Tayeb

Résumé

Le présent projet de fin d'études traite un sujet de la maintenance industrielle et Plus précisément la maintenance curative des réducteurs au sein de SOMIPHOS, l'objectif de ce projet c'est de réduire le temps et la fréquence des arrêts des réducteurs.

Pour inscrire ce projet dans cette vision, l'ensemble des chapitres de ce rapport est scindé en trois principaux volets tout en suivant la démarche de résolution des problèmes :

Un premier volet dans lequel nous avons utilisé quelques outils d'analyse de l'existant aux équipements concernés pour présenter une formulation claire du besoin.

Un deuxième volet où nous avons mentionné et défini les différents mécanismes de transmission de puissance mécanique, et ses divers utilisations sur site industriel.

Un troisième volet qui a porté sur la proposition des solutions bénéfiques pour l'amélioration de la maintenance des réducteurs, les méthodes ont été utilisées « ABC » et la méthode d'analyse « AMDEC ».

Les résultats vont permettre d'identifier les éléments critiques et en suite définir un plan d'action d'une maintenance préventive qui conduit à la réduction des coûts de maintenance tout en visant l'augmentation du bénéfice de l'entreprise.

Abstract

This end-of-studies project deals with a subject of industrial maintenance and More precisely the curative maintenance of reducers within "SOMIPHOS ", the objective of this project is to reduce the time and frequency of stoppages of reducers.

To include this project in this vision, all the chapters of this report are divided into three main parts while following the problem-solving approach:

A first part in which we used some analysis tools of the existing equipment concerned to present a clear formulation of the need.

A second part where we mentioned and defined the different mechanical power transmission mechanisms, and its various uses on an industrial site.

A third part which focused on the proposal of beneficial solutions for the improvement of the maintenance of the reducers, the methods were used "ABC" and the method of analysis "FMECA".

The results will make it possible to identify the critical elements and then define a preventive maintenance action plan that leads to the reduction of maintenance costs while aiming to increase the company's profit.

Résumé

ملخص

يتعامل مشروع نهاية الدراسات هذا مع موضوع الصيانة الصناعية وبصورة أدق الصيانة العلاجية للمخفضات داخل "الشركة المنجمية للفوسفات بئر العاتر "SOMIPHOS"، والهدف من هذا المشروع هو تقليل وقت وتكرار توقف المخفضات.

لتضمين هذا المشروع في هذه الرؤية ، تم تقسيم جميع فصول هذا التقرير إلى ثلاثة أجزاء رئيسية مع اتباع نهج حل المشكلات:

الجزء الأول الذي استخدمنا فيه بعض أدوات التحليل للمعدات الحالية المعنية لتقديم صياغة واضحة للحاجة مع توضيح مختلف اوضاع ومستويات الصيانة الصناعية.

الجزء الثاني حيث ذكرنا وعرفنا آليات نقل الطاقة الميكانيكية المختلفة، واستخداماتها المختلفة في موقع صناعي.

الجزء الثالث ركز على اقتراح الحلول المفيدة لتحسين صيانة المخفضات وللقيام بتحليل دقيق يقوم مسؤول الصيانة بتطبيق

ادوات نوعية طريقة "ABC" وطريقة التحليل "AMDEC".

ستتيح النتائج تحديد العناصر الحرجة ثم تحديد خطة عمل الصيانة الوقائية التي تؤدي إلى تقليل تكاليف الصيانة مع زيادة أرباح الشركة.

SOMMAIRE

Chapitre 1 : Présentation de la société et problématique

Introduction.....	01
Historique.....	01
1.1 Situation géographique du djebel Onk	02
1.1.2 Contexte géologique	03
1.1.3 Organisation générale de la mine	04
1.2. Structures de mine	04
1.2.1. Composition de somiphos	05
1.2.2. Composition du complexe de djebel onk	05
1.2.2.1. La direction technique	05
1.3. Organigramme du complexe.....	06
1.3.1. Les moyens humains.....	06
1.3.2. Organigramme de la chaine de traitement	07
1.4. Préparation mécanique.....	08
1.4.1. Concassage.....	08
1.4.2. Broyage	08
1.4.3. Criblage	08
1.5. Traitement par voie humide.....	10
1.5.1. Débourbage	10
1.5.1.1. Principe de traitement par voie humide.....	10
1.5.2. Séchage	10
1.5.2.1. Séchage par four de calcination	10
1.5.2.2. Séchage par four horizontal	11
1.6. Traitement par voie sèche (Dépoussiérage).....	11
1.6.1. Séchage à lit fluidisé	12
1.6.2. Criblage à 2(mm).....	12
1.6.3. Broyage à attrition.....	12
1.7. Sélection par une turbo sélection ventilée	12
1.7.1. Criblage à (0,8mm).....	12
1.8. Stockage du produit marchand et expédition	13
1.8.1. Transport du phosphate.....	13
1.9. Structure DEMF.....	15

1.10. Structure DEMR.....	16
Conclusion.....	17

Chapitre 2 : Généralité sur la maintenance industrielle

Introduction	18
Histoire de la maintenance.....	18
2.1. Définitions et rôle de la maintenance	19
2.1.1. Définitions normatives	20
2.1.2. Rôle de fonction maintenance	20
2.2. Objectifs de la maintenance	20
2.2.1. Objectifs généraux	20
2.2.2. Objectifs techniques de la maintenance	21
2.2.3. Objectifs financiers de la maintenance	22
2.3. Services de la maintenance	23
2.3.1. Fonctions du service maintenance	23
2.3.1.1. Fonction études	23
2.3.1.2. Fonction préparation	24
2.3.1.3. Fonction ordonnancement	24
2.3.1.4. Fonction réalisation	24
2.3.1.5. Fonction gestion	24
2.3.2. Domaines d'action du service maintenance	24
2.4. Place du service maintenance dans l'entreprise	25
2.5. Organisation du service maintenance	25
2.5.1. Maintenance centralisée	25
2.5.2. Maintenance décentralisée	26
2.6. Technicien de maintenance	26
2.7. Méthodes de la maintenance	26
2.7.1. Maintenance corrective	27
2.7.2. Maintenance préventive	27
2.7.3. Maintenance préventive systématique	27
2.7.4. Maintenance préventive conditionnelle	28
2.7.5. Télé-maintenance.....	28
2.8. Les outils de la maintenance.....	29

2.9. Opérations de maintenance	29
2.9.1. Opérations de la maintenance corrective	30
2.9.1.1. Dépannage	30
2.9.1.2. Réparation	30
2.9.2. Opérations de la maintenance préventive	30
2.9.2.1. Entretien	30
2.9.2.2. Surveillance	31
2.9.2.3. Révision	31
2.9.2.4. Préservation	31
2.10. Maintenance d'amélioration	31
2.11. Niveaux de maintenance	32
2.12. Procédure en cas de dysfonctionnement.....	32
2.13. Fiabilité et maintenance des équipements industriels	33
2.14. Choix des indicateurs de performance et paramètres d'optimisation.....	36
2.14.1. Maintenabilité	36
2.14.2. Fiabilité	37
2.14.3. Relation entre MUT, MTBF, MTTR, MDT	37
2.14.4. Disponibilité	38
2.15. Coûts en maintenance (suivant NF X60-02O)	39
2.15.1. Optimisation des coûts de maintenance	40
Conclusion	41

Chapitre 3 : Transmission de puissance mécanique

Introduction.....	42
3.1. Présentation.....	43
3.1.1 Principes utilisés pour la transmission.....	44
3.1.2. Critères qui permettent de choisir le principe de transmission	44
3.2. Différents mécanismes de transmission du mouvement.....	45
3.2.1. Poulies – courroies	45
3.2.1.1. Différents types de poulie-courroie.....	45
3.2.2. Pignons et chaîne.....	46
3.2.2.1. Types de chaînes.....	46
3.3. Engrenages	47

3.3.1. Définition	47
3.3.2. Fonctionnement des engrenages.....	47
3.4. Différentes types d'engrenages.....	48
3.4.1. Engrenages droits (ou parallèles) à denture droite	48
3.4.1.1. Principales caractéristiques des engrenages parallèles à denture droite.....	49
3.4.1.2. Rapport de vitesses	50
3.4.2. Les engrenages coniques.....	50
3.4.2.1. Rapport de vitesses	51
3.4.2.2. Principales caractéristiques des engrenages coniques à denture droite.....	52
3.4.2.3. Les conditions d'engrènements	52
3.5. Les engrenages gauches (à vis sans fin).....	53
3.5.1. Principales caractéristiques des engrenages à roue et vis sans fin.....	54
3.5.2. Rapport de vitesses.....	55
3.5.3. Différents types de systèmes roue-vis sans fin	55
3.5.3.1 Vis sans fin avec roue cylindrique.....	55
3.5.3.2 Roue creuse et vis tangente.....	55
3.5.3.3. Roue creuse et vis globique	55
3.6. Les engrenages à axes parallèles à denture hélicoïdal.....	56
3.6.1. Principales caractéristiques de l'engrenage hélicoïdal.....	57
3.6.2. Rapport de vitesses.....	57
3.7. Trains d'engrenages.....	58
3.8. Lubrification des engrenages.....	58
3.9. Les réducteurs de vitesses.....	58
3.9.1. Définition.....	60
3.9.2. Rôle d'un réducteur de vitesse.....	61
3.10. Les types des réducteurs.....	61
3.10.1. Réducteur à roue et vis sans fin.....	61
3.10.1.1. Caractéristiques techniques de la roue et vis sans fin	61
3.10.2.2. Principales applications	62
3.10.3. Réducteur à engrenage conique.....	62
3.10.3.1. Caractéristiques techniques des réducteurs coniques.....	62
3.10.3.2. Principales applications	63
3.10.4. Réducteurs à engrenages cylindriques à arbres parallèles.....	63
3.10.4.1. Caractéristique technique des réducteurs à arbres parallèles	63

3.10.4.2. Principales applications	64
3.10.5. Réducteurs à trains épicycloïdales.....	64
3.10.5.1. Caractéristiques techniques.....	64
3.10.5.2. Train planétaire simple	65
3.10.5.3. Train planétaire composé	65
3.10.6. Les avantages des systèmes planétaires	65
3.10.7. Les inconvénients des systèmes planétaires	65
3.10.8. Différents types de trains épicycloïdaux	65
3.11. Mode de lubrification.....	65
Conclusion.....	66

Chapitre 4 : Influences des défauts sur la transmission des réducteurs

Introduction.....	67
4.1. Différents composant du réducteur.....	69
4.2. Schéma cinématique du réducteur	70
4.3. Les séquencés de démontage du réducteur de vitesse	71
4.4. Plaque signalétique.....	72
4.4.1. Codification.....	73
4.5. Description de l'installation.....	73
4.6. Fondation.....	73
4.8. Critère du choix d'un réducteur.....	74
4.9. Définition du système étudié	74
4.10. Calcul cinématique.....	75
4.10.1. La force d'entraînement du convoyeur.....	76
4.11. Diagrammes Ishikawa (causes/effet).....	80
4.12. Etude principaux défauts au niveau des réducteurs.....	80
4.12.1. Déséquilibre (défaut de balourd).....	80
4.12.2. Défaut d'alignement.....	81
4.12.3. Défauts de serrage.....	82
4.12.3. Défauts d'engrenages	82
4.12.4. Défauts de roulement	85
4.13 Définition.....	86
4.13.1. Objectifs de l'AMDEC.....	86

4.14. Diagramme Fast.....	88
4.15. Diagramme de pieuvre.....	89
4.15.1. Caractérisation des fonctions de service.....	89
4.16. Méthode ABC (Diagramme Pareto)	94
4.16.1. Application de la méthode ABC (Pareto).....	95
4.17. La mise en place d'une gamme de maintenance préventive	99
Conclusion	101

Liste des symboles et abréviations

AFNOR	Association Française de Normalisation.
AMDEC	Analyse des Modes de Défaillance de leur Effet et de leur Criticité
GMAO	Gestion de maintenance assistée par ordinateur
GTP	Gestion technique du patrimoine
GTB	Gestion technique du budget
$\lambda (t)$	Taux de défaillance.
MTBF	Moyennes des Temps de Bon Fonctionnement
TBF	Temps d'opération (Bon Fonctionnement).
TTR	Temps Technique de Réparation.
TA	Temps d'Arrêt
MTTR	Moyenne des Temps Techniques de Réparation.
MUT	Durée moyenne de fonctionnement après réparation.
MDT	Durée moyenne d'indisponibilité après défaillance
D(t)	Fonction de disponibilité
NF X60-020	La norme expérimentale, indicateur de maintenance
CI	Coûts d'indisponibilité
CM	Coûts de maintenance
Pe	La puissance du moteur en (KW)
ω_e	La vitesse angulaire du moteur (rad/s)
Ce	Le coule délivré par le moteur
ω_s	La vitesse de rotation du sortie
η	Le rendement
PC	Ordinateur
N	La vitesse de rotation

D	Le diamètre
r	Rapport des vitesses ou rapport de transmission
Z_{roue}	Nombre de dents de la roue
Z_{vis}	Nombre de dents de la vis
m/s	La vitesse en mètre par seconde
C	Le couple du réducteur en (Nm)
Φ	Angle primitif en degré
P_m	La puissance de sortie du réducteur en (KW)
N_m	La vitesse motrice (t/min)
N_r	La vitesse réceptrice (t/min)
K	Le rapport entre les vitesses angulaires (rad/s)
n	Le nombre de contacts extérieurs
n_m	La vitesse en charge
Δn_{m0}	Les variations de la vitesse en charge
C_m	Le couple en charge
ΔC_m	Les variations du couple en charge

Liste des figures

Figure 1.1 :	Carte géographique des gisements.....	03
Figure 1.2 :	L'emplacement stratégique du complexe de phosphate.....	04
Figure 1.3 :	Schéma Technologique de préparation mécanique.....	09
Figure 1.4 :	Schéma Technologique du Débourage.....	14
Figure 1.5 :	Schéma Technologique de dépoussiéage.....	21
Figure 2.1 :	Objectifs généraux de l'entreprise	25
Figure 2.2 :	Place du service maintenance dans l'entreprise	27
Figure 2.3 :	Types de maintenance	34
Figure 2.4 :	Courbe en baignoire du taux de défaillance	36
Figure 2.5 :	Temps total d'opération	36
Figure 2.6 :	Temps total d'arrêt.....	38
Figure 2.6 :	Cycle de vie d'un système : évolution dans le temps.....	38
Figure 2.7 :	Indicateurs qui résultent la disponibilité	40
Figure 2.8 :	Compromis entre le coût de maintenance et le coût d'indisponibilité.....	44
Figure 3.1 :	Chaîne de puissance.....	45
Figure 3.2 :	Système poulies – courroies.....	46
Figure 3.3 :	Différentes types des courroies	46
Figure 3.4 :	Chaine de transmission	46
Figure 3.5 :	Principaux constituants de la chaine.....	47
Figure 3.6 :	Système d'engrenage.....	48
Figure 3.7 :	Caractéristiques de la denture droite	50
Figure 3.8 :	Système d'engrenage conique	51
Figure 3.9 :	Système d'engrenage vis sans fin.....	53
Figure 3.10 :	Système d'engrenage hélicoïdal.....	82
Figure 3.11 :	Roues d'engrenage, engrenage, train d'engrenages, train planétaire.....	83
Figure 3.12 :	Réducteur à vis sans fin.....	84
Figure 3.13 :	Réducteur de vitesse à couple conique.....	84
Figure 3.14 :	Réducteurs à arbres parallèles.....	85
Figure 3.15 :	Réducte épicycloïdal.....	85
Figure 4.1 :	Dessin technique 2D du réducteur de vitesse a axe orthogonal	68
Figure 4.2 :	L'assemblage total du réducteur orthogonal a couple conique.....	70

Figure 4.3 :	L'un des quatre sous-groupes composé d'un arbre, d'engrenages	71
Figure 4.4 :	Les quatre sous-groupes de réducteur de vitesses en 3D.....	71
Figure 4.5 :	plaque signalétique du réducteur de vitesse CMD.....	72
Figure 4.6 :	Diagramme d'Ishikawa de défaillance des composants du multiplicateur ..	74
Figure 4.7 :	Ecart d'usinage (excentricité et parallélisme).....	78
Figure 4.8 :	Défaut de délignage.....	80
Figure 4.9 :	Dégradation des dents d'une roue dentée.....	81
Figure 4.10 :	Défauts de l'usure	82
Figure 4.11 :	Défauts de piquûre.....	83
Figure 4.12 :	Défauts de l'écaillage.....	84
Figure 4.13 :	Défauts de fissuration.....	84
Figure 4.14 :	Roulement à billes.....	85
Figure 4.15 :	Utilisation des techniques d'analyse.....	85
Figure 4.16 :	Méthode d'optimisation de la maintenance par l'AMDEC.....	86
Figure 4.17 :	La criticité des défaillances du réducteur.....	89
Figure 4.18 :	Histogramme des pannes cumulées.....	90
Figure 4.19 :	La courbe (ABC) des systèmes étudiés.....	90
Figure 4.20 :	Méthode d'optimisation de la maintenance par AMDEC.....	93
Figure 4.21 :	La criticité des défaillances du réducteur.....	100

Liste des tableaux

Tableau 1.1. Objectifs techniques de la maintenance	05
Tableau 1.2. Fonctions du service maintenance.....	06
Tableau 1.3 niveaux de maintenance existants.....	16
Tableau 1.4. Causes et leurs remèdes des différents modes de défaillance.....	18
Tableau 2.1 : types d'engrenages.....	31
Tableau 2.2 : avantages et inconvénients des engrenages à denture droite.....	33
Tableau 2.3 : avantages et inconvénients des engrenages coniques.....	34
Tableau 2.4 : avantage et inconvénients des engrenages à vis sans fin.....	36
Tableau 2.5 : avantage et inconvénients des engrenages hélicoïdales.....	40
Tableau 4.1 : Nomenclature du réducteur de vitesse.....	69
Tableau 4.2 : rendement de quelques couples de frottements.....	75
Tableau 4.3: Caractérisation des fonctions de service.....	90
Tableau 4.4 : La criticité des défaillances du réducteur étudié.....	94
Tableau 4.5: Tableau des coûts et des pannes cumulées (Application).....	98

INTRUCTION GENERALE

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

Notre travail s'est basé sur l'étude et la maintenance des réducteurs de vitesse (réducteurs industriels) à train d'engrenage, à vis sans fin ou bien planétaire. Notre étude se divise en quatre chapitres, le chapitre I sera consacré pour la société somiphos, lieu de notre stage, présentation générale de l'entreprise la politique qualité, l'intentions et l'orientassions d'organismes.

Le chapitre II, généralité sur la maintenance industriel principaux types et concepts.

Le chapitre III , introduira les différents types des mécanismes de transmissions , des réducteurs, ainsi que leur domaine d'utilisation, la fonction globale des engrenages.

Dans le dernier chapitre, mentionne les différents défauts qui affectent sur le fonctionnement des réducteurs, la méthode AMDEC sera utilisée pour la l'analyse des modes de défaillances , des arbres et des roues dentées ,roulements choisir ensuite une méthode de maintenance appropriée en fonction des données obtenues.

Ce travail sera finalisé par une conclusion générale et quelques perspectives d'avenir.

Chapitre 1 : Présentation de la société et problématique

Introduction

Somiphos (société des mines de phosphates) est l'une des plus importantes entreprises minières en Algérie. Dans ses activités d'exploitation des mines de phosphate, de fer et de pouzzolane, Elle a pour objet la recherche, l'exploitation, le traitement, l'enrichissement, la transformation le transport et la commercialisation des phosphates et produits connexes ou analogues, il utilise les technologies et procédés les plus récents, recherche l'excellence, emploie les hommes qualifiés, intègres et motivés.

Historique

Les phosphates Algériens ont été découverts à BOUGHARI par PH.THOMAS en 1873.

Dans la période (1907 -1908) L.JOLEAU à découvert le gisement de djebel Onk, des informations plus complètes a été présenté par D.DUSSERT, mais surtout FLANDRIN en 1948 qui contribua à l'apport des nouvelles plus détaillées.

Ce n'est qu'en 1931 que ces phosphates font l'objet d'une première concession par la compagnie des phosphates de CONSTANTINE qui était le principal producteur en Algérie suite à laquelle fut créer la société en 1936.

De 1961 à 1963, des essais de prospection radio métrique aéroportée sont effectués au-dessus du gisement de Djebel Onk.

En 1963, les études géologique et minière précédant l'exploitation du gisement de Djemi Djema sont réalisées par la société SERMI, pour la société de DJEBEL-ONK (rapports de G.RANCHIN, 1963) parallèlement, la société française SOFREMINE (1962 rédige un avant-projet d'exploitation du gisement de KEF ESSENOUN).

Ce n'est qu'en mois de 1965 que débute l'exploitation de Djemi Djema (SOCIETE DU DJEBEL-ONK) qui aurait dû relayer, en 1963, la fin de l'exploitation de DJEBEL-KOUIF commencée en 1894.

En 1971 à 1974, les travaux de recherche et de prospection sur les phosphates dans l'Est de l'Algérie qui ont été relancé par la SONAREM, sont suivis par une campagne de prospection et d'évaluation du district minier de Djebel Onk.1

Chapitre 1 : Présentation de la société et problématique

De 1985 - 1987, l'EN FERPHOS a confié à l'EREM des travaux de recherche et d'évaluation des ressources en phosphate de tous les gisements potentiels de la région du Djebel Onk, notamment le gisement de KEF ESSENOUN a été reconnu en détail par l'EREM au cours de l'année 1986, grâce à 32 sondages et 22 tranchées réalisées dans les dressant de KEF ESSENOUN.

En 1989, l'EN FERPHOS fait connaître son cahier des charges pour des études de développement du Complexe minier de Djebel Onk.

En 1993, BRGM a fourni un rapport d'expertise géologique de tous les gisements de Djebel Onk.

1.1. Situation géographique du djebel onk

La région du djebel Onk est située en nord-ouest du Sahara Algérien. Précisément, à l'est de monts de Nemamcha. À une vingtaine de kilomètres de la frontière Algérienne- Tunisienne. La région appartient à la wilaya de Tébessa. Elle est éloigné d'environ 100 km, la localité la plus importante est la ville de BIR-EL ATER.

C'est un massif montagneux calcaire qui culmine à 1338 mètres et dont le flanc Nord descend en pente douce tandis que le flanc Sud plonge rapidement sous les dépôts du miocène et du quartenaire.

Au Sud se localisent les gisements de « Djemi Djema » et « Kef Es Sennoun » Le gisement de « Kef Essenoun » est situé à environ 02 Km à l'Ouest du gisement de « Djemi Djema ».

Il s'étant sur une longueur de 2,7 Km et une largeur de 0,8 Km, ce qui correspond à une superficie de 2,1 km² La zone I est un quartier du gisement de « Djemi Djema ».

Tarfaya représente les affleurements de la couche productive au niveau du flanc sud de Djebel Onk.

Ces coordonnées LAMBERT sont :

$$X = 981.500$$

$$Y = 168.000$$

$$Z = 170.000$$

Les côtes topographiques varient de 720m au Sud-ouest à 810m au Nord-est (dressants Nord).

Chapitre 1 : Présentation de la société et problématique

Du Nord vers le Sud, les gisements sont traversés par un réseau enchevêtré d'Oueds comblés par des alluvions torrentiels du quaternaire tel que : « Oued el Abiod » et « Oued El Bir ».

Le complexa minier de Djebel Onk est distant de 7 km de la ville de « Bir El Ater » et de 340 km des installations portuaires de Annaba.

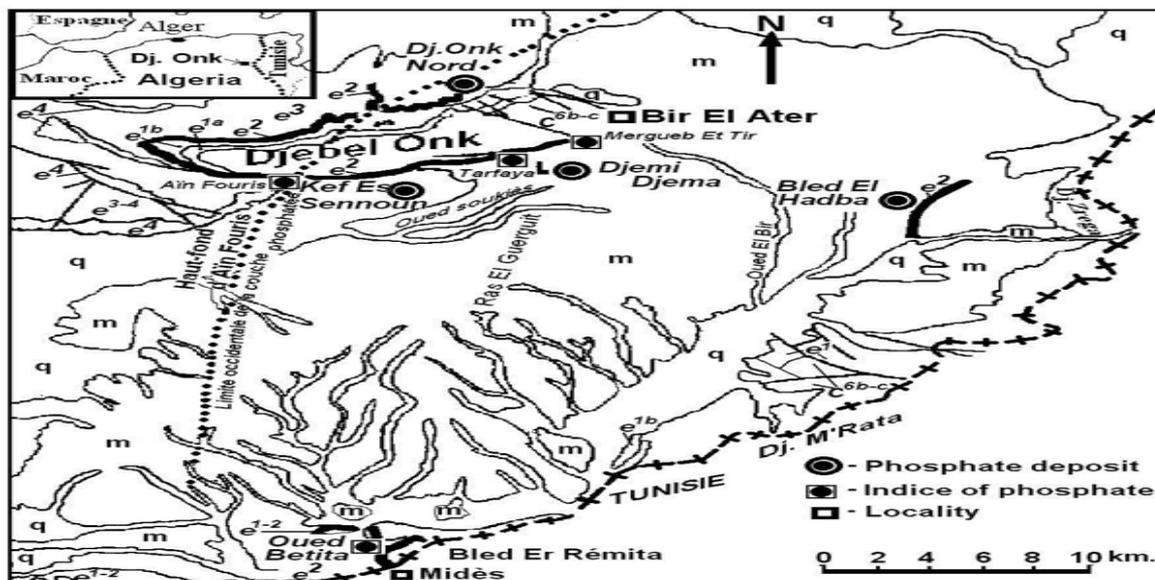


Figure 1.1 : Carte géographique des gisements [43]

1.1.2. Contexte géologique

La région de djebel Onk est divisée en plusieurs gisements :

-Le gisement de « Djemi Djema » Zone (II) Ouest, Zone(I) est.

-Le gisement de « Kef-ES Sennoun ».

-Le gisement de « Tarfaya ».

-Le gisement de « Margueb Ettir ».

-Le gisement de « bled el hadba ».

-Le gisement de « Bettita ».

-Le gisement de « Djebel ONK » au nord.

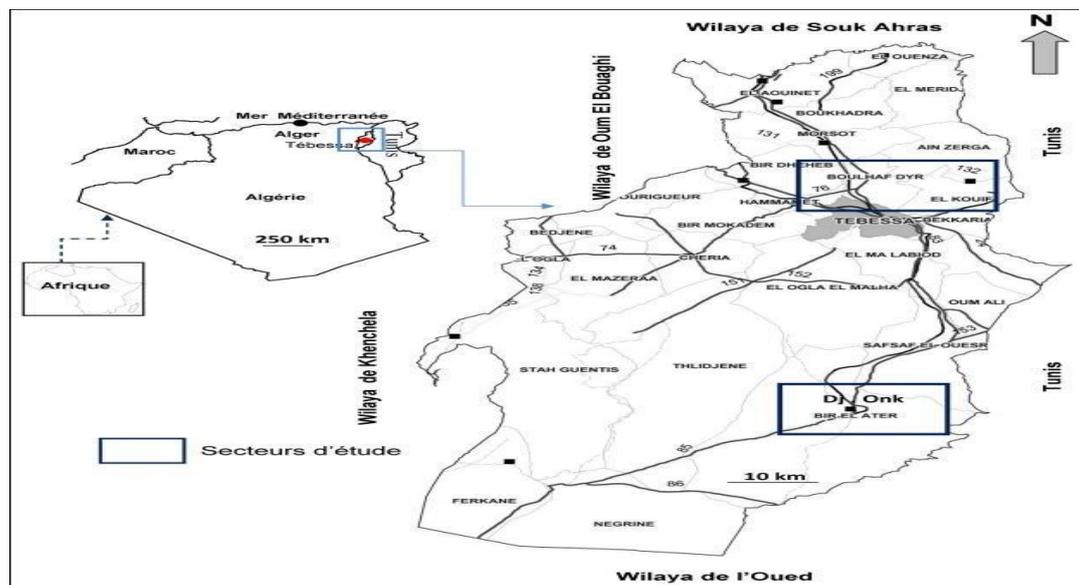


Figure 1.2 : l'emplacement stratégique du complexe de phosphate [44]

1.1.3. Organisation générale de la mine

L'entreprise ferphos à caractère économique est chargée du développement de la production nationale et internationale du phosphate par l'intermédiaire de somiphos DJEBEL EL ONK.

1.2. Structures de mine

FERPHOS (issue de la restructuration de la SONAREM) a été filialisée en plusieurs filiales :

- **SOMIPHOS** : (société des min et de phosphate)
- **SOMIFER** :(société des mines de fer)
- **SFO** : (société fonderie Ouenza)
- **SOTRAMINE** : (société de transport minier)
- **FARBAT** : (ferphos batigec)
- **SPMC** : (société pouzzolane et matériaux de construction)

1.2.1. Composition de somiphos

- Direction générale
- **CERAD** : (centre d'étude et de recherche appliquée et développement)
- **IPA** : (installations portuaires Annaba)
- **CMDO** : (complexe minier de djebel Onk)

1.2.2. Composition du complexe de djebel onk

- Direction du Complexe
- Service personnels
- Service comptabilité générale
- Service comptabilité analytique
- Service sécurité
- Responsable management qualité et environnement.
- Direction technique

1.2.2.1. La direction technique

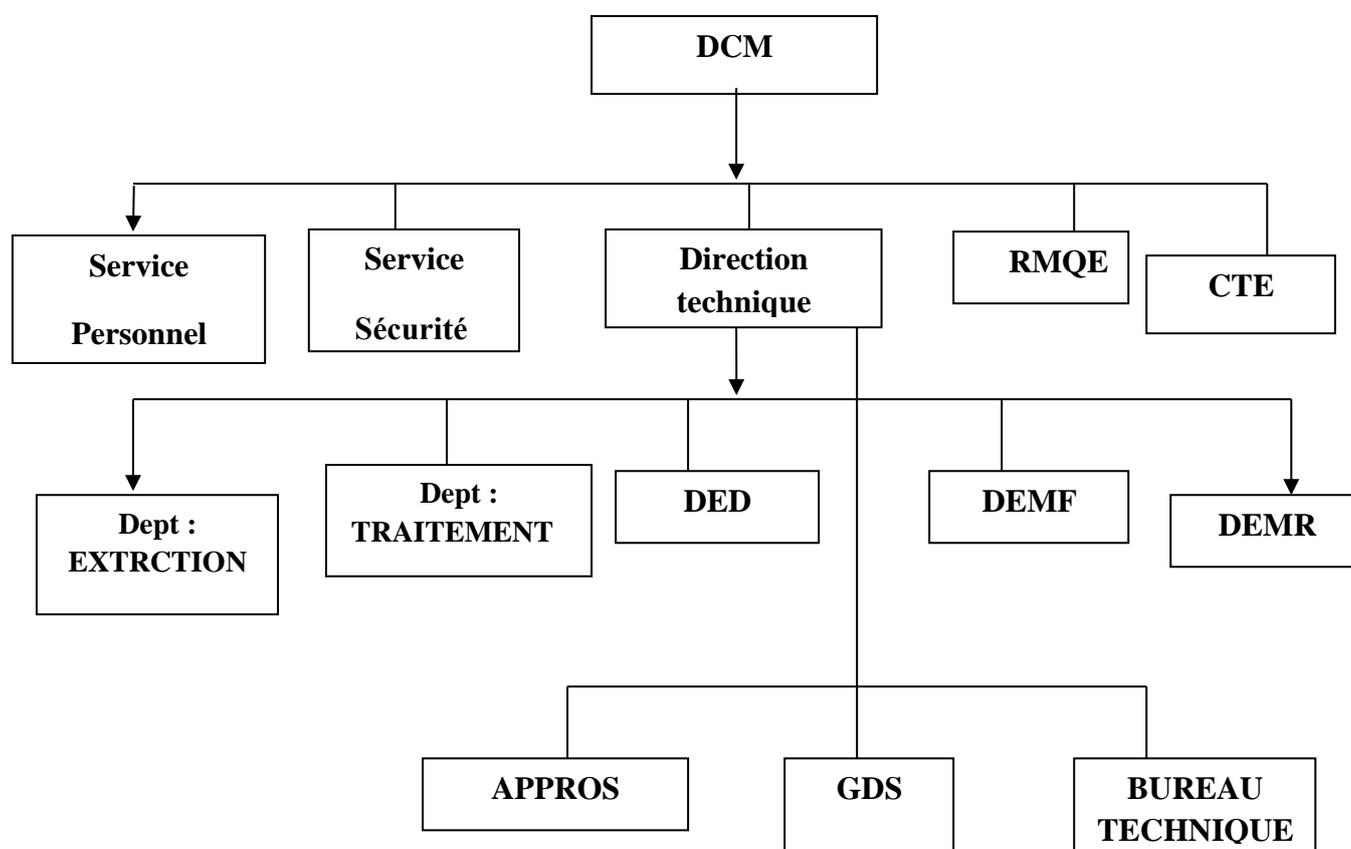
Comporte cinq (05) départements :

- département Extraction
- département Traitement
- **DED** : département Etude et Développement
- **DEMR** : (département Entretien Matériels roulants)
- **DEMF** : (département Entretien Matériels fixes)

Et 3 Service :

- Service approvisionnement achats
- Service gestion des stocks
- Bureau technique

1.3. Organigramme du complexe



1.3.1. Les moyens humains

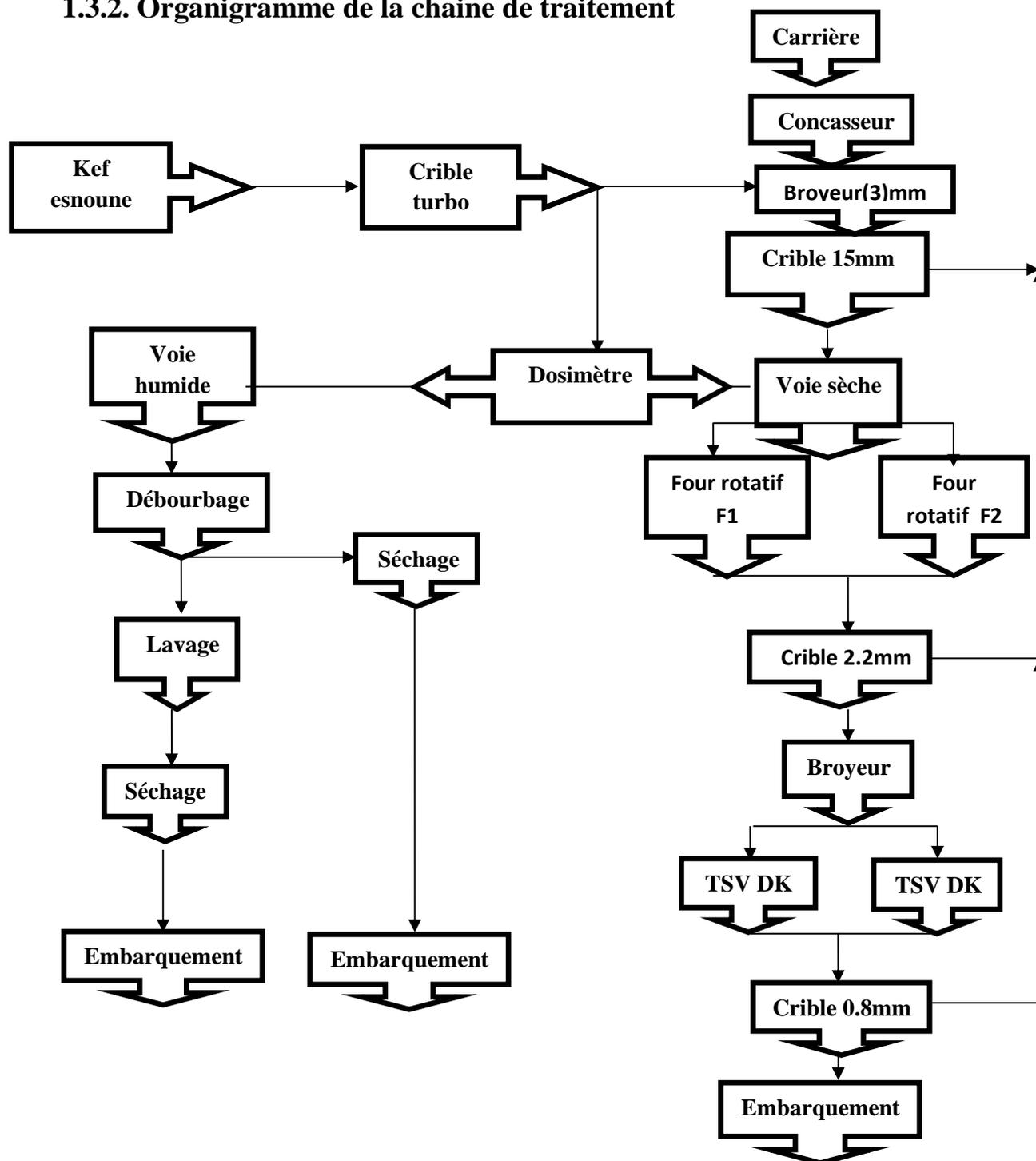
La réussite du complexe est basée sur le niveau de management exemplaire et la rigueur dans la prise en charge des problèmes de travail à temps qui les bonnes relations entes les travailleurs permettant la réalisation des objectifs par le complexe phosphate .

L'effectif du personnel se divise en plusieurs divisions.

Chapitre 1 : Présentation de la société et problématique

Chaque division à un rôle bien déterminé, les cadres supérieurs gérant la Planification et la prise en charge des problèmes technique, les cadres maîtrises assurant le rôle de suivi sur le terrain des principales étapes de réalisation de la production, alors que les ouvriers interviennent directement sur le processus

1.3.2. Organigramme de la chaîne de traitement



1.4. Préparation mécanique

Pour subir des traitements, le minerai tout venant de la carrière doit passer par la préparation mécanique, qui alimente les deux voies de traitement.

La préparation mécanique a pour but de réduire les dimensions des blocs de minerais pour libérer les composants utiles de leurs gangues. Elle comporte les trois opérations suivantes : Concassage, broyage et le criblage

1.4.1. Concassage

Cette opération a pour but la réduction des blocs du tout-venant alimentant l'usine de traitement d'une dimension d'un mètre jusqu'à une grosseur inférieure à 200 (mm).

Elle se fait au moyen des deux concasseurs :

- Concasseur à cône giratoire « BABITLESS » d'une capacité de 1000 (t/h) ;
- Concasseur à percussion « HAZEMAG » menu d'un système de scalpage d'une capacité de 1200 (t/h).

1.4.2. Broyage

Cette opération consiste à réduire le produit concassé jusqu'à une dimension de 20(mm) et ce au moyen de trois broyeurs à marteaux articulés « WEDAG » d'une capacité de production de 300 (t/ h) broyeur.

1.4.3. Criblage

Cette dernière opération de la préparation mécanique consiste à éliminer le produit dont la dimension est supérieur à 15 (mm) au moyen de trois cribles vibrants à résonances « WEDAG » d'une capacité de 300 (t/h) crible et deux cribles vibrants inclinés « HAZEMAG » d'une capacité de 600 (t/h) crible et une ouverture de 10 (mm).

Le passant du crible ayant une granulométrie inférieure à 15 (mm) alimente les deux voies pour l'obtention le produit marchand.

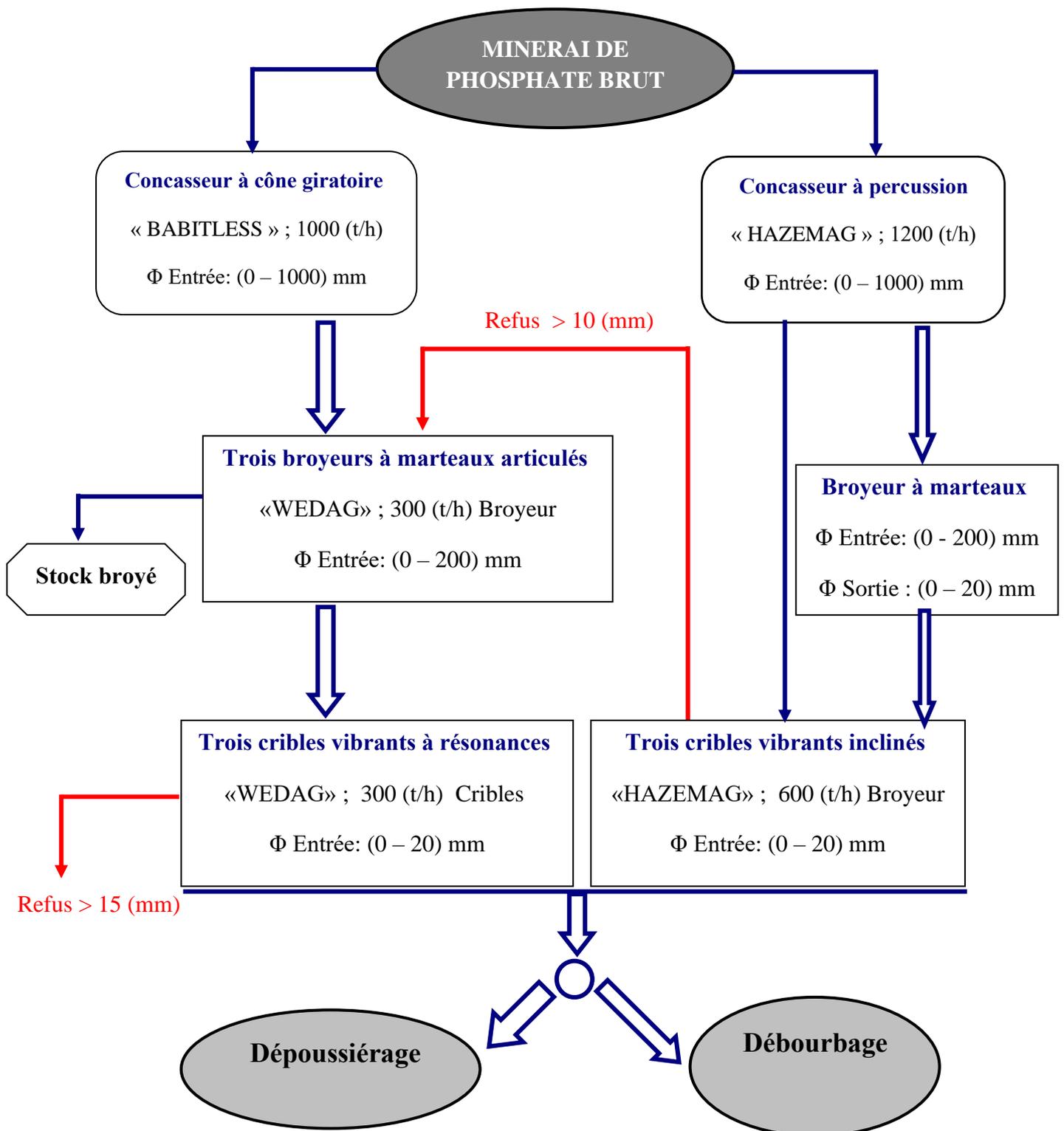


Figure 1.3 : Schéma Technologique de préparation mécanique [45]

1.5. Traitement par voie humide

Cette opération s'effectue dans les ateliers de calcination (**DK1**), elle permet d'enrichir le minerai à une teneur au tricalcique de (63 à 65) % **TPL**. Ce type de traitement comporte les opérations suivantes :

1.5.1. Débourage

Le but de cette opération consiste à éliminer les argiles, les silicates, les matières organiques ainsi que les sels..... Il est constitué des opérations suivantes : une mise en pulpe, criblage humide (grilles courbes), classification, hydro cyclonage et une filtration.

1.5.1.1. Principe de traitement par voie humide

Le passant crible de dimensions inférieure à 15 (mm) est mise pulpe avec de l'eau dans un rapport **solide/liquide** égale à $2/3$ (t/m²), alimente les grilles courbes qui opèrent à une coupure de 1,25 (mm). Les hydro cyclones à mouvement hélicoïdal de rotation récupèrent le passant grilles courbes dont le but est d'éliminer la tranche inférieure à 0.8mm. Les fines particules très pauvre en phosphate seront acheminées vers l'épaississeur et la qualité noble est essore aux moyennes essoreuses le produit débourbe et essore titrant de (63 à 64.5) % **TPL** est expédié pour la deuxième opération.

1.5.2. Séchage

Le produit débourbé étant un produit semi fini humide et qui nécessite une déshydratation jusqu'à l'obtention d'un produit marchand d'une humidité de 1%.

Le séchage se fait au moyen deux méthodes à savoir :

- Séchage par four de calcination
- Séchage par four horizontal

1.5.2.1. Séchage par four de calcination

À cet effet, on a modifié le processus de calcination en four de séchage vertical avec un débit horaire de 70 (t/h) ligne (compartiment de préchauffage) et une température atteignant les 100°C.

1.5.2.2. Séchage par four horizontal

Cet atelier comporte deux fours horizontaux rotatifs dont la température ajustée est à $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$.

Ces fours sont à mouvement rotatif dans lequel le produit débourbé est séché dans une chambre de fluidisation et ce en formant un lit fluidisé en suspension qui a travers la longueur du four le produit subisse une évaporation de l'eau imbibée dans le produit.

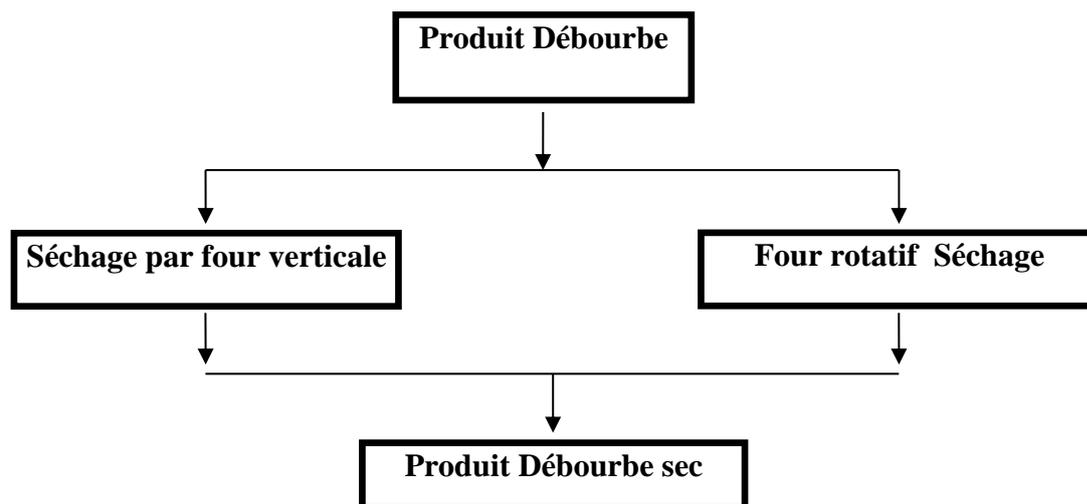


Figure 1.4 : Schéma Technologique du Débourage

1.6. Traitement par voie sèche (Dépoussiérage)

Cette opération s'effectue dans les ateliers de dépoussiérage (**DK2** et **DK3**), est un procédé physico-mécanique d'enrichissement du minerai phosphate pour l'obtention d'un concentré moyen de (29 à 30) % P_2O_5 c'est un procédé issu d'une technologie de traitement à sec, basé essentiellement sur la décarbonation par impacte et aménagement granulométrique.

Le but principal de ce type de traitement est d'enrichir à sec un produit provenant de la carrière ayant 54 à 56 % de **TPL**, broyer et cribler à 15 mm contenant (3 à 7) % d'humidité pour ramener à la qualité commerciale titrant 62.5 % à 63.5 de **TPL** et des granulométries comprise entre (800 et 90) μ . Chaque ligne est d'une capacité de 230 (t/h) à l'alimentation et 137.5 (t/h) à la sortie d'un rendement poids de (60 à

Chapitre 1 : Présentation de la société et problématique

62)% pour pouvoir traiter et enrichir à sec le produit il doit subir cinq opérations de préparation et d'enrichissement.

1.6.1. Séchage à lit fluidisé

Cette opération élimine aussi une partie des solides les plus fines en les entraînant avec les gaz de fluidisation. Il consiste deux fours sécheurs, ils sont divisés en deux comportements :

- Combustion et dilution.
- Séchage par fluidisation.

1.6.2. Criblage à 2(mm)

Cette opération consiste à éliminer le produit dont la dimension est supérieure à 2(mm) au moyen des cribles équipés d'un tamis de 2(mm), permet le rejet des gros supérieurs à 2(mm) qui sont du calcaire, les moins de 2(mm) sont admis et acheminés vers les broyeurs (rendement poids 88%).

1.6.3. Broyage à attrition

Pour libérer une partie de l'exogène aux grains de phosphate, et permettre un meilleur enrichissement final par séparation granulométrique et ce au moyen des broyeurs « Broyeur dragon » équipés d'un rotor sur lequel sont portés des marteaux et chambre de broyeur.

1.7. Sélection par une turbo sélection ventilée:

Cette opération a pour but d'enrichissement du produit en éliminant les fines moins de 80 microns (poussières) à l'aide des ventilateurs à contre-courant aspirent les poussières qui seront récupérées par un filtre à manche.

1.7.1. Criblage à (0,8mm):

Cette phase finale de traitement est assurée au moyen de deux cribles pour chaque **DK** à 0,8mm environ le refus criblé est collecté par un convoyeur qui alimente une trémie à stériles et les passant criblées de dimension (80 à 800) microns sont récupérées sous forme de produit marchand titrant de (63 à 65) % et (66 à 68) % **TPL**.

1.8. Stockage du produit marchand et expédition

Le stockage dans le complexe minier de « **djebel onk** » comprend (05) silos pour le phosphate traité par voie sèche, la capacité d'un silo est de 4000(t) soit une capacité totale de 20000(t).

La capacité des trémies de stockage du phosphate traité par voie humide est de 400(t) par trémie, soit une capacité totale de 2800(t).

1.8.1. Transport du phosphate

L'expédition du phosphate marchand est réalisée par chemin de fer par des trains de 34 wagons (la rame) du type auto videur et par camions de capacité 40(t)

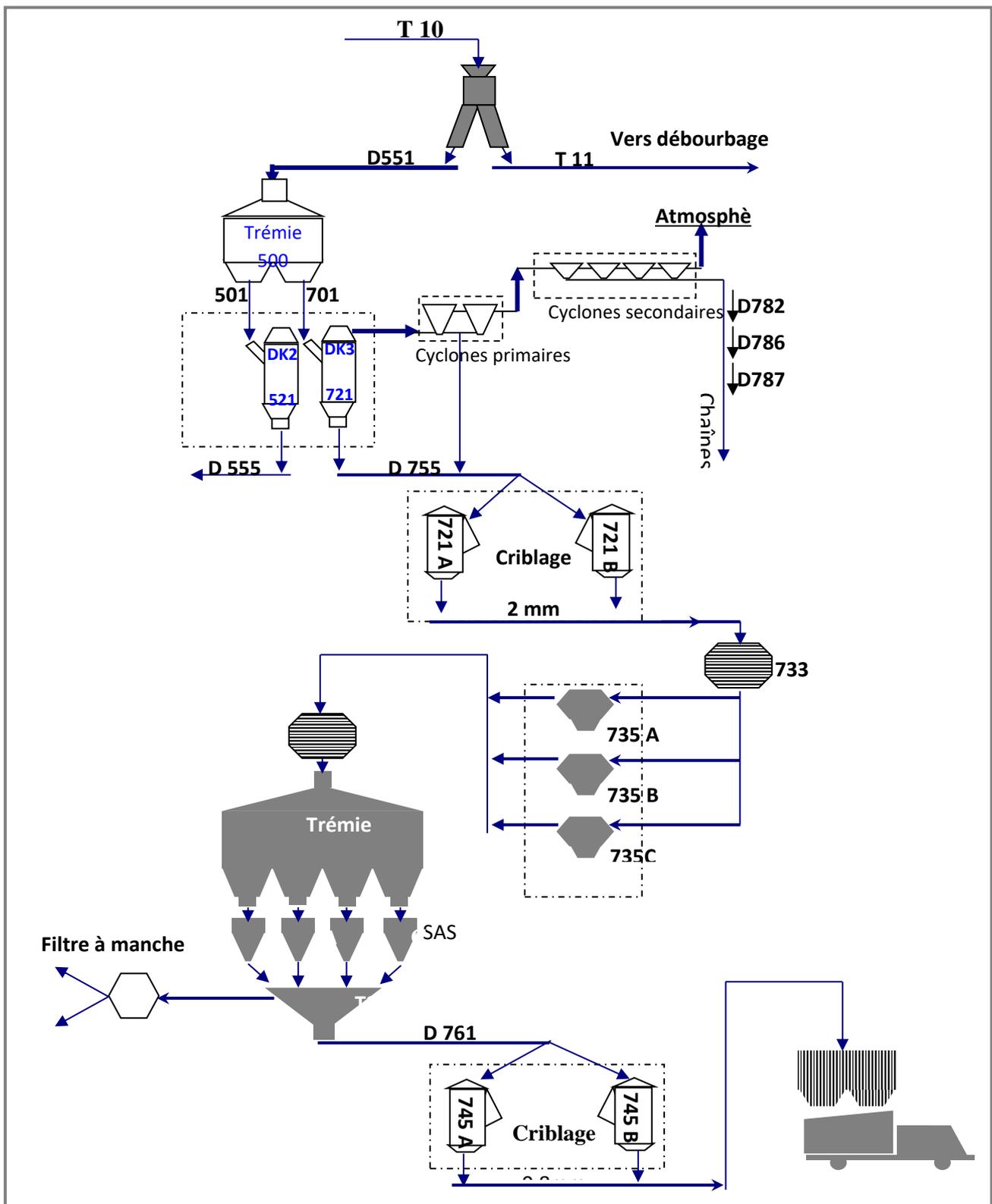
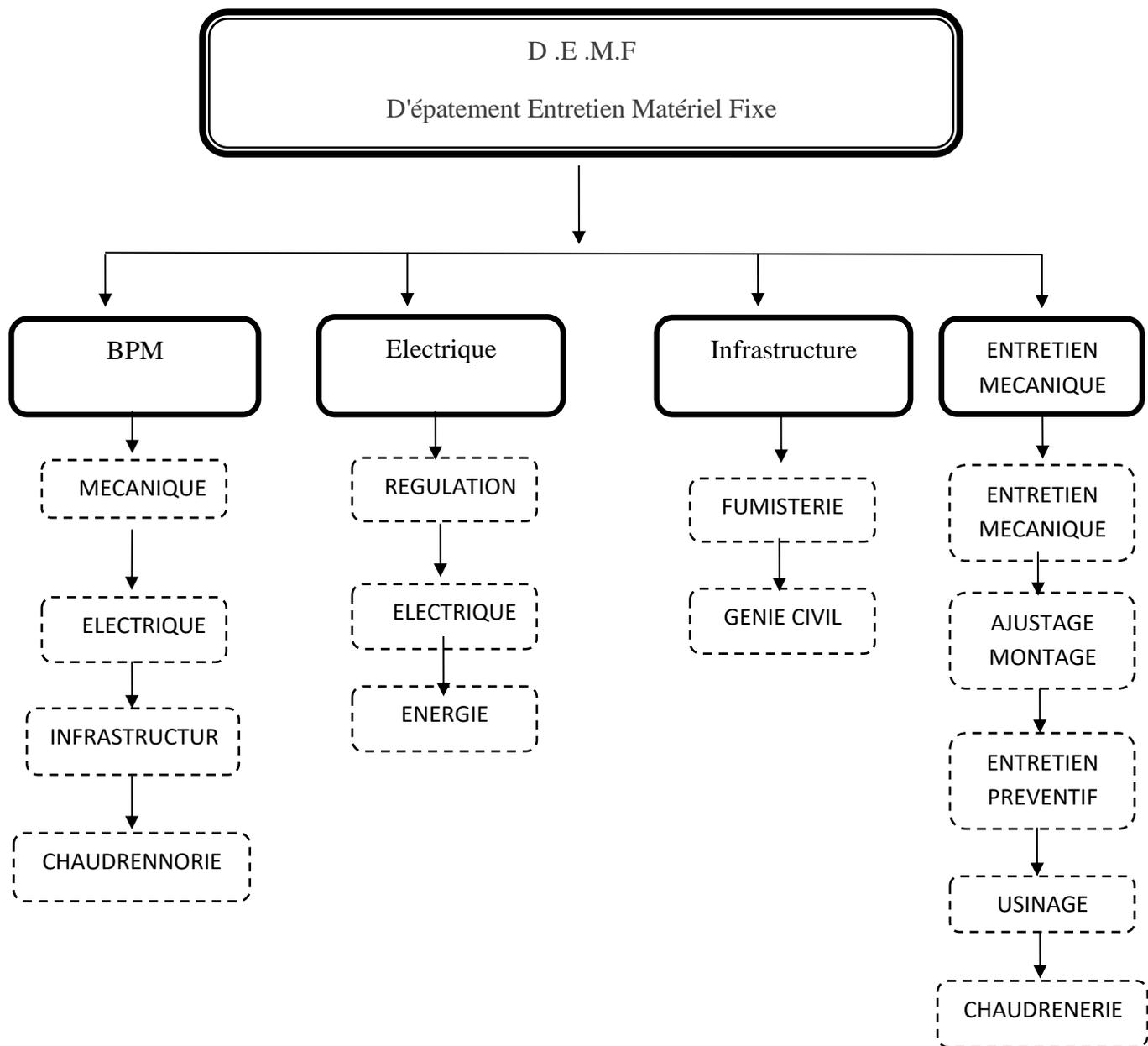
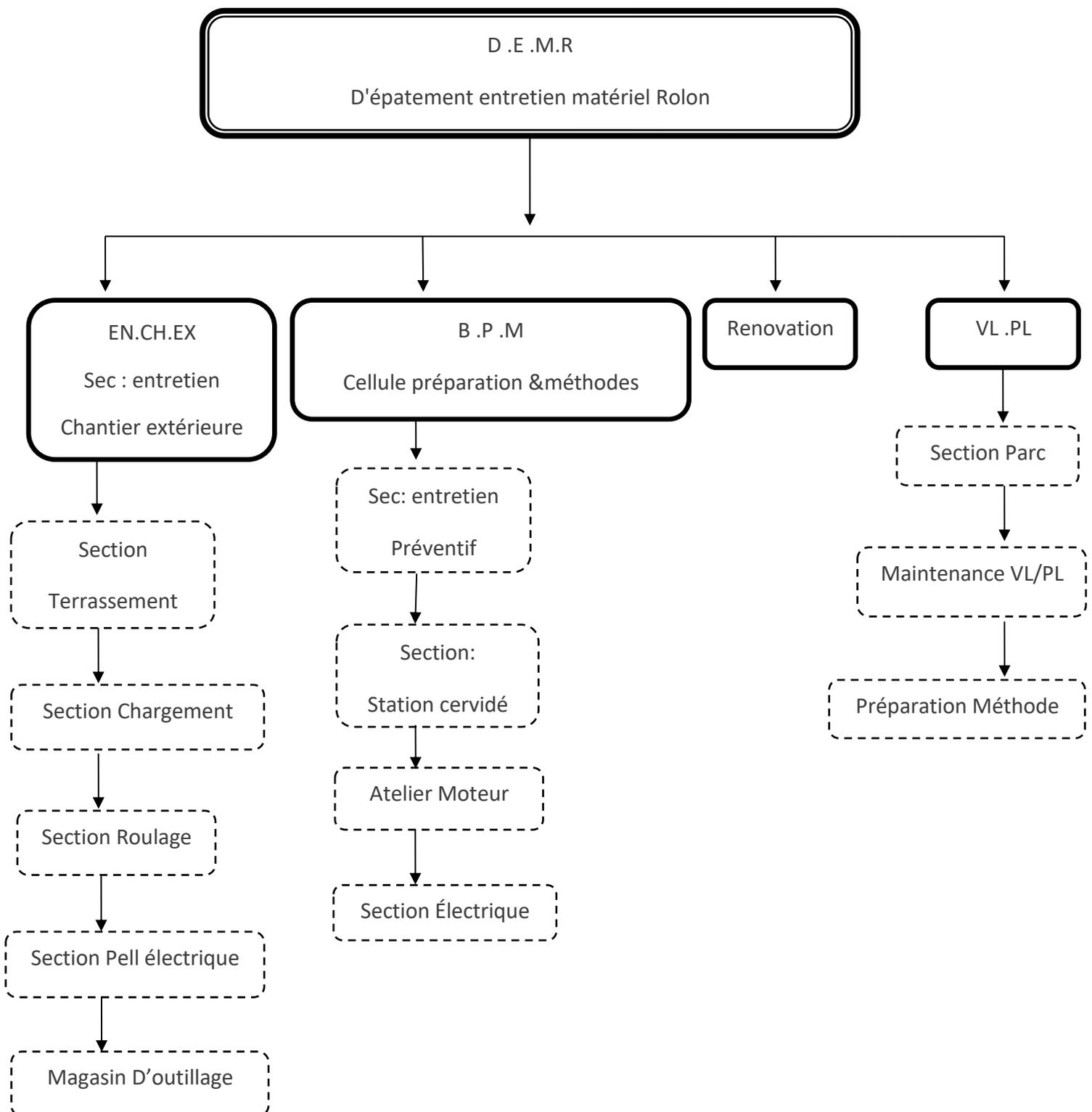


Figure 1.5 : Schéma Technologique de dépoussiérage [45]

1.9. Structure DEMF



3.10. Structure DEMR



Conclusion

Le phosphate algérien est la ressource minière nationale la plus exploitée après le pétrole, il est considéré comme une importante source d'entrer de devise d'une part et comme un élément capital du secteur minier d'autre part.

L'expérience et la compétence des équipes sont remarquables ce qui nous laisse croire que les désires de cette mine vont réalisés avec le temps surtout après l'arrivé du matériel commandé par la mine et la réalisation du nouveau projet de l'usine de traitement final on espère une bonne continuité et intégration parmi les fonctionnaires pour le développement de mes expérience et élargissement de mes connaissances pour renforcer les structures de l'entreprise.

Introduction

Pour être et demeurer compétitive, une entreprise doit produire toujours mieux et au coût le plus bas. Pour minimiser ce coût, on fabrique plus vite et sans interruption des produits de qualité, sans défaut afin d'atteindre la production maximale par unité de temps.

L'automatisation et l'informatique ont permis d'accroître considérablement cette rapidité de production. Cependant, les limitations technologiques des moyens de production ne permettent pas d'augmenter les cadences. De plus, produire plus sous-entend produire sans ralentissements, ni arrêts. Pour cela, le système de production ne doit subir qu'un nombre minimum de temps de non production. Exceptés les arrêts inévitables dû à la production elle-même, les machines ne doivent jamais (ou presque) connaître de défaillances tout en fonctionnant à un régime permettant le rendement maximal.

Cet objectif est un des buts de la fonction maintenance d'une entreprise. Il s'agit de maintenir un bien dans un état lui permettant de répondre de façon optimale à sa fonction.

Histoire de la maintenance

L'histoire de la maintenance peut se décomposer en trois étapes [6]:

D'abord la première période, les machines étaient simples et peu nombreuses, mais la main d'œuvre de fabrication est importante, la maintenance était très élémentaire et son budget était noyé dans les frais généraux de l'entreprise. Dans la seconde période, avec le développement du machinisme, la main d'œuvre diminue en qualité et la maintenance prend plus d'importance, elle a son budget autonome. Cette situation existe encore dans de nombreuses entreprises.

Dans la troisième période, la période de l'ouverture des marchés et avec le développement de l'automatisme.

Dans les industries des processus, la plus grande part des effectifs de production appartient à la maintenance, dont les coûts et le budget se sont considérablement accrus. Le rapport entre les effectifs de maintenance et ceux de la fabrication est passé de 1/50 à 1/5.

La maintenance est l'ensemble de toutes les actions techniques, Administratives et de management effectuées durant le cycle de vie d'un bien et destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise selon l'afnor .

La maintenance a longtemps joué un rôle curatif dont l'unique objectif était de réduire la durée d'immobilisation des machines. Cette maintenance curative était axée sur le court terme et ne résolvait en rien les problèmes liés aux dégradations inévitables.

La concurrence effrénée et la course à la compétitivité incitent l'entreprise à rechercher la qualité totale et surtout la réduction des coûts. La maintenance est ainsi devenue l'une des fonctions importantes dans l'entreprise. Elle vise donc moins à remettre en état l'outil de travail qu'à anticiper ses dysfonctionnements. L'arrêt ou le fonctionnement anormal de l'outil de production, et le non-respect des délais qui s'en suivent, engendrent des surcoûts que les entreprises ne peuvent plus supporter. L'entreprise ne doit plus subir les événements, elle doit les prévoir et analyser leurs effets sur le long terme. Autrefois curative, la maintenance devient préventive et contribue à améliorer la fiabilité des équipements et la qualité des produits. Cette maintenance préventive se traduit par la définition des plans d'actions et d'interventions sur l'équipement, par le remplacement de certaines pièces en voie de dégradation afin d'en limiter l'usure, par le graissage ou le nettoyage régulier de certaines installations.

Ces actions préventives étaient dans un premier temps effectuées de façon systématique selon des calendriers prédéfinis. Elles permettaient d'anticiper les pannes, mais au prix d'un alourdissement important des coûts de maintenance. Grâce à l'évolution des méthodes de diagnostic et de contrôle, une nouvelle maintenance a été créée. Elle utilise des techniques de prévisions de pannes comme l'analyse des vibrations ou des huiles. Cette maintenance dite " préventive conditionnelle " permet de remplacer des pièces juste avant leur rupture. Le choix entre les différents aspects de la maintenance se fait principalement au regard des coûts économiques, mais aussi des aptitudes et compétences du personnel de maintenance, et de la position concurrentielle sur le marché.

2.1. Définitions et rôle de la maintenance

Ce n'est pas seulement réparer ou dépanner au moindre coût ou remettre en état dans les plus brefs délais. Ce n'est pas non plus maintenir les installations en marche à tout prix ou assurer une sécurité de fonctionnement élevée, coûte que coûte, pour atteindre une disponibilité maximale mais non rentable. La maintenance commence dès la conception du matériel : il faut qu'il soit apte à être entretenu (notion de maintenabilité), ensuite à produire, son utilisation doit être aisée et sa sécurité maximale. Pendant toute sa vie de production la maintenance surveille le matériel, suit ses dégradations et le remet à niveau avec un contrôle des performances, une surveillance des coûts et disponibilités en recherchant les solutions les plus simples. En fin de vie, la maintenance propose d'abord une diminution des performances compatible avec les possibilités du matériel et enfin son renouvellement. [18]

2.1.1. Définitions normatives

Une première définition normative de la maintenance fut donnée par l'AFNOR en 1994 (**norme NFX 60- e.010**), à savoir « l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé ».

Depuis 2001, elle a été remplacée par une nouvelle définition, désormais européenne (NF EN 13306 X 60-319) : « Ensemble de toutes les 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 ».

Le dictionnaire Larousse définit la maintenance comme :

« L'ensemble qui permet de maintenir ou de rétablir un système en état de fonctionnement»

Le projet "CEN" (Comité Européen de Normalisation) la définit par :

« L'ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de gestion durant le cycle de vie d'un matériel, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise ».

La fonction requise est ainsi définie par : « la fonction ou l'ensemble des fonctions d'un bien considéré comme nécessaire pour fournir un service déterminé ».

2.1.2. Rôle de la fonction maintenance

Dans une entreprise, quelque soit son type et son secteur d'activité, le rôle de la fonction maintenance est donc de garantir la plus grande disponibilité des équipements au rendement meilleur tout en respectant le budget alloué. Le service maintenance doit mettre en œuvre la politique de maintenance définie par la direction de l'entreprise, cette politique devant permettre d'atteindre le rendement maximal des systèmes de production.

Un service de maintenance peut également être amené à participer à des études d'amélioration du processus industriel, et doit, comme d'autres services de l'entreprise, prendre en considération de nombreuses contraintes comme la qualité, la sécurité, l'environnement, le coût, etc..

2.2. Objectifs de la maintenance dans l'entreprise

2.2.1. Objectifs généraux

Les objectifs poursuivis par la fonction maintenance résultent des objectifs généraux qui, dans le cas d'une entreprise portent essentiellement sur la rentabilité, la croissance, la sécurité, ainsi que sur des objectifs sociaux [1].

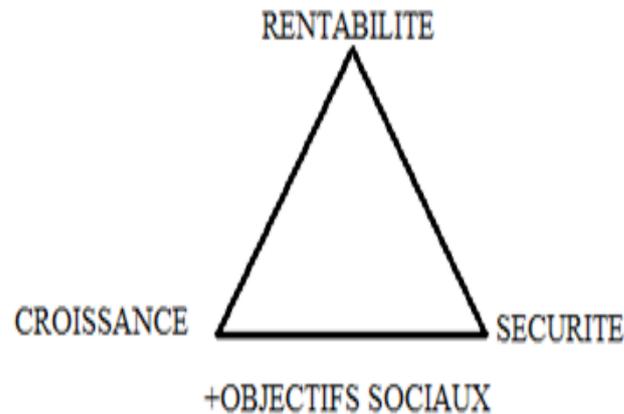


Figure 2.1. Objectifs généraux de l'entreprise [1]

La fonction maintenance doit, comme les autres fonctions, contribuer à la réalisation de cet objectif essentiel, à savoir la rentabilité et la compétitivité des entreprises et l'efficacité des administrations.

La sécurité des personnes et des biens constitue une composante prioritaire des objectifs de la maintenance.

2.2.2. Objectifs techniques de la maintenance

Ces objectifs dépendent essentiellement de la nature des entreprises considérées et leurs impératifs d'exploitation [14]. Ces impératifs sont donnés sur le tableau suivant :

Tableau 2.1. Objectifs techniques de la maintenance [1].

	Production par Processus	Production / montage en série	Production par unités	Services de Transport	Exploitation des services
Exploitation des services	Spécialisé haute technologie	Machines-outils Courantes	Equipement spécialisé spécifique à chaque étape de lancement des travaux	Parc relativement uniforme de technologie courante	Peu d'équipements propres mais des services auxiliaires
Impératif d'exploitation	Ne pas interrompe le flux, cela coute cher	Maintenir chaque poste de travail à sa capacité maximale	A chaque nouvelle étape de la fabrication, l'appareillage nécessaire doit être disponible	Le nombre d'unités en révision doit être aussi faible que possible	A aucun moment, les services ne doivent être arrêtés
Capacités particulières	Connaissances approfondie du processus spécialisé	Connaissances des principaux types de machines-outils	Assurer la disponibilité du matériel spécialisé pour chaque étape	Prévoir une rotation rationnelle qui permet l'entretien systématique	Assurer sans interruption la fourniture du service auxiliaire

2.2.3. Objectifs financiers de la maintenance

Lorsqu' un ensemble d'objectifs technique a pu être défini pour la maintenance, l'objectif financier consiste alors à réaliser cet objectif technique au moindre coût.

Cet objectif de moindre coût concerne évidemment le long terme. Le coût global d'acquisition et d'utilisation défini précédemment constitue alors l'indicateur le plus pertinent.

Lorsque les coûts d'indisponibilité peuvent être estimés de façon complète, cet dans la mesure où les contraintes et règles de sécurité sont satisfaisantes, c'est l'ensemble des coûts directs de maintenance et des coûts d'indisponibilité qu'il importe de rendre minimum.

Chapitre 2 : Approche et importance de la maintenance au sein de l'entreprise

Cette optimisation doit être effectuée à long terme le coût global d'acquisition et d'utilisation constitue également un indicateur pertinent, en y incluant ici les coûts d'indisponibilité.

A court terme, le budget du service maintenance constitue également un outil de gestion utile, et en fait nécessaire dans le cadre de l'élaboration du budget de l'entreprise.

Si la priorité est donnée au budget de la maintenance, la qualité du service rendu devient une résultante du moins en supposant le budget disponible utilise au mieux [1].

Une troisième voie consiste à chercher à optimiser le ratio ci-après :

$$\frac{\text{Coût de maintenance} + \text{coût d'indisponibilité}}{\text{Chiffre d'affaire relatif à la production}}$$

2.3. Service de la maintenance

2.3.1. Fonctions du service maintenance (Norme FD X 60-000)

Les fonctions du service maintenance sont présentées dans le tableau (2.2) .

Tableau 2.2. Fonctions du service maintenance [10]

Les fonctions de la Maintenance	Etude
	Préparation
	Ordonnancement
	Réalisation
	Gestion

Il est défini comme suit [2];

2.3.1.1. Fonction étude

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

2.3.1.2. Fonction préparation

La préparation des interventions de maintenance doit être considérée comme une fonction à part entière du processus de la 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, tel que : coût, délai, qualité, sécurité

2.3.1.3. Fonction ordonnancement

L'ordonnancement représente la fonction du "chef d'orchestre". Dans un service maintenance caractérisé par l'extrême variété des tâches en nature, en durée, en urgence et en criticité.

2.3.1.4. Fonction 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.

2.3.1.5. Fonction 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.

2.3.2. Domaines d'action du service maintenance [20]

Les différentes tâches dont un service maintenance peut avoir la responsabilité nécessitent :

- la maintenance des équipements : actions correctives et préventives, dépannages, réparations et révisions.
- l'amélioration du matériel dans l'optique de la qualité, de la productivité et de la sécurité.
- les travaux neufs: participation au choix, à l'installation et au démarrage des équipements nouveaux.
- les travaux concernant l'hygiène, la sécurité, l'environnement, la pollution et les conditions de travail
- l'exécution et la réparation des pièces de rechanges.
- l'approvisionnement et la gestion des outillages et pièces de rechange.

2.4. Place du service maintenance dans l'entreprise

Les installations et les équipements tendent à se détériorer dans le temps sous l'action de multiples, déformations dues au fonctionnement et action des agents corrosifs.

Ces détériorations peuvent provoquer l'arrêt de fonctionnement, diminuer les capacités de production, mettre en péril la sécurité des personnes, provoquer des rebuts, diminuer la qualité et, augmenter les coûts de la production ou d'exploitation et diminuer la valeur marchande de ces moyens. Dans tous les cas, ces détériorations engendrent des coûts directs ou indirects supplémentaires. Le service maintenance, comme le service de sécurité, devient une interface entre toutes les entités qui composent l'entreprise [3].

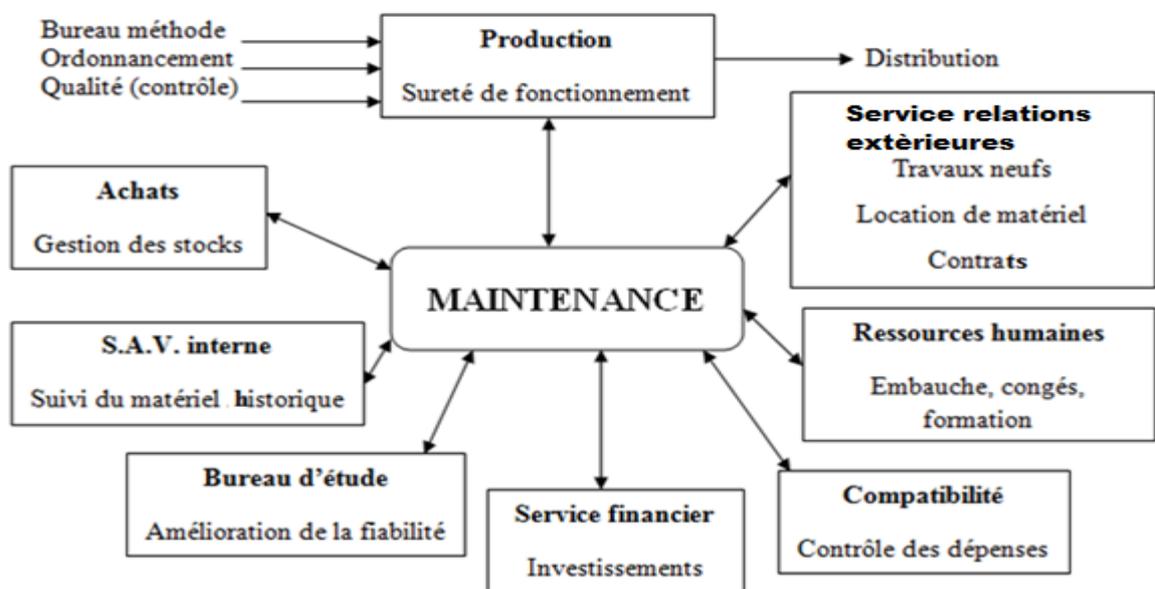


Figure .2.2. Place du service maintenance dans l'entreprise [3].

2.5. Organisation du service maintenance

Deux types d'organisation peuvent être mises en place selon la spécificité et la taille de l'entreprise [4]:

2.5.1. Maintenance centralisée

Ce type d'organisation prévoit la centralisation de toutes les activités de maintenance sous forme d'une seule entité. Cette entité gère la maintenance globale de toute l'entreprise (ateliers et secteurs). Parmi les avantages de ce type d'organisation on peut citer :

- facilité de planning
- facilité de surveillance
- magasins bien équipés
- contrôle effectif de la main-d'œuvre

2.5.2. Maintenance décentralisée

Chaque secteur d'activité a son atelier sectoriel de maintenance. Comme caractéristique de ce type d'organisation, on trouve :

- service rapide
- connaissances spécialisées
- une prise en charge de chaque installation
- moins de paperasse
- les frais réels de maintenance par poste de travail.

2.6. Technicien de maintenance

La technologie des matériels actuels implique une compétence technique polyvalente.

Les frontières entre les domaines mécanique, électrique, hydraulique, pneumatique, informatique, ne sont pas évidentes sur une machine compact. Une polyvalence au niveau de la gestion est aussi indispensable, ainsi que la maîtrise des données techniques, économiques et sociales.

Le profil du technicien de maintenance est celui d'un homme de terrain, de contact et d'équipe, qui s'appuie sur sa formation initiale puis sur son expérience pour faire évoluer la prise en charge du matériel dont il a la responsabilité[18].

2.7. Méthodes de la maintenance

Le choix entre les méthodes de maintenance s'effectue dans le cadre de la politique de la maintenance et doit s'opérer en accord avec la direction de l'entreprise.

Pour choisir, il faut être informé des objectifs de la direction, des décisions politiques de maintenance, mais il faut aussi connaître le fonctionnement et les caractéristiques des matériels ; le comportement du matériel en exploitation ; les conditions d'application de chaque méthode ; les coûts de maintenance et les coûts de perte de production[11].

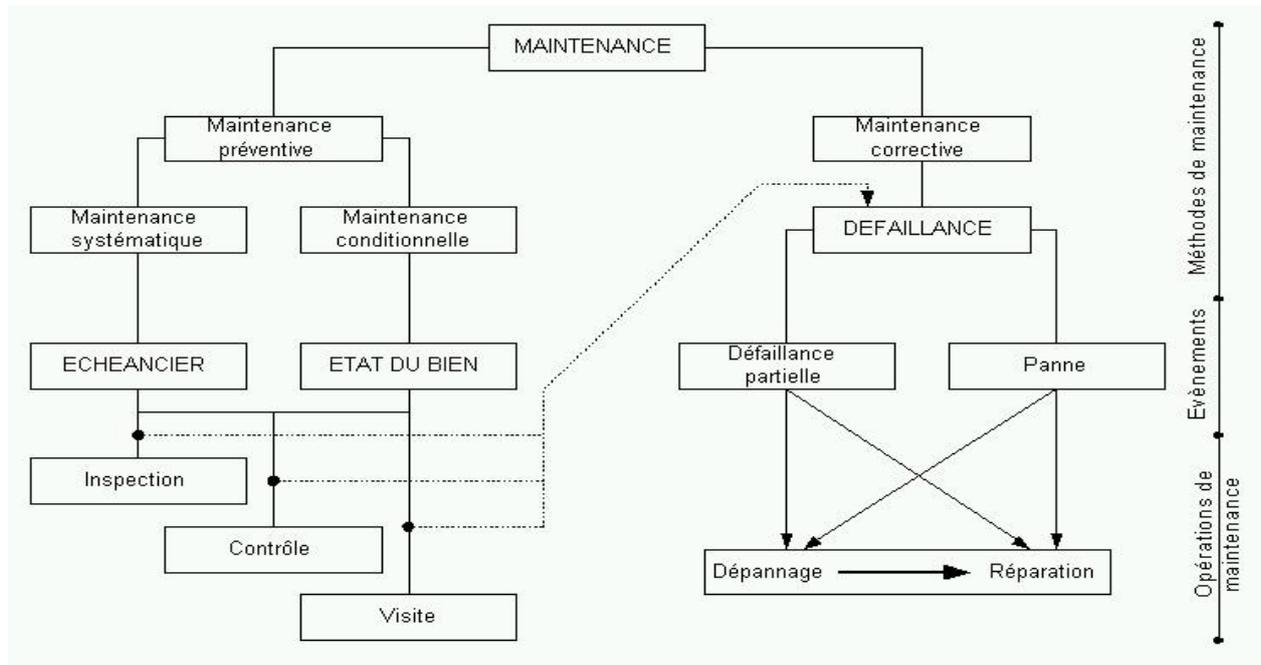


Figure 2.3. Différents types de maintenance [11].

2.7.1. Maintenance corrective

C'est une maintenance après la défaillance. La maintenance corrective a pour objet de redonner au matériel des qualités perdues nécessaires à son utilisation.

Les défauts, pannes ou avaries diverses exigeant une maintenance corrective entraînent une indisponibilité immédiate ou à très brève échéance des matériels affectés ou / et une dépréciation en quantité ou / et en qualité des services rendus.

2.7.2. Maintenance préventive

La maintenance préventive effectuée selon des critères prédéterminés, dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance d'un bien ou la dégradation service rendu.

Elle doit permettre d'éviter des défaillances des matériels en cours d'utilisation.

L'analyse des coûts doit mettre en évidence un gain par rapport aux défaillances qu'elle permet d'éviter.

Le but de la maintenance préventive est de :

- augmenter la durée de vie des matériels ;
- diminuer la probabilité des défaillances en service ;
- diminuer le temps d'arrêt en cas de révision ou de panne ;
- prévenir et aussi prévoir les interventions de la maintenance corrective coûteuse ;
- permettre de décider la maintenance corrective dans de bonnes conditions ;
- éviter les consommations anormales d'énergie, de lubrifiant, etc.;

- diminuer le budget de la maintenance ;
- supprimer les causes d'accidents graves.

2.7.3. Maintenance préventive systématique

La maintenance préventive effectuée selon un échéancier établi selon le temps ou le nombre d'unités d'usage.

Cette périodicité d'intervention est déterminée à partir de la mise en service ou après une révision partielle ou complète.

Cette méthode nécessite de connaître le comportement du matériel ; les usures ; les modes de dégradations ; le temps moyen de bon fonctionnement entre deux avaries (MTBF).

La maintenance systématique peut être appliquée dans les cas suivants :

- équipements soumis à la législation en vigueur (sécurité réglementée) ;
- équipements dont la panne risque de provoquer des accidents graves ;
- équipements ayant un coût de défaillance élevé ;
- équipements dont les dépenses de fonctionnement deviennent anormalement élevées au cours de leur temps de service.

2.7.4. Maintenance préventive conditionnelle

La maintenance préventive subordonnée à un type d'événement prédéterminé, (autodiagnostic, information d'un capteur, mesure d'une usure, ...), révélateur de l'état de dégradation du bien. La maintenance conditionnelle est donc une maintenance dépendant de l'expérience et faisant intervenir des informations recueillies en temps réel.

Cette surveillance de la dégradation permet de fixer un seuil d'alarme avant un seuil d'admissibilité. Le principal intérêt d'une telle stratégie est de pouvoir utiliser les entités au maximum de leur possibilité mais aussi de diminuer le nombre des opérations de maintenance corrective.

La maintenance préventive conditionnelle se caractérise par la mise en évidence des points faibles. Suivant les cas, il est souhaitable de les mettre sous surveillance et à partir de là, nous pouvons décider d'une intervention lorsqu'un certain seuil est atteint, mais les contrôles demeurent systématiques et font partie des moyens de contrôle non destructifs.

La maintenance préventive conditionnelle se fait par des mesures pertinentes sur le matériel en fonctionnement.

Ils peuvent porter par exemple sur :

- le niveau et la qualité d'une huile ;

- les températures et les pressions ;
- la tension et l'intensité du matériel électrique ;
- les vibrations et les jeux mécaniques ;

De tous les paramètres énumérés, l'analyse vibratoire est de loin la plus riche quant aux informations recueillies. Sa compréhension autorise la prise à bon en pleine connaissance de cause des décisions qui sont à la base d'une maintenance préventive conditionnelle.

La surveillance peut être soit périodique, soit continue.

2.7.5. Télé-maintenance

La télémaintenance s'est considérablement développée au fur et à mesure de la progression technique.

des systèmes informatiques. Cette possibilité de diagnostiquer à distance, mais aussi de réparer et de mettre à jour des programmes à des conséquences considérables à la fois sur la conception des produits, la mobilisation des hommes et sur l'organisation du système d'information. De plus la télémaintenance modifie les conditions de la concurrence (Raccourcissement des délais d'intervention) et l'organisation des réseaux de distribution (Contact télématique avec le client).

Elle est basée sur le principe suivant : les capteurs, mesurant grandeurs intimement liées à l'état de la machine, sont reliés à une centrale de surveillance qui enregistre toutes les alarmes et les mesures [15,16].

2.8. Les outils de la maintenance [19]

Tout comme l'intervention technique de maintenance l'organisation et la gestion des activités de maintenance résistent l'emploi d'outils d'usage et de nature différente.

Outils mathématiques : pour choisir les politique de maintenance les mieux adaptées chaque type d'équipement, déterminer les périodes d'interventions, connaître la fiabilité maintenabilité, disponibilité... (Probabilité, loi statistique, algèbre des évènements, analyses markoviennes...)

Outils organisationnels: pour faciliter la prise de décision (**AMDEC, Pareto, Synoptiques, Logigramme...**), la mise en œuvre préventive (technique de contrôle), ou l'organisation des interventions (procédures et modes opératoires).

Outils informatiques : pour la gestion des éléments maintenus, des ressources utilise et budgets (**GMAO ,GTP,GTB**) ,ou pour l'aide à la décision(Systèmes experts) .

2.9. Opérations de la maintenance

Il peut être classé comme suit [4] :

2.9.1. Opérations de la maintenance corrective

2.9.1.1. Dépannage

Action sur un matériel en panne, en vue de le remettre en état de fonctionnement. Compte tenu de l'objectif, une action de dépannage peut s'accommoder des résultats provisoires avec des conditions de réalisation hors règles de procédures, de coûts et de qualité, et dans ce cas, elle sera suivie de la réparation. Le dépannage n'a pas de conditions d'applications particulières. La connaissance du comportement du matériel et des modes de dégradation sont à la base d'un bon diagnostic et permettent souvent de gagner du temps.

Souvent, les opérations de dépannage sont de courtes durées mais peuvent être nombreuses.

De ce fait, les services de maintenance soucieux d'abaisser leurs dépenses tentent d'organiser les actions de dépannage. Ainsi, le dépannage peut être appliqué par exemple sur des équipements fonctionnant en continu dont les impératifs de production interdisent toute visite ou intervention à l'arrêt.

2.9.1.2. Réparation

Intervention définitive et limitée de maintenance corrective après une panne ou une défaillance. L'application de la réparation peut être décidée soit immédiatement à la suite d'un incident ou d'une défaillance soit après une visite de maintenance préventive conditionnelle ou systématique.

2.9.2. Opérations de la maintenance préventive

Ces opérations peuvent être classées en quatre groupes d'actions :

- Le premier groupe concerne l'entretien ; il comprend les opérations suivantes : le nettoyage, la dépollution et le retraitement de surface.
- Le deuxième groupe concerne la surveillance ; il comprend les opérations suivantes : l'inspection le contrôle et la visite.
- Le troisième groupe concerne la révision ; il comprend les opérations suivantes : la révision partielle et la révision générale.
- Le quatrième groupe concerne la préservation ; il comprend les opérations suivantes : la mise en conservation, la mise en survie et la mise en service.

2.9.2.1. Entretien

L'entretien comprend les opérations courantes et régulières de la maintenance préventive tels que le nettoyage, la dépollution et le retraitement de surface qu'ils soient externes ou internes. Par exemple, on peut signaler pour le nettoyage extérieur l'existence de divers types de nettoyage en fonction de la structure et de l'état d'un bien, des produits utilisés et de la méthode employée (les solutions alcalines aqueuses, les solvants organiques, le soufflage aux abrasifs, ...). Il faut aussi préciser que le retraitement de surface inclut les opérations suivantes de la lubrification et de graissage.

2.9.2.2. Surveillance

Les termes définis ci-après sont représentatifs des opérations nécessaires pour maîtriser l'évolution de l'état réel du bien, effectuées de manière continue ou à des intervalles prédéterminés ou non, calculés sur le temps ou le nombre d'unités d'usage.

-Inspection : c'est une activité de surveillance s'exerçant dans le cadre d'une mission définie. Elle n'est pas obligatoirement limitée à la comparaison avec des données préétablies. Cette activité peut s'exercer notamment au moyen de ronde.

-Contrôle : c'est une vérification de la conformité à des données préétablies, suivie d'un jugement. Le contrôle peut :

- comporter une activité d'information,
- inclure une décision : acceptation, rejet, ajournement,
- déboucher sur des actions correctives.

-Visite : c'est une opération consistant en un examen détaillé et prédéterminé de tout (visite générale) ou partie (visite limitée) des différents éléments du bien et pouvant impliquer des opérations de maintenance du 1er niveau.

2.9.2.3. Révision

C'est l'ensemble des actions d'examens, de contrôles et des interventions effectuées en vue d'assurer le bien contre toute défaillance majeure ou critique pendant un temps ou pour un nombre d'unités d'usage donné. Il est d'usage de distinguer suivant l'étendue de cette opération les révisions partielles des révisions générales. Dans les deux cas, cette opération implique la dépose de différents sous-ensembles. Ainsi le terme de révision ne doit en aucun cas être confondu avec les termes visites, contrôles, inspections, etc. Les deux types d'opération définis (révision partielle ou générale) relèvent du 4ème niveau de la maintenance

2.9.2.4. Préservation

Elle comprend les opérations suivantes :

-mise en conservation : c'est l'ensemble des opérations devant être effectuées pour assurer l'intégrité du bien durant les périodes de non-utilisation.

-mise en survie : c'est l'ensemble des opérations devant être effectuées pour assurer l'intégrité du bien durant les périodes de manifestations de phénomènes d'agressivité de l'environnement à un niveau supérieur à celui défini par l'usage de référence.

-mise en service : c'est l'ensemble des opérations nécessaires, après l'installation du bien à sa réception, dont la vérification de la conformité aux performances contractuelles.

2.10. Maintenance d'amélioration

la maintenance d'amélioration [4]:

L'amélioration des biens d'équipements qui consiste à procéder à des modifications, des changements, des transformations sur un matériel correspond à la maintenance d'amélioration.

a) Conditions d'applications

Dans ce domaine beaucoup de choses restent à faire. C'est un état d'esprit qui nécessite une attitude créative. Cette créativité impose la critique. Cependant, pour toute maintenance d'amélioration une étude économique sérieuse s'impose pour s'assurer de la rentabilité du projet. Les améliorations à apporter peuvent avoir comme objectif l'augmentation des performances de production du matériel ; l'augmentation de la fiabilité, c'est-à-dire diminuer les fréquences d'interventions ; l'amélioration de la maintenabilité (amélioration de l'accessibilité des sous-systèmes et des éléments à haut risque de défaillance) ; la standardisation de certains éléments pour avoir une politique plus cohérente et améliorer les actions de maintenance, l'augmentation de la sécurité du personnel.

b) Cas d'application

Tous les matériels sont concernés à condition que la rentabilité soit vérifiée. Cependant une petite restriction pour les matériels à renouveler dont l'état est proche de la réforme, pour usure généralisée ou par obsolescence technique.

2.11. Niveaux de maintenance

Ils sont au nombre de cinq [12] :

1er niveau : réglage simple prévu par le constructeur au moyen d'organes accessibles sans aucun montage d'équipement ou échange d'équipements accessibles en toute sécurité.

2ème niveau : dépannage par échange standard d'éléments prévus à cet effet ou d'opérations mineures de maintenance préventive.

3ème niveau : identification et diagnostic de pannes, réparation par échange de composants fonctionnels, réparations mécaniques mineures.

4ème niveau : travaux importants de maintenance corrective ou préventive.

5ème niveau : travaux de rénovation, de reconstruction ou réparations importantes confiées à un atelier centrale.

Tableau 2.3 niveaux de maintenance existants [12]

Niveaux	Personnel d'intervention	Moyens
1 ^{er}	Exploitant sur place	Outillage léger défini dans les instructions d'utilisation
2 ^{ème}	Technicien habilité sur place	Outillage léger défini dans les instructions d'utilisation, plus pièces de rechange trouvées à proximité, sans délai
3 ^{ème}	Technicien spécialisé, sur place ou en local de maintenance.	Outillage prévu plus appareils de mesure, banc d'essai, contrôle, etc.
4 ^{ème}	équipe encadrée par un technicien spécialisé, en atelier central	Outillage général plus spécialisé, matériel d'essai, de contrôle, etc.
5 ^{ème}	équipe complète, polyvalente en atelier central	Moyens proches de la fabrication par le constructeur.

2.12. Fiabilité et maintenance des équipements industriels

L'évaluation de l'état de dégradation des équipements industriels s'avère un élément indispensable à la définition des opérations de maintenance destinées à garantir, pour un coût maîtrisé et préétabli, un niveau maximum de disponibilité et de sécurité de ces équipements.

En termes de statistique, la fiabilité est une fonction du temps $R(t)$, qui représente la probabilité de bon fonctionnement d'un matériel.

En termes de qualité, la fiabilité d'un matériel est définie comme l'aptitude à maintenir l'entité identique à sa spécification d'origine.

La fiabilité peut être estimée par le taux de défaillance $\lambda(t)$ (exprimé en pannes par heure).

Il est présenté par le rapport :

$$\lambda = \frac{\text{Nombre de défaillances}}{\text{Durée d'usage}}$$

Ainsi, liée aux risques de défaillance, la vie des équipements se présente en trois (03) phases :

- Phase de jeunesse**: $\lambda(t)$ décroît rapidement. C'est la période de mise en service et de rodage de l'installation. Les défaillances sont dues à des anomalies ou des imperfections de montage.

Dans cette phase, seule la maintenance corrective est applicable.

- **Phase de maturité**: $\lambda(t)$ est pratiquement constant. C'est la période de vie utile où les défaillances apparaissent sans dégradation préalable visible, pour des causes diverses.

Le taux de défaillance est constant ou légèrement croissant, correspondant au rendement optimal de l'équipement. Dans cette phase une maintenance préventive est applicable.

- Phase de vieillesse** : $\lambda(t)$ croît rapidement. Un mode de défaillance prédomine et entraîne une dégradation accélérée: c'est la période d'obsolescence, souvent due à l'usure mécanique, la fatigue, l'érosion ou la corrosion. A un certain point de : $\lambda(t)$ le matériel est hors service. Une maintenance préventive conditionnelle peut éventuellement être mise en place.

Dans la première phase, seule la maintenance corrective est pratiquée. C'est seulement dans la seconde phase (phase de maturité) qu'intervient la maintenance préventive.

La figure (2.4) représentant la variation du taux de défaillance en fonction du temps, est appelée courbe en baignoire.

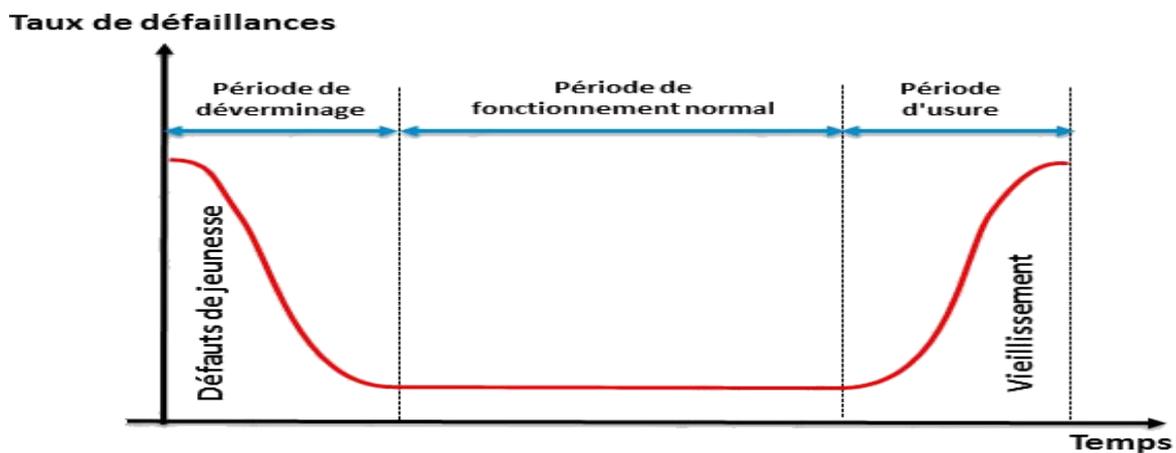


Figure 2.4. Courbe en baignoire du taux de défaillance [11]

Cette courbe en baignoire montre bien que la maintenance préventive n'est réellement justifiée que pour la phase de maturité. Dans cette période, le taux de défaillance est sensiblement constant et égal à l'inverse de l'indice de fiabilité: MTBF.

Chapitre 2 : Approche et importance de la maintenance au sein de l'entreprise

La **MTBF**, ou moyenne des temps de bon fonctionnement, est la valeur moyenne des temps entre deux défaillances consécutives.

Ainsi faut-il retenir que durant la phase de maturité de l'équipement, le taux de défaillance est constant :

$$\text{MTBF} = \frac{\text{Somme des Temps de Bon Fonctionnement}}{\text{nombre de défaillances}}$$

$$\text{MTBF} = \frac{1}{\lambda}$$

Cette courbe comporte trois (03) phases pour lesquelles on détaille les causes potentielles et les actions à entreprendre pour améliorer le comportement du système ;

Tableau 2.4. Causes et leurs remèdes des différents modes de défaillance [6]

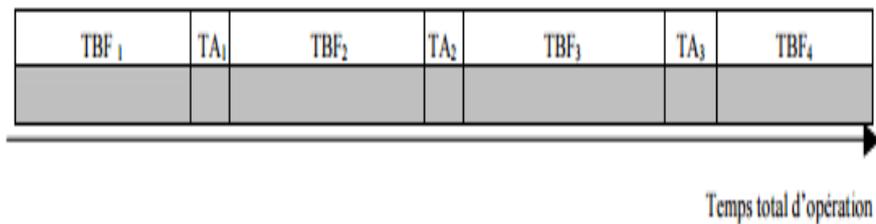
	Période de jeunesse	Période de vie utile	Période de vieillissement
Cause	<ul style="list-style-type: none"> _Défauts de fabrication _Assemblage _Contrôle de la qualité Conception -Contamination 	<ul style="list-style-type: none"> Environnement Erreur humaine Charges aléatoires Catastrophes naturelles Événement aléatoire 	<ul style="list-style-type: none"> Fatigue Corrosion Frottements Charges cycliques Age
Remèdes	<ul style="list-style-type: none"> _Tests de validation _Vérification _Contrôle de la qualité 	<ul style="list-style-type: none"> Redondance Amélioration de la Résistance 	<ul style="list-style-type: none"> Réduction du taux de panne Maintenance préventive Remplacement préventif

2.13. Choix des indicateurs de performance et paramètres d'optimisation de la maintenance

Les indicateurs de performance en maintenance MTBF et la MTTR sont parmi les indicateurs les plus utilisés. Ils se réfèrent à des notions de fiabilité, de maintenabilité et de disponibilité. La vie d'un équipement industriel comprend une alternance d'arrêt et d'opération bon fonctionnement [1].

On peut l'illustrer par :

Tableau 2.5. Temps total d'opération [1].



TBF = temps d'opération (bon fonctionnement)

TA = Temps d'Arrêt

Le temps d'arrêt est décomposé en trois, d'abord le temps nécessaire à la préparation de l'intervention de maintenance (délais D1), le temps de l'intervention proprement dit (TTR ou Temps Technique de Réparation) et le temps de remise en marche (délai D2)

Tableau 2.6. Temps total d'arrêt [1].

D₁	TTR	D₂
TA		

TTR = Temps Technique de Réparation

D = Délais

À partir des temps de bon fonctionnement et des temps d'arrêt, il est possible de calculer les indices MTBF, MTTR et la disponibilité d'un équipement.

2.13.1. Maintenabilité

La maintenabilité concerne l'action de maintenance comme telle. Par la maintenabilité, on recherche l'optimisation du temps d'intervention afin d'augmenter le temps de production en

diminuant les délais dus au :

- temps pour l'attente de pièce de remplacement
- temps pour compléter les documents
- temps de préparation de l'action

Son indice est la **MTTR**

MTTR signifie moyenne des temps techniques de réparation. Il indique le temps moyen des différentes actions de maintenance prises pour un équipement. Il s'exprime de la façon suivante :

$$\text{MTTR} = \frac{\text{Temps total d'arrêt}}{\text{Nombres d'arrêts}}$$

2.13.2. Fiabilité

La fiabilité est la probabilité qu'un produit fonctionne correctement sans panne dans des conditions d'utilisation données pendant une durée spécifique. Elle s'exprime en probabilités

Cette définition suppose que l'on doit connaître:

- Ce qu'on entend par fonctionner correctement ;
- Les conditions d'utilisation ;
- Le temps moyen souhaité entre les pannes. L'indice de fiabilité le plus employé est le MTBF

La MTBF signifie moyenne des temps de bon fonctionnement. Il indique la durée moyenne d'un équipement en bon fonctionnement (en production).

2.13.3. Relation entre MUT, MTBF, MTTR, MDT

En général, on utilise les sigles d'origine américaine MTBF, MTTR, MDT, MUT avec le risque évoqué au début du paragraphe de mal se comprendre ; on peut proposer les expressions françaises suivantes pour utiliser exactement les mêmes notions en levant les ambiguïtés :

$$\text{MTBF} = \text{MUT} + \text{MDT}$$

- MUT la durée moyenne de fonctionnement après réparation.
- MDT la durée moyenne d'indisponibilité après défaillance.
- MTTF la durée moyenne de fonctionnement d'une entité avant la première défaillance. [8]

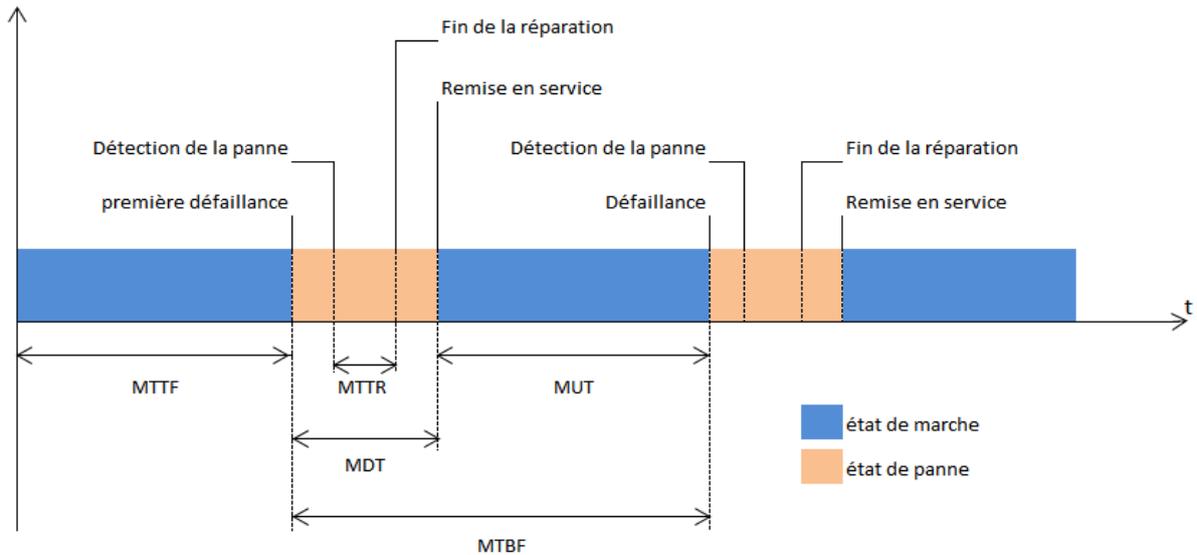


Figure 2.6. Cycle de vie d'un système : évolution dans le temps [13].

2.13.4. Disponibilité

C'est un indice qui inclut les précédents. Habituellement, c'est cet indice qui est mesuré car il est plus complet. Il détermine la disponibilité d'un équipement à effectuer son travail dans le temps. On le calcule ainsi :

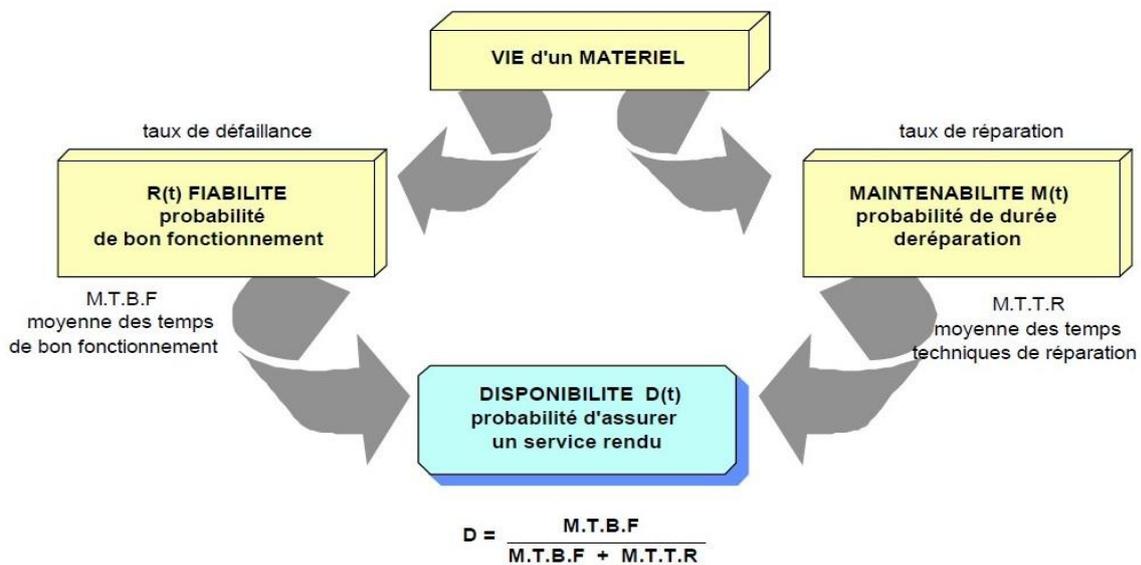


Figure 2.7. Indicateurs qui résultent la disponibilité [1]

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

2.14. Coût en maintenance (suivant NF X60-020)

Les coûts de maintenance correspondent aux coûts directement imputables à la maintenance.

Les coûts de maintenance peuvent s'analyser par nature et par destination au sens comptable des termes. Ils peuvent être imputés soit en exploitation, soit en investissement.

Certains postes peuvent inclure des frais financiers, par exemple le coût de possession ou de stockage lié au stock maintenance.

Exemples d'imputation :

• Par nature :

- Personnel ;
- Outillage et équipement de maintenance ;
- Produits et matières consommées (huile, pièces de rechange, graisse,...).
- Sous-traitance ;
- Autre (à préciser).

• Par destination

- préparation (études, méthodes, ordonnancement) ;
- documents techniques ;
- interventions ;
- suivi et gestion ;
- magasinage et stockage ;
- formation ;
- autres (à préciser).

• Par type d'invention

- maintenance préventive systématique ou conditionnelle ;
- maintenance corrective ;
- révision, modernisation, rénovation ou reconstruction ;
- travaux neufs.

a. Coût d'indisponibilité

Les coûts d'indisponibilité prennent en compte :

- les coûts de perte de production incluant : variables non réincorporées ;
- les-coûts de non-production : dépenses fixes non couvertes et dépenses non-qualité de production provoquées par la défaillance des équipements productifs : coûts des rebuts et retouches ;

- le surcoût de production personnel, coût des moyens de remplacement mis en œuvre, stock supplémentaire en attente en cas de défaillance.
- le manque à gagner de production : pas de vente et baisse du chiffre d'affaires;
- les pénalités commerciales;

b. Coûts de défaillance

Les coûts de défaillance intègrent les coûts de maintenance corrective et les coûts d'indisponibilité consécutifs à la défaillance des biens d'équipement.

2.14.1. Optimisation des coûts de maintenance

L'objectif principal de la maintenance est d'améliorer la disponibilité des équipements, mais cela ne doit pas se faire à n'importe quel prix. En effet le développement de la maintenance, par un plus grand investissement en matériel et en personnel, à pour conséquence directe de diminuer les coûts d'indisponibilité (CI), pour coût de non-production, et d'augmenter les coûts de maintenance (CM). Il s'agit donc de considérer les coûts dans leur globalité, c'est-à-dire la somme (CM + CI) et d'en déterminer le meilleur compromis. Cette dernière situe à la valeur minimale de cette somme, ce qui correspond au niveau optimal de mise en œuvre de la maintenance sur l'équipement considéré[9].

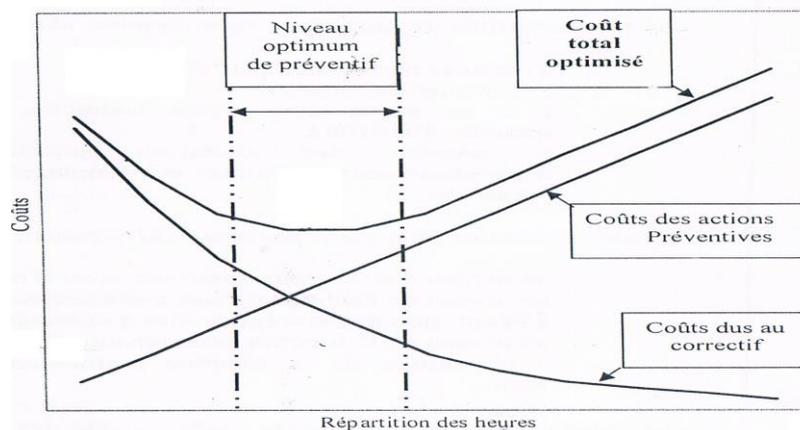


Figure 2.8. Compromis entre le coût de maintenance et le coût d'indisponibilité [9].

Quelle que soit la politique de maintenance adoptée, et malgré la tendance de développer le préventif, il reste toujours une part de maintenance corrective entraînant des coûts d'indisponibilité avec des arrêts pour réparation. Ces coûts peuvent être diminués par l'amélioration de la maintenabilité et l'augmentation des moyens logistiques qui, en contrepartie, augmente les coûts de la maintenance corrective.

CONCLUSION :

La maintenance est une fonction complexe qui, selon le type de processus, peut être déterminante pour la réussite d'une entreprise. Les fonctions qui la composent et les actions qui les réalisent doivent être soigneusement dosées pour que les performances globales de l'outil de production soient optimisées.

Toute la difficulté tient à ce réglage qu'il faut ajuster en tenant compte de nombreux éléments :

- au niveau de l'entreprise : du contexte économique et social ;
- au niveau de l'installation : de l'interaction avec les autres systèmes (en particulier celui de la production) ;
- au niveau du système maintenance : des divers effets de chacune des activités (études, préparation, ordonnancement...).

Pour être efficace, il faut d'abord avoir une idée aussi claire que possible des mécanismes qui influent sur les grandeurs significatives (nombre de pannes, temps de réparation, délais logistiques, coûts de maintenance préventive, coûts du stockage des matières, actions de communication, etc.). Il faut ensuite mesurer ces grandeurs et construire des indicateurs pour juger de l'état du système maintenance et pour identifier des axes d'amélioration. Il faut enfin trouver les actions qui conviennent et tâcher d'en évaluer l'impact.

Nous avons essayé de donner une idée générale du système maintenance en le décomposant en sous-fonctions et en indiquant leurs interactions. Des pré-diagnostics recouvrant les différentes activités peuvent être proposés pour évaluer les performances du système maintenance d'une installation. Ils sont éventuellement complétés par des diagnostics plus poussés de manière à quantifier avec une meilleure précision des indicateurs importants. Ceux-ci peuvent ensuite être comparés à des valeurs de référence obtenues par benchmarking (en français : parangonnage) de manière à détecter les meilleures pratiques et à engager les améliorations qui conduiront à des gains significatifs.

Introduction

Dans un contexte de transmission de puissance les mouvements servent principalement à transférer de l'énergie mécanique d'une pièce d'un mécanisme à une autre.

Il y a trois types de systèmes de transmission couramment employés :

- Fluidique (huile, air)
- Electrique, les éléments et notions de ce type de transmission d'énergie qui sont nécessaires à l'exercice du métier électromécanicien
- Mécanique, ce sont les transmissions mécaniques

Les éléments des transmissions mécaniques tels que arbres et accouplements, embrayages, limiteurs de couples boites de vitesses, variateurs et réducteur de vitesses. Ces systèmes sont indispensables pour faire fonctionner une machine de production comme tour parallèle, fraiseuse, concasseur, broyeur, tapis roulant.....ect.

Les réducteurs à engrenage sont des éléments de transmission importants dans les lignes d'arbre des machines tournantes. On les rencontre dans tous les types d'industrie, comme l'industrie automobile (boite de vitesse), la petite et grosse industrie de processe par exemple les cimenteries où les roues atteignent des diamètres de 3 à 4 mètres lorsqu'il s'agit de transmettre des puissances d'une dizaine de mégawatts. Ce sont des éléments mécaniques très sollicités, complexes à dimensionner et à réaliser (calcul, choix et traitement des matériaux, taillage des dents,.....), qui peuvent présenter des défaillances limitant leur durée de vie. Afin d'éviter des ruptures soudaines et pour diminuer les coûts de maintenance en milieu industriel, des méthodes particulières de diagnostic ont fait l'objet de développements spécifiques, notamment pour résoudre les problèmes vibratoires des machines tournantes.

Le but de la présentation d'une étude générale sur les réducteurs c'est de comprendre les principes d'utilisation dans le domaine des équipements mécaniques employé sur site industriel [23,24].

En tant qu'ingénieur projet à l'avenir, nous devons connaître certains points concernant le sujet de notre recherche, qui sont les suivants :

- ✓ Connaître les différents types de transmissions et leur utilisation sur site industriel.

Chapitre 3 : Transmission de puissance mécanique

- ✓ Les bonnes connaissances aux fonctions des réducteurs.
- ✓ Énumérer les différents types de réducteurs susceptibles d'être rencontrés sur site.
- ✓ Lister différentes applications et utilisations.
- ✓ Expliciter les principes de fonctionnement.
- ✓ Énumérer les systèmes d'engrenages employés dans les réducteurs.
- ✓ Calculer le rapport donné par un réducteur.
- ✓ Suivre un programme de maintenance pour réducteurs.

3.1. Présentation

Nous voulons étudier la transmission de mouvement rotatif entre un moteur et un récepteur.

Le moteur peut être de nature (électrique, thermique, hydraulique...) la grandeur principale qui dimensionne un moteur est sa puissance (P_e) qui est le produit de sa vitesse angulaire (ω_e) et du couple délivré (C_e). Quelle que soit la nature de l'énergie employée, les moteurs délivrent en général une vitesse (ω_e) élevée pour un couple moteur (C_e) relativement faible.

La nature du récepteur peut être extrêmement variable : roue de véhicule, hélice, générateur électrique, machine industrielle.....)

Les caractéristiques de couple et de vitesse sont elles aussi très variables mais en général la vitesse de rotation (ω_s) est inférieure à (ω_e) et le couple (C_s) est plus élevé que (C_e).

L'organe de transmission de puissance est donc un organe qui permet de transférer la puissance entre le moteur et le récepteur en réduisant la vitesse et en augmentant de manière inversement proportionnelle le couple. On parle donc d'un « *réducteur de vitesse* ».

Quelques cas particuliers notables échappent au principe de réduction de la vitesse. Pour le vélo par exemple, le récepteur (la roue) tourne environ 2 à 4 fois plus vite que le moteur (le pédalier). De même pour une éolienne, la turbine qui se situe dans la nacelle tourne environ 100 fois plus vite que l'hélice. Dans ce cas l'organe de transmission est appelé « *multiplicateur de vitesse* » [34,35].

Au cours de cette transmission, la perte de puissance doit être la plus faible possible. Elle sera caractérisée par un rendement η le plus proche possible de 1.

$$C_s \omega_s = \eta C_e \omega_e$$

Chapitre 3 : Transmission de puissance mécanique

3.1.1 Principes utilisés pour la transmission

On peut citer [35]:

- la friction (par exemple le galet de transmission d'un cyclo-moteur de type Solex)
- la chaîne (par exemple la chaîne de vélo) ,la courroie , l'engrenage
- la transmission hydraulique (par exemple dans les engins de chantier)
- les engrenages (par exemple les réducteurs industriels)

3.1.2. Critères qui permettent de choisir le principe de transmission

- le rendement, la puissance transmissible, la plage de réduction possible, la facilité de construction, le coût, la surface d'installation...etc.

La chaîne de puissance se compose des éléments qui participent au flux d'énergie dans le système [20]:

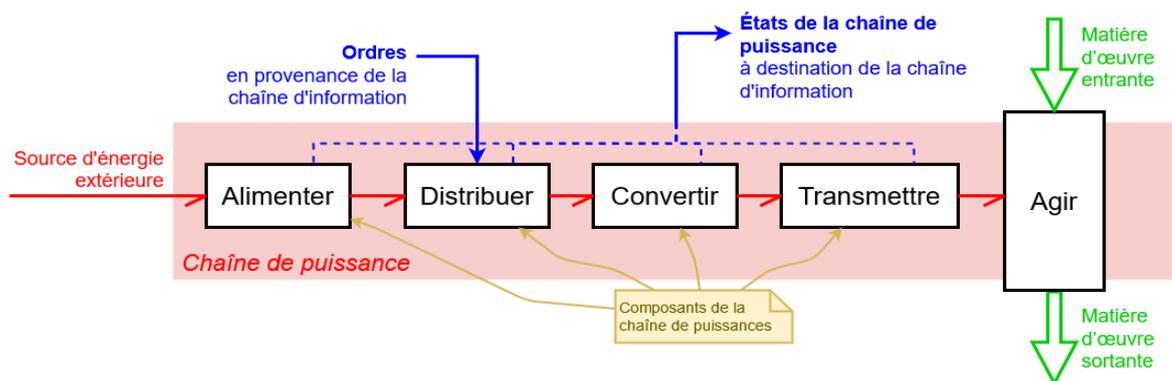


Figure 3.1 : Chaîne de puissance [20]

a) Actionneur : un actionneur convertit la puissance distribuée (électrique, pneumatique ou hydraulique), en puissance utilisable par la chaîne d'action : il s'agit le plus souvent de puissance mécanique, sous forme de mouvements (rotations ou translations, continues ou alternatives), qui agissent sur la matière d'œuvre.

b) Distributeur : un distributeur (ou pré-actionneur) reçoit ses ordres de la « PC », pour distribuer la puissance disponible vers un actionneur.

La distribution peut prendre plusieurs aspects :

- **Variation** : valeur variable d'une des grandeurs de l'énergie
- **Pilotage** : tout ou rien
- **Asservissement ou régulation** : réponse à une consigne

Chapitre 3 : Transmission de puissance mécanique

c) **Transmetteur** : un transmetteur reçoit la puissance délivrée par l'actionneur pour l'adapter à (aux) effecteurs(s).

Il s'agit de modifier les caractéristiques de la puissance (*vitesse, force, ...*), du type de mouvement (*rotation, translation, ...*) ou des axes du mouvement.

3.2. Différents mécanismes de transmission du mouvement

3.2.1. Poulies – courroies

Transmettre par adhérence, à l'aide d'un lien flexible appelé "courroie", un mouvement de rotation continu entre deux arbres éloignés.

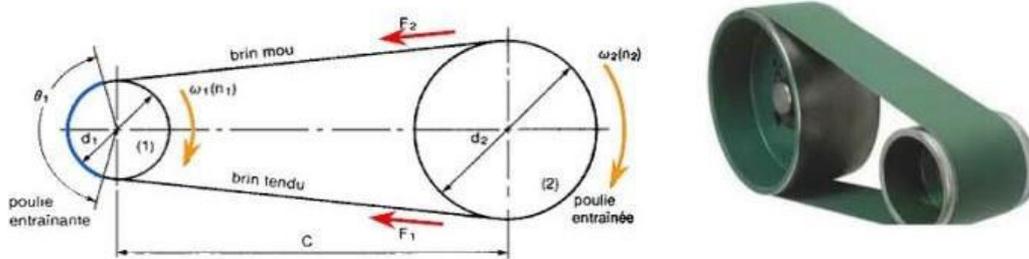


Figure 3.2 : système poulies – courroies [39]

3.2.1.1. Différents types de poulie-courroie [23]

a) **Courroie plate** : Simple, silencieuse, convient pour de grandes vitesses et des puissances moyennes.

b) **Courroie trapézoïdale** : Bonne adhérence, convient pour transmettre de fortes puissances (poulie à gorges multiples).

c) **Courroie Poly-V** : Excellente adhérence, permet la transmission de puissances importantes.

d) **Courroie ronde** : Réservé à de petits mécanismes avec de faibles puissances.

e) **Courroie crantée** : Transmission par obstacle, silencieuse et sans glissement.

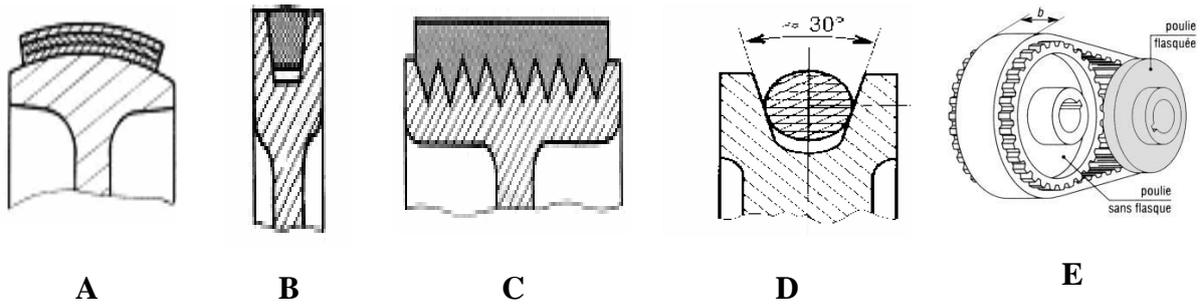


Figure 3.3 : Différents types des courroies [23]

3.2.2. Pignons et chaîne

Transmettre, par obstacle, à l'aide d'un lien rigide articulé appelé chaîne, un mouvement de rotation continu entre deux arbres éloignés parallèles [21].



Figure 3.4 : chaîne de transmission [21]

3.2.2.1. Types de chaînes

Chaînes à rouleaux : Ce sont les plus utilisées en transmission de puissance.

Vitesse limite : 12 à 15 (m/s).

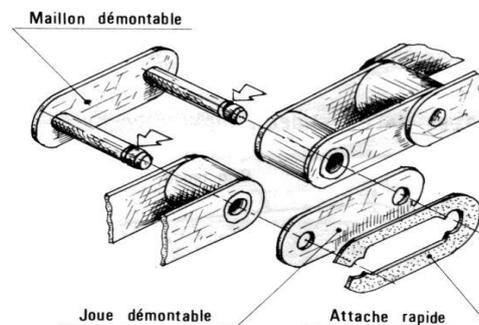


Figure 3.5 : Principaux constituants de la chaîne [39]

3.3. Engrenages

3.3.1. Définition

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. La plus petite roue est appelée pignon, la plus grande est la roue [25].

3.3.2. Fonctionnement des engrenages

Un engrenage permet de transmettre sans glissement un mouvement de rotation continu entre deux arbres rapprochés.

Pendant le fonctionnement d'une transmission, le contact d'une dent de la roue menant 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).

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 les sections perpendiculaires aux axes des roues hélicoïdales, le contact s'établit de la même façon que dans le cas des roues à dentures droites, mais du fait que les dents des roues hélicoïdales sont disposées suivant les hélices, la phase de leur engrènement varie dans les sections parallèles, contrairement aux engrenages à dentures droites où cette phase est la même sur toute la largeur des roues. A la différence d'un engrenage droit, dans un engrenage hélicoïdal le contact des dents s'établit non pas simultanément sur toute leur largeur, mais progressivement [25].

Si la roue dentée (A) entraîne la roue dentée (B) :

- La roue dentée (A) est appelée **roue**
- La roue dentée (B) est appelée **pignon**

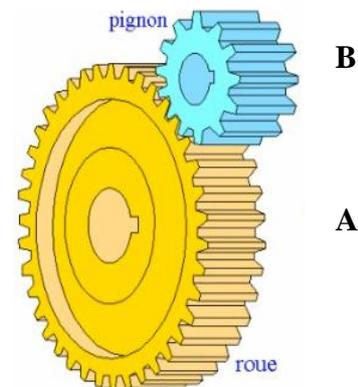


Figure 3.6: système d'engrenage [40]

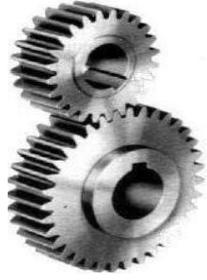
3.4. Différentes types d'engrenages [25]

Les engrenages sont classés en différentes catégories caractérisées par :

la position relative des axes des arbres d'entrée et de sortie, la forme extérieure des roues dentées et le type de denture.

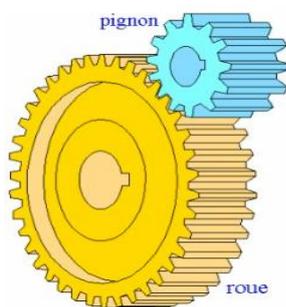
Les différentes forme d'engrenage et la fonction qu'ils ont à réaliser ce d'écrite dans le tableau suivant :

Tableau 3.1 : types d'engrenages [25]

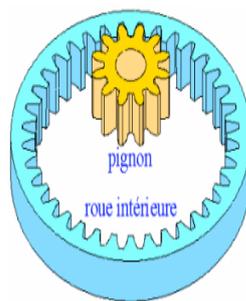
Les engrenages droits (à axes parallèles)	Les engrenages coniques (à axes concourantes)	Les engrenages gauches
		

3.4.1. Engrenages droits (ou parallèles) à denture droite

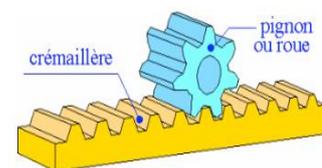
Les plus simples et les plus économiques, ils sont utilisés pour transmettre le mouvement et la puissance entre deux arbres parallèles. Les dents des deux roues de l'engrenage sont parallèles à l'axe de rotation des arbres.



Engrenage extérieure



Engrenage
intérieur



Pignon crémailière

Dans le cas du pignon crémailière, il s'agit de transformer le mouvement de rotation du pignon en mouvement de translation de la crémailière.

Rotation \longrightarrow Translation

Translation \longrightarrow Rotation

3.4.1.1. Principales caractéristiques des engrenages parallèles à denture droite [38].

Caractéristique	Symbole	Formules
module	m	Déterminé par la résistance des matériaux
nombre de dents	z	Z_1 (roue1) et Z_2 (roue 2)
pas (pas primitif)	p	$p = \pi.m$
saillie	h_a	$h_a = m$
creux	h_f	$h_f = 1,25m$
hauteur de dent	h	$h = 2,25m = h_a + h_f$
diamètre primitif	d	$d_1 = m.Z_1$ $d_2 = m.Z_2$ $d = m.Z$
diamètre de tête	d_a	$d_a = d + 2m = d + 2h_a$
diamètre de pied	d_f	$d_f = d - 2,5m = d - 2h_f$
entraxe	a	$a = \frac{(d_1+d_2)}{2} = m \frac{(Z_1+Z_2)}{2}$
rapport de réduction	r	$r = \frac{N_2}{N_1} = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{d_1}{d_2} = \frac{z_1}{z_2}$
largeur de denture	b	$b = k.m$ (avec $6 \leq k \leq 10$)

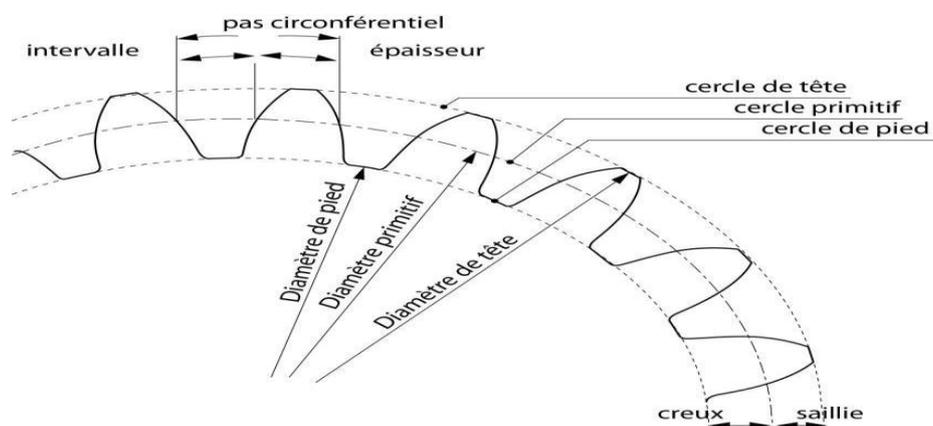


Figure 2.7: caractéristiques de la denture droite [22]

Chapitre 3 : Transmission de puissance mécanique

Tableau 3.2 : avantages et inconvénients des engrenages à denture droite [35]

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Adaptés pour les fortes puissances. • Charge radiale admissible élevée en sortie. • Rendement élevé proche de 1. • Simplicité de la technologie. • Facilité de maintenance. 	<ul style="list-style-type: none"> • Faible rapport de réduction par train.

3.4.1.2. Rapport de vitesses

ω_1 et ω_2 sont les vitesses angulaires respectives des roues dentées (1) et (2) en (rad/s) :

Z_1 : Nombre de dents de la roue (1)

Z_2 : Nombre de dents de la roue (2)

$$\frac{\omega_1 \cdot d_1}{2} = \frac{\omega_2 \cdot d_2}{2} \qquad r = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{d_1}{d_2} = \frac{z_1}{z_2}$$

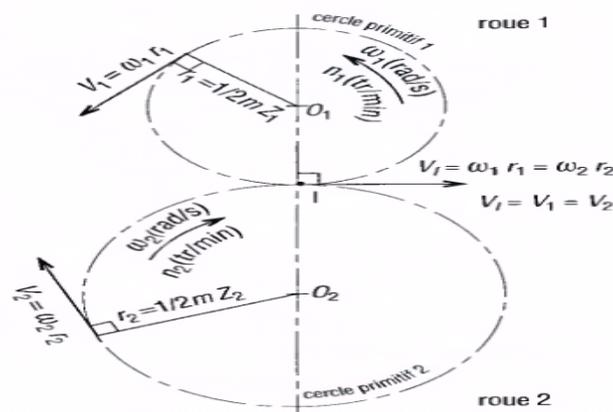


Figure 3.8: système d'engrenage droit [38]

3.4.2. Les engrenages coniques

C'est un groupe important utilisé pour transmettre un mouvement entre deux axes non parallèles dont les axes sont concourants. On a trois types différents de dents (denture droite, denture spirale et denture hypoïde).

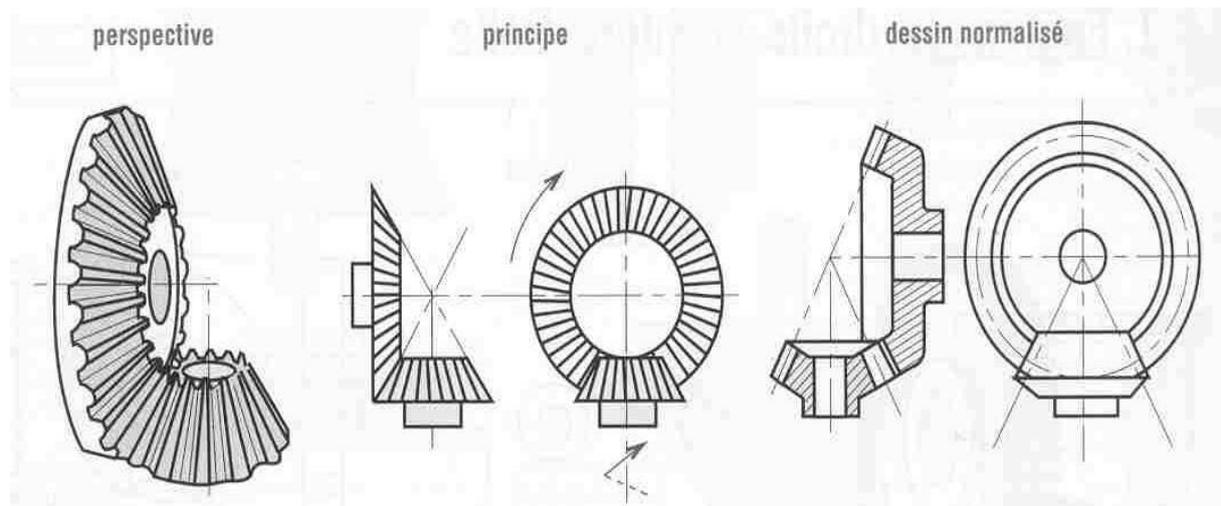


Figure 3.9: système d'engrenage conique [37]

Tableau 3.3 : avantages et inconvénients des engrenages coniques

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Transmission de puissance entre arbres concourants • Très grande puissance 	<ul style="list-style-type: none"> • Les roues coniques ne vont que par paire • Réglage précis pour la coïncidence des sommets (S) • La présence d'efforts axiaux importants ce qui entraîne l'utilisation de butée, de roulement à contact oblique

3.4.2.1. Rapport de vitesses

N_1 et N_2 sont les vitesses respectives des roues coniques (1) et (2).

Z_1 et Z_2 sont les nombres des dents respectifs des roues coniques (1) et (2).

$$r = \frac{N_2}{N_1} = \frac{d_1}{d_2} = \frac{z_1}{z_2}$$

Chapitre 3 : Transmission de puissance mécanique

3.4.2.2. Principales caractéristiques des engrenages coniques à denture droite [38]

Caractéristique	Symbole	Formules
module	m	nombre normalisé ($m_1 = m_2$)
pas (pas primitif)	p	$p = \pi \cdot m$ (remarque $p_1 = p_2 = p$)
angle primitif	δ	$\tan \delta_1 = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{Z_1}{Z_2}$; $\tan \delta_2 = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{Z_2}{Z_1}$; δ_1 (roue 1), δ_2 (roue 2)
diamètre primitif	d	$d_1 = m \cdot Z_1$; $d_2 = m \cdot Z_2$
diamètre de tête	d_a	$d_a = d + 2m \cdot \cos \delta$
diamètre de pied	d_f	$d_f = d - 2,5m \cdot \cos \delta$
saillie	h_a	$h_a = m$
creux	h_f	$h_f = 1,25m$
hauteur de dent	h	$h = 2,25m = h_a + h_f$
angle de tête	δ_a	$\delta_a = \delta + \theta_a$
angle de pied	δ_f	$\delta_f = \delta - \theta_f$
angle saillie	θ_a	$\tan \theta_a = 2 \frac{(m \cdot \sin \delta)}{d} = \frac{m}{L}$
angle de creux	θ_f	$\tan \theta_f = 2,5 \frac{(m \cdot \sin \delta)}{d} = 1,25 \frac{m}{L}$
angle de hauteur	θ	$\theta = \theta_a + \theta_f$
Largeur de dent	b	$\frac{L}{4} \leq b \leq \frac{L}{3}$ (raisons de taillage)
Longueur génératrice Primitive	l	$L = \frac{d_1}{2 \sin \delta_1} = \frac{d_2}{2 \sin \delta_2}$
$\delta_1 + \delta_2 = 90^\circ$	$\delta_1 + \delta_2 < 90^\circ$	$\delta_1 + \delta_2 > 90^\circ$
$\phi_1 = \delta_2$ et $\phi_2 = \delta_1$ $\frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{N_2}{N_1} = \tan \delta_1$ $\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{N_1}{N_2} = \tan \delta_2$	$\phi_1 = 90^\circ - \delta_1$ et $\phi_2 = 90^\circ - \delta_2$ $\tan \delta_2 = \frac{\sin(\delta_1 + \delta_2)}{\frac{Z_1}{Z_2} + \cos(\delta_1 + \delta_2)}$	$\phi_1 = 90^\circ - \delta_1$ et $\phi_2 = 90^\circ - \delta_2$ $\tan \delta_2 = \frac{\sin[180^\circ - (\delta_1 + \delta_2)]}{\frac{Z_1}{Z_2} - \cos(\delta_1 - \delta_2)}$

3.4.2.3. Les conditions d'engrènements

- Le Même module m
- Les sommets des deux cônes soient identiques (arbre concourant)

3.5. Les engrenages gauches (à vis sans fin) [38]

La transmission du mouvement se fait entre deux arbres orthogonaux. Ces engrenages permettent de grands rapports de réduction (jusqu'à 1/200) et offrent des possibilités d'irréversibilité. Ils constituent les engrenages à l'engrènement le plus silencieux et sans chocs.

En contrepartie le glissement et le frottement important provoquent un rendement médiocre.

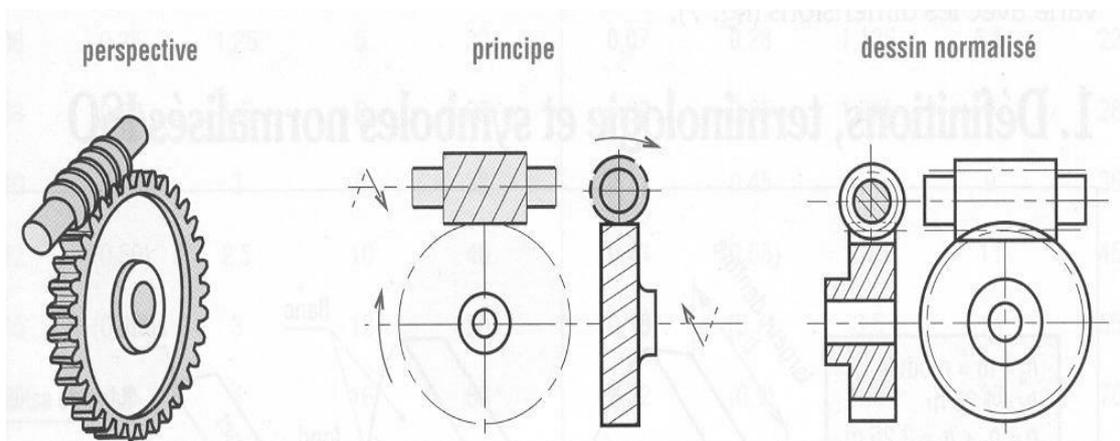


Figure 3.10: système d'engrenage vis sans fin [37]

Tableau 3.4 : avantage et inconvénients des engrenages à vis sans fin

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">- Rapport performance/prix intéressant.- Charge radiale admissible élevée en sortie.- Compacité notamment pour les rapports élevés.- Bonne capacité d'absorption des sur couples.	<ul style="list-style-type: none">- Rendement variable en fonction du rapport de réduction et de la vitesse.- Échauffement plus important que dans d'autres technologies.- Roue bronze pouvant engendrer une usure.

3.5.1. Principales caractéristiques des engrenages à roue et vis sans fin [38]

Caractéristique	Symbole	Formules
nombre de tours	n	en tours par minute (tr/min)
nombre de dents de la vis	z_v	$Z_V = 1, 2, 3 \dots$
nombre de dents de la roue	z_r	$Z_V + Z_R > 40$
angle d'hélice de la roue	β_r	$\beta_R + \beta_V = 90^\circ$
angle d'hélice de la vis	β_v	irréversible si $\beta_v < 6$ à 10° et réversible si $\varphi < \beta_r$ roue $< \left(\frac{\pi}{2}\right) - \varphi$
sens des hélices	le même pour la vis et la roue	
module réel vis	m_n	normalisé : m _n vis = m _n roue
module axial vis	m_x	$m_x = \frac{p_x}{\pi} = \frac{m_n}{\cos \beta_R} = \frac{m_n}{\sin \beta_V}$
diamètre primitif roue	d_r	$d_R = m_t \cdot Z_R$
pas apparent roue	p_t	$p_t = \frac{p_n}{\cos \beta_R} = \pi \cdot m_t = p_x$
pas axial de la vis	p_t	$p_x = p_t$; pas axial vis (P _x vis) = pas apparent roue (P _t roue)
pas de l'hélice	p_z	$p_z = Z_V \cdot p_x$
diamètre primitif vis	d_v	$d_V = \left(\frac{p_z}{\pi}\right) \cdot \tan \beta_R$
diamètre de tête vis	d_{a_v}	$d_{a_v} = d_v + 2m_n$
diamètre de pied vis	d_{f_v}	$d_{f_v} = d_v - 2,5m_n$
saillie	h_a	$h_a = m_n$
creux	h_f	$h_f = 1,25m_n$
hauteur de dent	h	$h = 2,25m_n = h_a + h_f$
Longueur de la vis	l	$L \approx 5p_x$ à $6p_x$
Entraxe	a	$a = \frac{(d_{vis} + d_{roue})}{2} = \left[\frac{z_{vis}}{\sin \beta_{roue}} + \frac{z_{roue}}{\cos \beta_{roue}} \right]$
rapport de vitesse	r	$\frac{\omega_{roue}}{\omega_{vis}} = \frac{z_{vis}}{z_{roue}} = \frac{d_{vis}}{d_{roue}} \cdot \text{tg } \beta_{roue}$

3.5.2. Rapport de vitesses [38].

N_1 et N_2 sont les vitesses respectives de la vis et de la roue.

Z_1 : nombre de filets de la vis.

Z_2 : nombre de dents de la roue.

$$r = \frac{N_2}{N_1} = \frac{Z_1}{Z_2}$$

3.5.3. Différents types de systèmes roue-vis sans fin [23].

3.5.3.1 Vis sans fin avec roue cylindrique

- Le nombre de filets et de dents en contact est faible.
- Le contact entre les filets de la vis et les dents de la roue se réduit à un point.
- La pression de contact est forte ce qui réduit l'emploi du système à la transmission de faibles couples.

Afin d'augmenter la surface de contact des dentures, on utilise très souvent des systèmes à roue creuse.

3.5.3.2 Roue creuse et vis tangente

Le contact entre les filets et les dents est linéaire ce qui permet la transmission de couples importants.

3.5.3.3. Roue creuse et vis globique

La vis de forme torique enveloppe partiellement la roue, le nombre de filets en contact avec les dents est augmenté ainsi que la surface de contact ce qui permet la transmission de grands efforts.

3.6. Les engrenages à axes parallèles à denture hélicoïdal [38]

Pour l'engrenage hélicoïdal l'angle d'inclinaison de la denture est le même pour les deux roues, mais de sens opposé. Leurs axes peuvent être orthogonaux (cas des engrenages gauches). Les engrenages droits sont les plus simples et les plus économiques, mais leur utilisation est généralement bruyante et génère des vibrations et des chocs d'engrènement.

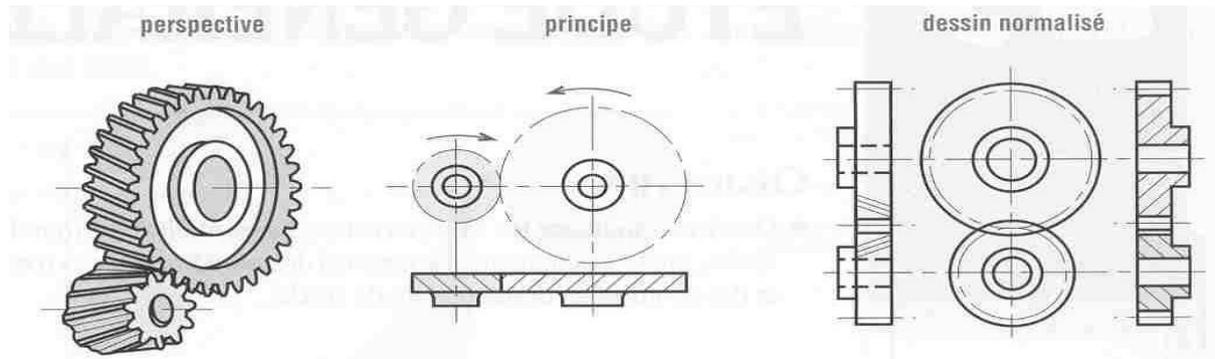


Figure 3.11: système d'engrenage hélicoïdal [36]

3.6.1. Principales caractéristiques de l'engrenage hélicoïdal [38]

Caractéristiques	Symbole	Formules
sens de l'hélice : Si la roue 1 à une hélice à droite, alors la roue 2 à une hélice à gauche, d'où $\beta_1 = -\beta_2$		
angle d'hélice	β	$\beta_1 = -\beta_2$; valeurs usuelles: $15^\circ \leq \beta \leq 30^\circ$
module réel	m_n	$m_t \cos\beta$
pas réel (ou normal)	p_n	$p_n = \pi \cdot m_n$ (remarque $p_{n1} = p_{n2} = p_n$)
module apparent	m_t	$m_t = \frac{m_n}{\cos\beta}$ (augmente avec la valeur de β)
pas apparent	p_t	$p_t = \frac{p_n}{\cos\beta} = \pi \cdot m_t$
diamètre primitif	d	$d_1 = m_t \cdot Z_1$; $d_2 = m_t \cdot Z_2$
diamètre de tête	d_a	$d_a = d + 2m_n = d + 2h_a$
diamètre de pied	d_f	$d_f = d - 2,5m_n = d - 2h_f$
saillie	h_a	$h_a = m_n$
creux	h_f	$h_f = 1,25m_n$
hauteur de dent	h	$h = 2,25m_n = h_a + h_f$
entraxe	a	$a = r_1 + r_2 = \frac{(d_1 + d_2)}{2} = \frac{m_t(Z_1 + Z_2)}{2} = \frac{m_n(Z_1 + Z_2)}{2 \cos\beta}$
raison du train	r	$r = \frac{N_2}{N_1} = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{(-1)^n d_1}{d_2} = \frac{(-1)^n z_1}{z_2} = \frac{(-1)^n d_1 \cos\beta_1}{d_2 \cos\beta_2}$
pas axial	p_x	$p_x = \frac{p_t}{\tan\beta} = \frac{p_n}{\sin\beta} = \frac{p_z}{z}$
pas de l'hélice primitive	p_z	$p_z = \frac{\pi \cdot d}{\tan\beta} = Z \cdot p_x$
largeur de denture	b	$b > 2\pi \cdot \frac{m_n}{\sin\beta} = 2p_x$

Chapitre 3 : Transmission de puissance mécanique

3.6.2. Rapport de vitesses [38]

Le rapport d'une transmission assurée par deux roues cylindriques à denture hélicoïdale est le même que celui d'une transmission assurée par deux roues à denture droite.

$$r = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{d_1}{d_2} = \frac{z_1}{z_2}$$

De même usage que les précédents, ils sont très utilisés en transmission de puissance ; les dents des roues sont inclinées par rapport à l'axe de rotation des deux arbres.

À taille égale, ils sont plus performants (et plus silencieux) que les précédents pour transmettre puissance et couple (2 ou 3 couples de dents en prise simultanément).

Les dentures hélicoïdales assurent une transmission avec moins de vibrations et un bon rendement mais elles engendrent une poussée axiale. Pour remédier à cette poussée, on peut utiliser la denture chevron.

Tableau 3.5 : avantage et inconvénients des engrenages hélicoïdaux

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">- Transmission plus souple- Plus progressive et moins bruyante.- Transmission d'efforts importants, vitesses élevées- Conduite plus grande (2, 3 ou 4 couples de dents toujours en prise)- Réalisation facile d'un entraxe imposé (en faisant varier la valeur de l'angle d'hélice).	<ul style="list-style-type: none">- Rendement un peu moins bon- Ces engrenages doivent toujours rester en prise- Leur utilisation est impossible sous forme de baladeur (dans les boîtes de vitesses)- Efforts parasites supplémentaires dus à l'angle d'hélice (force axiale sur les paliers de l'arbre qui entraîne la flexion de l'arbre)

3.7. Trains d'engrenages [38]

C'est une combinaison d'au moins deux engrenages, les trains d'engrenages sont utilisés dans une grande quantité de machines et mécanismes divers. Les engrenages cylindriques sont les plus courants, les engrenages coniques réalisent la transmission entre arbres concourants. Les engrenages roue et vis permettent l'irréversibilité et une grande réduction avec un seul couple de roues (leur faible rendement les écarte des grandes puissances).

Chapitre 3 : Transmission de puissance mécanique

Les dentures hélicoïdales, plus silencieuses sont les plus utilisées lorsqu'il s'agit de transmettre de la puissance.

Afin de réduire l'encombrement et économiser la matière on limite le rapport de transmission d'un même couple de roue ($1/8 \leq \frac{z_1}{z_2} \leq 8$). Au-delà de ces valeurs, il est préférable d'utiliser deux couples de roues ou plus.

Dans la plupart des applications, les trains d'engrenages fonctionnent en réducteur (réduisent la vitesse et augmentent le couple).

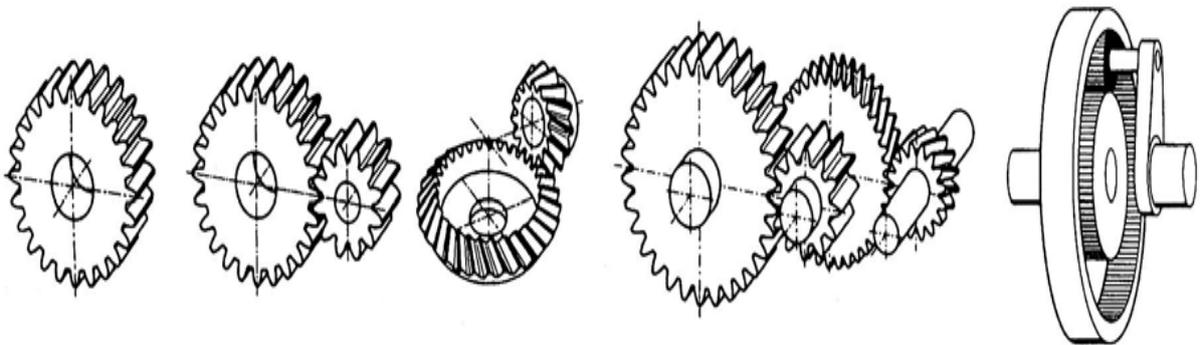


Figure 3.12 : Roues d'engrenage, engrenage, train d'engrenages, train planétaire [22]

3.8. Lubrification des engrenages

Le choix d'un lubrifiant pour engrenages est souvent délicat, car il dépend d'un grand nombre de facteurs tels que la vitesse de rotation, pression spécifique sur les dentures, glissement, nature des métaux, finition des surfaces des dentures, précision de l'usinage, traitement des surfaces, température, degré d'humidité de l'air ambiant...etc.

La forme des dents en développante de cercle favorise la formation d'un coin d'huile durant l'engrènement.

Deux grands principes sont employés en fonction de la puissance à transmettre et de la chaleur à dissiper.

3.9. Les réducteurs de vitesses

3.9.1. Définition

Un réducteur est un ensemble d'organes mécaniques comprenant un générateur de puissance (moteur), des engrenages, des mécanismes entraînés (accouplements, frein), des structures servant de support (arbres, paliers) généralement incorporés dans un carter. Chacun des composants influe sur le comportement dynamique du réducteur,

Chapitre 3 : Transmission de puissance mécanique

mais il est généralement admis que l'engrenage qui est l'organe de transmission par excellence, constitue une des sources principales d'excitations. S'il répond parfaitement aux exigences de rendement, de précision et de puissance spécifique imposées dans les architectures modernes, les critères de confort acoustique, de tenue vibratoire et de gain du poids sont à l'origine d'une nouvelle pression technologique sur ce composant [24].

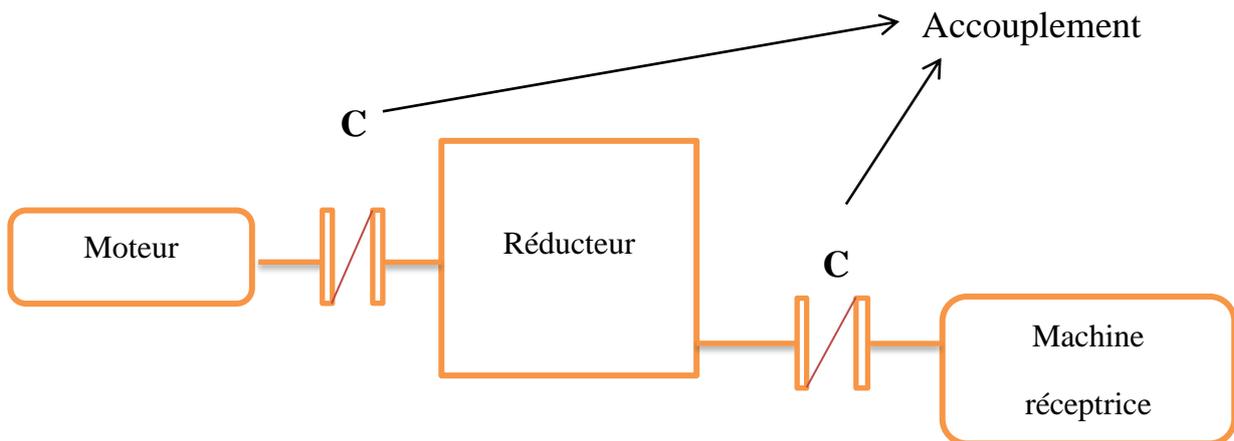


Figure 3.13 : La position du réducteur par rapport au moteur et au récepteur

Une machine est un ensemble de mécanismes qui disposés d'une certaine manière, permet de réaliser un travail.

Le mécanisme est l'ensemble des pièces mécaniques mises en mouvement en vue d'assurer le fonctionnement de la machine. Il permet de transmettre et de transformer le mouvement au sein de celle-ci.

Pour fonctionner, la machine a besoin d'énergie qui peut provenir de différentes sources: musculaire, solaire, éolienne, hydraulique, thermique et nucléaire.

Sans les mécanismes de transmission et de transformation du mouvement, l'énergie fournie ne pourrait pas être exploitée pour actionner la machine.

Dans le cas d'un mouvement de rotation il faut avoir :

- La puissance de moteur : P_m (KW)
- La vitesse motrice : N_m (tr/min)
- La vitesse réceptrice : N_r (tr/min)
- Rendement: η

Chapitre 3 : Transmission de puissance mécanique

Raison d'un réducteur a traine de plusieurs engrenages :

$$r = \frac{N_{\text{sortie}}}{N_{\text{entrée}}}$$

$$r = (-1)^n * \frac{\text{produit de nombre de dents des roues menantes}}{\text{produit de nombre de dents des roues menées}}$$

r : Rapport global de réduction

n : est le nombre de contacts extérieurs.

Si **r** est positif : même sens de rotation entre l'entrée et la sortie.

Si **r** est négatif : sens contraire de rotation entre l'entrée et la sortie.

3.9.2. Rôle d'un réducteur de vitesse [30]

C'est une transmission de puissance, qui est installée entre un moteur et une machine à commander, est aussi un moteur à vitesse de fonctionnement unique et à couple nominal unique, utilisé dans la majorité des cas (qu'il soit électrique, hydraulique ou pneumatique, car c'est la solution économiquement acceptable).

Ces deux caractéristiques évoluent entre deux valeurs voisines, suivant le type de moteur, les variations de la vitesse en charge acceptées ($n_{m0} \pm \Delta n_{m0}$) et le couple en charge ($C_m \pm \Delta C_m$), se situant entre (2% et 10%) du rendement η énergétique souhaité.

La machine à commande fonctionne en générale à vitesse et à couple uniques, dite caractéristiques d'utilisation : ($n_{m0} \pm \Delta n_{m0}$), ($C_s \pm \Delta C_s$) avec des variations de l'ordre de (2% à 20%).

Il est donc nécessaire d'adapter les caractéristiques du moteur à celles de la machine, et pour cela l'élément d'adaptation entre moteur et machine est un réducteur de vitesse ou un multiplicateur de vitesse de rapport (**i**) constant (il se nomme aussi **réducteur de couple** ou **multiplicateur de couple**), si l'on admet un rendement unité :

$$\checkmark \text{ Réducteur: } i_r = \frac{|nm0|}{|ns0|} = \frac{|Cs|}{|Cm|} = Cte \quad i_r > 1$$

$$\checkmark \text{ Multiplicateur: } i_m = \frac{|ns0|}{|nm0|} = \frac{|Cm|}{|Cs|} = Cte \quad i_m < 1$$

Le réducteur et les multiplicateurs étant deux mécanismes réciproques, seul le réducteur sera étudié par la suite.

3.10. Les types des réducteurs

Les réducteurs sont classés selon la position relative des arbres et les types d'engrenages utilisés pour la transmission de puissance.

L'engrenage sert à transmettre un mouvement de rotation par obstacle avec changement de ses caractéristiques. Il est constitué d'un pignon et d'une roue. La plus petite s'appelle le pignon et la plus grande est la roue. La roue et le pignon sont munis de dents à profil particulier (développante de cercle) assurant la transmission [27].

3.10.1. Réducteur à roue et vis sans fin [36]

Le principe de fonctionnement est simple : le mouvement de la vis autour de son axe provoque le déplacement des flancs de ses filets qui engrènent avec les dents de la roue, dont l'axe est perpendiculaire celui de la vis. La roue est donc entraînée en rotation par la vis.

3.10.1.1. Caractéristiques techniques de la roue et vis sans fin [35]

- Les arbres d'entrée et de sortie sont perpendiculaires,
- Rapport de réduction compris entre 2,5 et 100 (tr/min)
- Arbre de sortie plein ou creux traversant,
- Irréversibilité pour les rapports élevés.

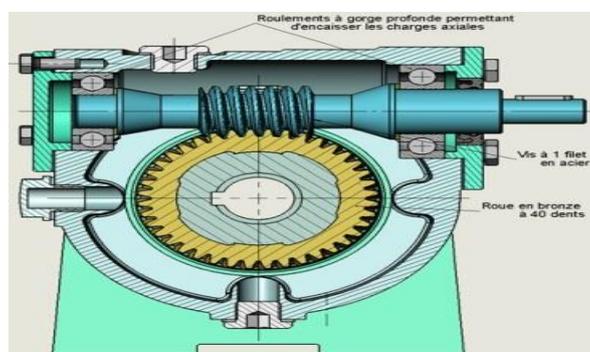


Figure 3.14 : réducteur à vis sans fin [32]

3.10.2.2. Principales applications

Convoyeurs, notamment les petits, manutention, treuils, applications à vitesse lente (par exemple : ponts racleurs de station d'épuration. . .)

3.10.3. Réducteur à engrenage conique

Les réducteurs à couple conique illustrent parfaitement la conception compacte de la nouvelle série d'entraînements.

Ce sont des entraînements à renvoi d'angle robustes, adaptés à toutes les applications mécaniques nécessitant un montage peu encombrant.

Ils mettent à disposition une plage de couple très étendue: de 200 à 50000 (Nm).

Les réducteurs à couple conique sont utilisés là où une transmission de puissance à (90°) est nécessaire.

Ils sont très performants, en particulier pour les applications requérant précision, rendement, hautes vitesses (jusqu'à 6500 tr/min – en fonction de la taille et de la gamme) et charges élevées.



Figure 3.15 : Réducteur de vitesse à couple conique [41]

3.10.3.1. Caractéristiques techniques des réducteurs coniques

- Souvent constitué d'un couple conique et d'une autre technologie d'engrenages.
- Les arbres d'entrée et de sortie sont perpendiculaires.
- Rapport de réduction compris entre (1 et 5) du couple conique.
- Rapport de réduction global composé, avec un ou plusieurs trains à engrenages cylindriques
- Arbre de sortie plein ou creux traversant.

3.10.3.2. Principales applications

Convoyeurs forte puissance, agitation, engins mobiles, travaux publics, mécanismes agricoles

3.10.4. Réducteurs à engrenages cylindriques à arbres parallèles

Une plage de couples de 130 à 18000 (Nm) et un large choix de positions de montage et d'exécutions permettent l'installation dans de nombreuses configurations, même dans les conditions les plus défavorables.

Ces réducteurs compacts sont d'un faible encombrement grâce à la disposition avantageuse du carter du réducteur.

Les nombreuses variantes d'arbres de sortie et d'arbres creux, la possibilité de monter le réducteur à arbre creux au moyen d'un bras de réaction, par pattes ou par bride, permettent de trouver la solution adéquate à prix avantageux.

C'est la raison pour laquelle ce réducteur s'est imposé dans le monde entier comme solution pour les applications en translation.



Figure 3.16 : Réducteurs à arbres parallèles [42]

3.10.4.1. Caractéristique technique des réducteurs à arbres parallèles

- Les arbres d'entrée et de sortie sont parallèles ou coaxiaux
- Arbre de sortie plein ou creux traversant (pour les arbres parallèles)

3.10.4.2. Principales applications

- Convoyeurs forte puissance, cimenterie, entraînements de compresseurs, d'agitateurs, de pompes, ferroviaire.
- Utilisation possible en multiplicateur

3.10.5. Réducteurs à trains épicycloïdaux [32]

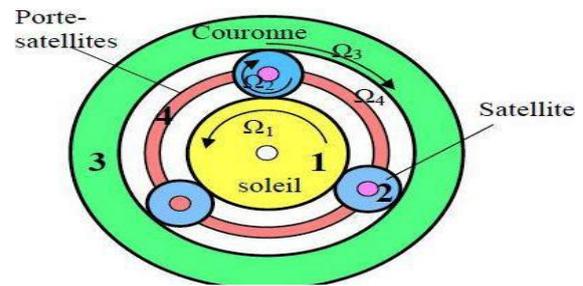


Figure 3.17 : réducteur épicycloïdal [32]



Figure 3.18 : réducteur épicycloïdal cimenterie tebessa

Sous le nom de train épicycloïdal ou engrenage planétaire, on désigne un système de transmission de puissance entre deux ou plusieurs arbres. Les engrenages peuvent être cylindriques ou coniques. Ceux dont l'axe coïncide avec un axe fixe dans l'espace s'appellent "planétaire" et ceux qui tournent avec leur axe autour d'un autre s'appellent "généralement maintenus par un satellite".

3.10.5.1. Caractéristiques techniques [35]

- Epicycloïdaux.
- Coaxial
- Rapport par train 3 à 10.
- Souvent plusieurs trains.
- Possibilité de carter tournant.
- Possibilité d'arbre creux

3.10.5.2. Train planétaire simple

c'est un train d'engrenages comportant trois éléments, à savoir : deux roues extrêmes à axe fixe, un châssis pouvant tourner autour de l'axe commun à ces deux roues et portant l'axe ou les axes d'une ou de plusieurs roues intermédiaires.

3.10.5.3. Train planétaire composé

c'est un train planétaire constitué par plusieurs trains planétaires simples couplés entre eux.

3.10.6. Les avantages des systèmes planétaires

- Possibilité d'arrangement coaxial des arbres.
- Réduction du poids et de l'encombrement pour une puissance donnée.
- Possibilité d'un rapport de réduction très élevé avec un minimum d'éléments pour les transmissions à faible puissance.
- Excellent rendement quand le système est judicieusement choisi.

3.10.7. Les inconvénients des systèmes planétaires

- Fortement hyperstatique.
- Rendement lié au mode de fonctionnement.
- Difficulté à aligner les éléments et à éviter les déformations qui modifient l'aligne

3.10.8. Différents types de trains épicycloïdaux [30].

- **plans** : quand les axes des roues sont parallèles (engrenages cylindriques)
- **sphériques** : quand les axes sont concourants (engrenages concourants)
- **gauches** : quand les axes sont quelconques.

3.11. Mode de lubrification

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

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

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

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

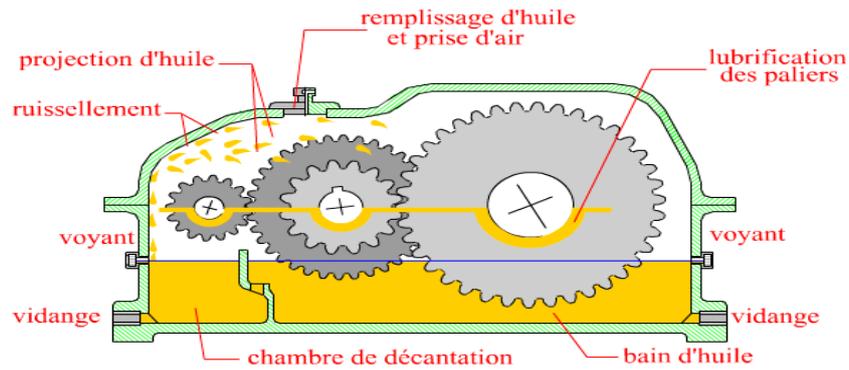


Figure 3.19 : Lubrification par bain d'huile, projection et ruisellement

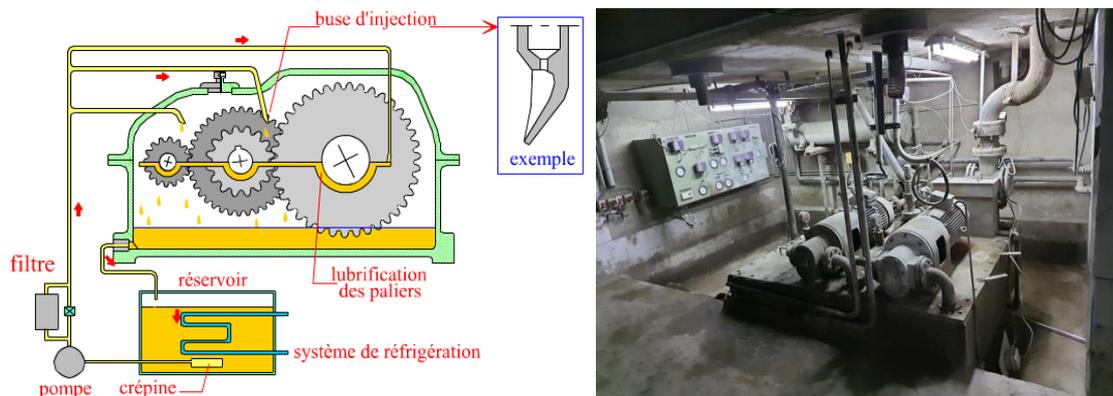


Figure 3.20 : Lubrification par circulation d'huile

Conclusion

Cette étude des réducteurs de vitesse a permis d'analyser dans le détail les différents types de réalisations, qu'il s'agisse d'un choix sur catalogue ou d'une réalisation particulière, quelques points forts sont à bien préciser.

À puissance fixée et rapport constant ne dépassant pas 8, le prix évolue suivant la géométrie, la nature des matériaux et la finition des dentures, le rapport d'évolution pouvant atteindre (3 à 5).

L'engrenage cylindrique extérieur est le plus compétitif, volume et masse s'orientant vers un minimum avec les aciers de cémentation et une rectification, le prix de l'unité de masse augmente par contre avec la qualité.

L'engrenage conique est de prix élevé et de vitesse tangentielle limitée avec un encombrement important et des réglages assez délicats.

Le train épicycloïdal, dernier venu, évolue depuis une vingtaine d'années pour aboutir à des ensembles très compacts, l'isostatisme assuré ne conduisant pas à un accroissement de prix.

Introduction

Le rôle des engrenages consiste à transmettre un mouvement ou une énergie mécanique entre deux arbres selon un rapport de vitesse, donc la fonction d'un réducteur c'est la transmission de puissance mécanique, qui est installée entre un moteur et une machine à commander, est aussi un moteur à vitesse de fonctionnement unique et à couple nominal unique.

La transmission délivré par ces engrenages et les organes d'un réducteur de vitesse (roulement, arbre, clavette, pignon...) peut être endommagé par les conditions d'opération (vitesse, charge).

Les mécanismes des réducteurs sont très sollicités dans les systèmes de transmission de l'énergie mécanique. Les matériaux utilisés varient en fonction des utilisations, mais on emploie plus couramment l'acier et la fonte, et les matériaux plastiques pour transmettre une faible puissance. La surveillance et le diagnostic des défauts des systèmes d'engrenages sont indispensables pour prévenir un défaut sérieux dans les systèmes mécaniques. Les informations de la surveillance peuvent servir pour les planifications des activités de la maintenance.

Ce chapitre contient la description des actions d'amélioration qui interviennent au niveau du côté organisationnelle, et qui sont :

- ❖ Élaboration des outils d'aide pour la réparation et pour anticiper toutes défaillances du système.
- ❖ La mise en place d'une gamme de maintenance préventive.

4.1. Différents composant du réducteur

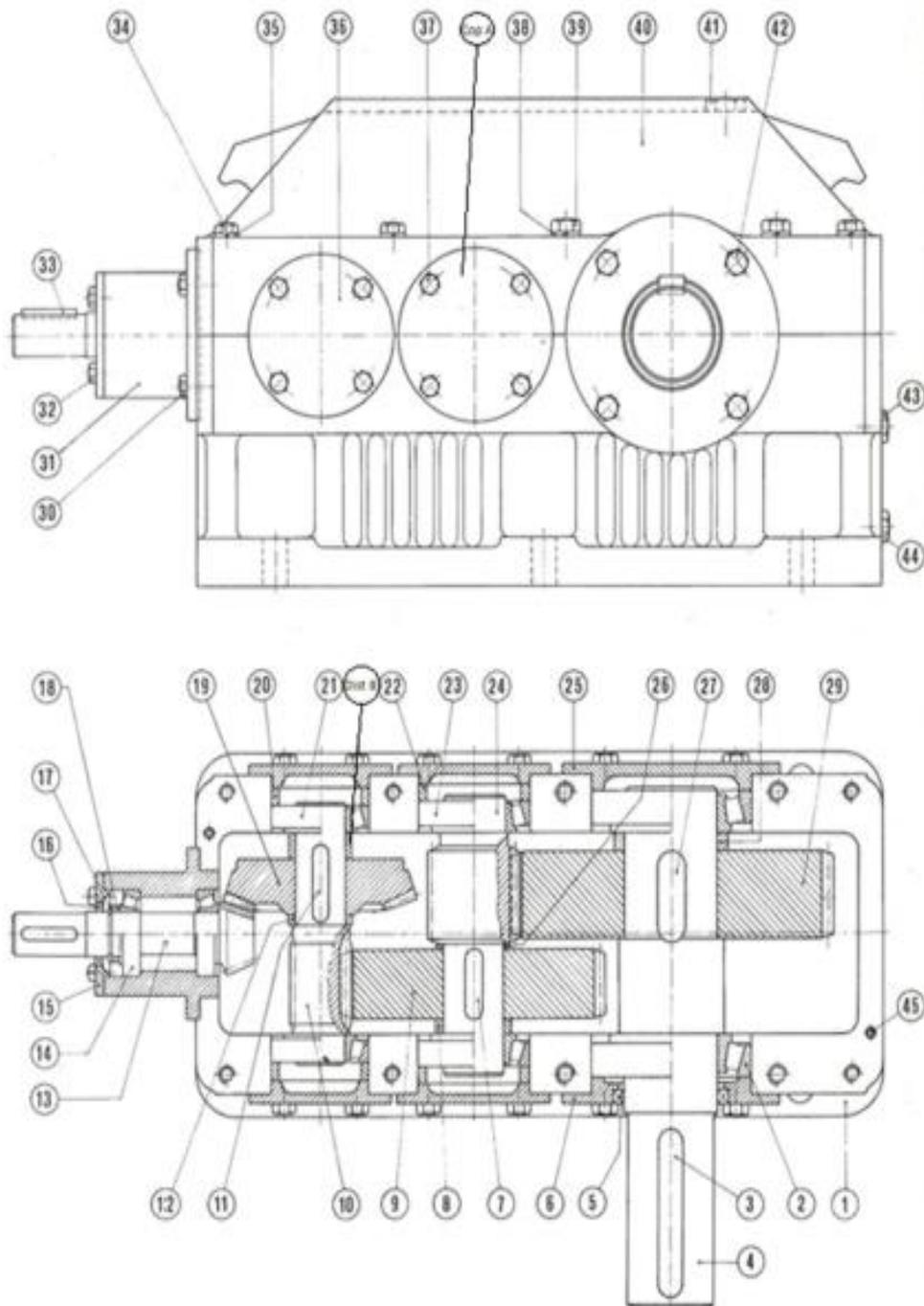
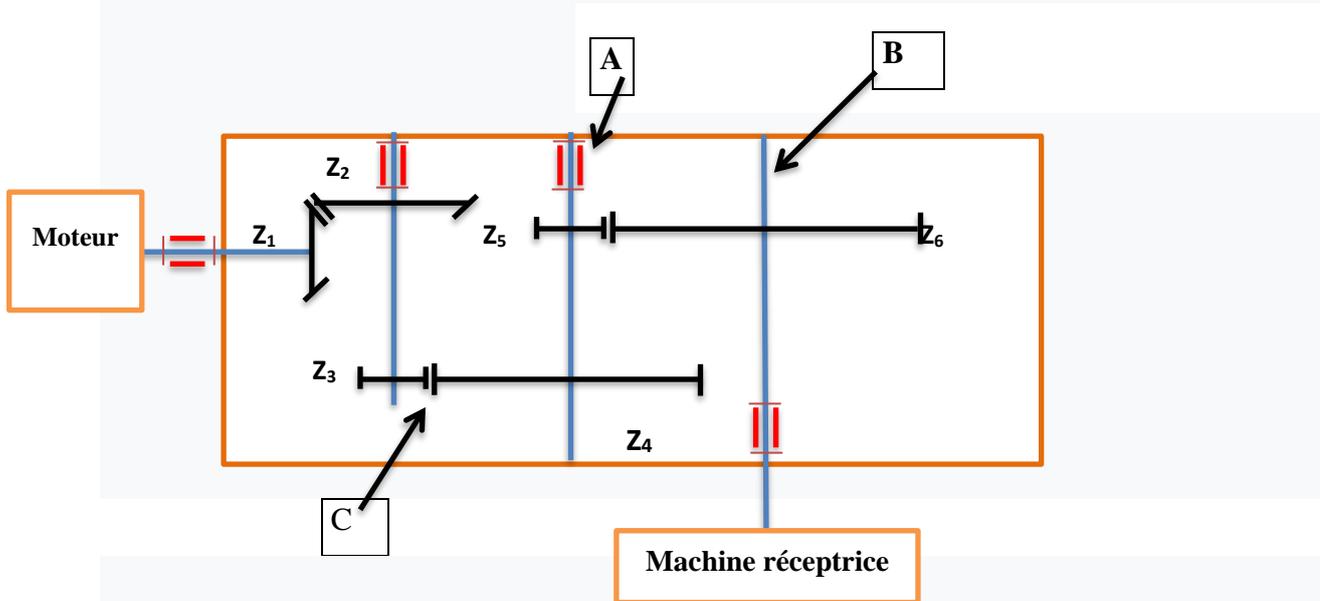


Figure 4.1 : Dessin technique 2D du réducteur de vitesse a axe orthogonal (couple conique) fiche technique (nomenclature) donnée par le constructeur CMD

Tableau 4.1 : Nomenclature du réducteur de vitesse

Partie No	Description	Quantité
1	Carter inférieur	1
2	Roulements (75 KB UNI 4219)	2
3	Clavette (B 20 _ 12 _ 120 UNI 6604)	1
4	Arbre de transmission	1
5	Joint d'huile (75 _ 95 _ 10)	1
6	Bride	1
7	Clavette (B 14 _ 9 _ 58 UNI 6604)	1
8	Entretoise	1
9	Engrenage hélicoïdale	1
10	Pignon	1
11	Clavette (B 12 _ 8 _ 40 UNI 6604)	1
12	Entretoise	1
13	Pignon conique	1
14	Roulement conique (30 KB UNI 4219)	2
15	Bride	1
16	Joint spi (30*40*7)	1
17	Anneau élastique	1
18	Entretoise	1
19	Engrenage conique	1
20	Entretoise	2
21	Roulement (49 KB UNI 4219)	2
22	Entretoise	2
23	Roulement (50 KB UNI 4219)	2
24	Bride	1
25	Pignon	1
26	Entretoise	1
27	Clavette (B 20 _ 12 _ 70 UNI 6604)	1
28	Entretoise	1
29	Engrenage hélicoïdale	1
30	Vis (M8 _ 30 UNI 5737 - 8.8)	4
31	Support	1
32	Vis (M6 _ 20 UNI 5739 - 8.8)	4
33	Clavette (B 8 _ 7 _ 45 UNI 6604)	1
34	Vis (M12 _ 100 UNI 5737 - 8.8)	6
35	Rosette (A 13 UNI 1751)	6
36	Bride	2
37	Vis (M8 _ 25 UNI 5737 - 8.8)	16
38	Rosette (A 15 UNI 1751)	4
39	Vis (M14 _ 100 UNI 5737 - 8.8)	4
40	Carter supérieur	1
41	Bouchon de charge (G 3/4)	1
42	Vis (M10 _ 30 UNI 5739 - 8.8)	8
43	Bouchon de vidange (G 3/4)	1
44	Trou d'échappement (G 3/4)	1
45	Goupille (8 _ 25 UNI 1707)	2
Flic A	Bride	1
Dist B	Entretoise	1

4.2. Schéma cinématique du réducteur



A : Roulement

B : Arbre de transmission

C : Roue dentée + Pignon

Dans l'environnement d'assemblage, la boîte de vitesses virtuelle a été modélisée en prenant en compte tous la fonctionnalité des composants. Compte tenu du nombre de composants, l'assemblage total a été subdivisé en quatre sous-groupes, représentés sur la figure 2 qui permet de gérer les données dans une manière plus accessible.

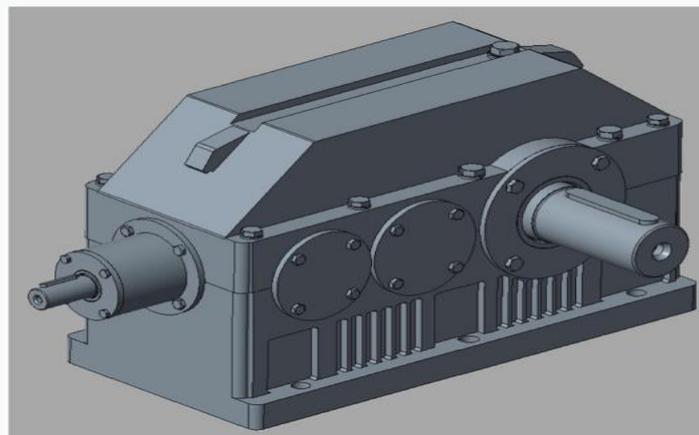


Figure 4.2 : L'assemblage total du réducteur orthogonal a couple conique

Les quatre sous-groupes correspondent aux quatre sections d'arbre, parties de la transmission du mouvement.

L'un de ces sous-groupes est représenté sur la figure 4.3 pour plus de commodité.

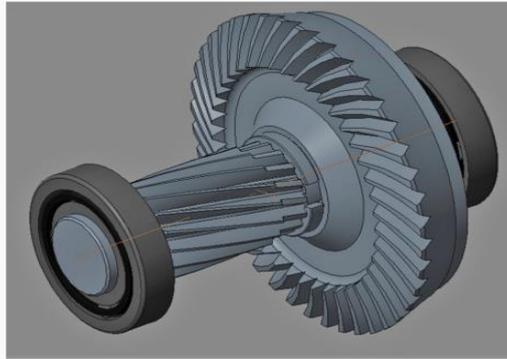


Figure 4.3 : L'un des quatre sous-groupes composé d'un arbre, d'engrenages et de roulements
fiche technique (nomenclature) réducteur CMD R3KC38F

4.3. Les séquences de démontage du réducteur de vitesse

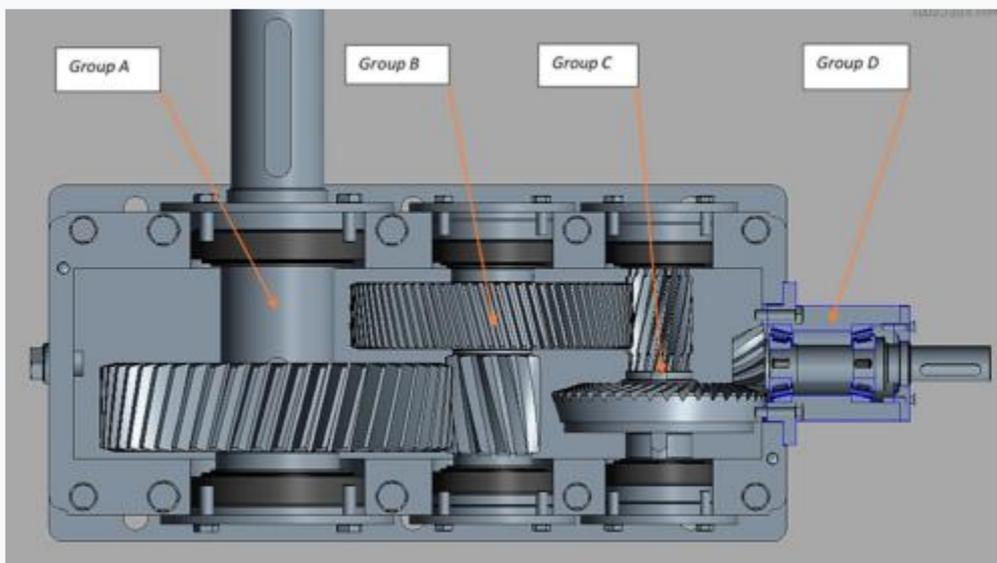


Figure 4.4 Les quatre sous-groupes de réducteur de vitesses en 3D.
Fiche technique (nomenclature) réducteur CMD types R3KC38F

D'après l'observation du modèle 3D. Nous notons qu'il y a quatre sous-groupes de l'assemblée ont été considérés comme un tout bloc et leur séquence a été calculée séparément puis intégrée dans la séquence optimisée.

Les quatre groupes, illustrés à la figure 4, étaient constitués de composants numérotés comme suit :

- Groupe (A) : {3-2-28-29-27-2-4}
- Groupe (B) : {23-8-9-7-26-23-24}

- Groupe (C) : {21-13-19-11-12-21-10}
- Groupe (D) : {33-32-16-15-17-18-14-13-31}

Dans la liste des groupes ci-dessus, les éléments ont déjà été indiqués dans l'ordre dans lequel ils doivent être démontés (voir la figure 4.1).

Nous concluons également qu'il y a trois contacts entre les roues dentées, ça veut dire qu'il y a trois couples :

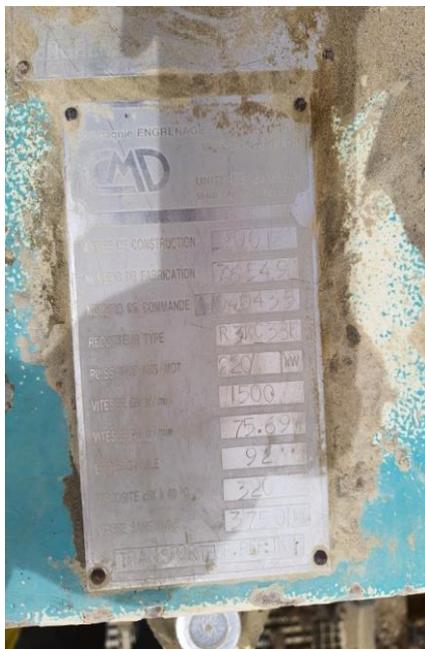
- Couple primaire : entre groupe (D) et (C)
- Couple secondaire : entre groupe (C) et (B)
- Couple réducteur : entre groupe (B) et (A)

4.4. Plaque signalétique

Les caractéristiques de chaque appareil sont inscrites sur une plaque signalétique fixée sur le carter.

Sur cette plaque figure également un numéro d'identification qui doit être rappelé sur toute correspondance relative à cet appareil.

S'assurer que l'appareil a bien été prévu pour la position de montage envisagée

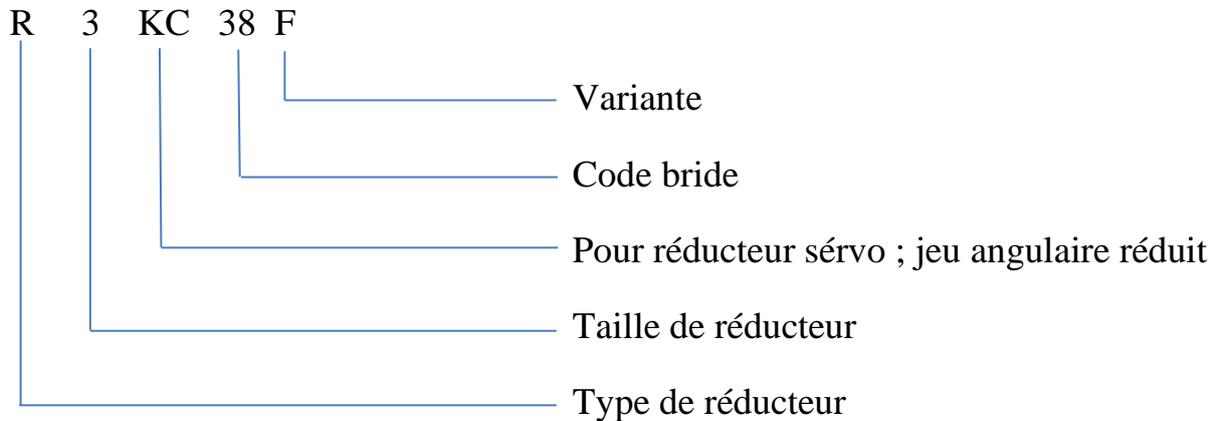


Plaque signalétique	
Compagnie Engrenages et Réducteurs	
CMD	Messiaen Durand
	Unité de Cambrai
	59400 Cambrai-France
Année de construction	2001
Numéro de fabrication	76549
Numéro de commande	01040435
Réducteur type	R3KC38F
Puissance Abs/Mot	220 KW
Vitesse GV tr/min (réducteur)	1500
Vitesse PV tr/min (réducteur)	75.69
Litre d'huile	92 L
Viscosité Cst a 40 °C	320
Masse sans huile	3750 kg
TRANSPORTEUR.REF : TK	

Figure 4.5 : plaque signalétique du réducteur de vitesse CMD

4.4.1. Codification

Un réducteur à couple conique portera la référence suivante :



4.5. Description de l'installation

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

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

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

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

4.6. Fondation

Le réducteur doit être monté sur une fondation suffisamment rigide et massive pour absorber :

- Les efforts dus au couple transmis avec une déformation minimale qui n'altère pas l'alignement des arbres et l'engrènement des dentures.
- Les vibrations et ne pas créer de résonances.
- Le type de fondation qui répond au mieux à ces besoins consiste en un cadre en acier soudé vissé et noyé dans le béton.
- Le plan de pose de ce cadre qui reçoit l'appareil sera usiné avec une tolérance de planéité inférieure ou égale à **0,1 (mm)** pour éviter les déformations.

4.8. Critère du choix d'un réducteur [30]

Avant de commander un réducteur, il est important que vous preniez plusieurs facteurs en considération tel que :

- ✓ Le type de montage de réducteur.
- ✓ Les dimensions du réducteur.
- ✓ Le couple de votre moteur.
- ✓ Le rapport de réduction attendu, selon la vitesse de rotation de votre moteur.

Un réducteur permet d'adapter les caractéristiques (couple et vitesse) de l'axe d'entrée et de sortie d'un mécanisme. C'est pour cela qu'il faut bien connaître le couple et la vitesse de rotation.

Données initiales proposées :

Les données initiales pour le calcul de la transmission mécanique sont: la vitesse de rotation de l'arbre de sortie du réducteur N_r (en tr/min), la puissance de l'arbre de sortie réducteur P_D (en kW) et la vitesse de rotation à vide du moteur électrique d'entraînement N_m en (tr/min).

4.9. Définition du système étudié

Le système étudié est présenté par un réducteur **CMD** de type (**R3KC38F**) à couple conique, à engrenages hélicoïdaux, à arbres orthogonaux, qui entraîne une bande transporteuse horizontale du matière première (phosphate brute) de zone concassage vers le broyeur.



Figure 4.6 : Photo du système étudié (entreprise somiphos)

Avec :

$$N_r = 75.69 \text{ tr/min}$$

$$N_m = 1500 \text{ tr/min}$$

$$P_m = 220 \text{ kW}$$

Nous allons chercher maintenant la puissance de l'arbre de sortie P_D :

On a :

$$P_m = \frac{P_D}{\eta_{tot}}$$

$$P_D = P_m \times \eta_{tot}$$

η_{tot} : Rendement total du moteur qui est donné selon le type de transmission.

Dans le tableau (4.2) on donne l'ordre de grandeur de rendement de quelques couples de frottements présents dans une transmission mécanique [45]

Tableau 4.2 : rendement de quelques couples de frottements

Couples de frottement	Rendement
Engrenage Cylindrique	0,97.....0,99
Paire de roulements	0,99.....0,995
Transmission de courroies trapézoïdales	0,94....0,97

$$\eta_{tot} = \eta_{eng}^n \times \eta_r^m$$

n : Nombre de contacts d'engrenages

m : Nombre de roulements

$$\eta_{tot} = 0.97^3 \times 0.99^4 = 0.876$$

Donc :

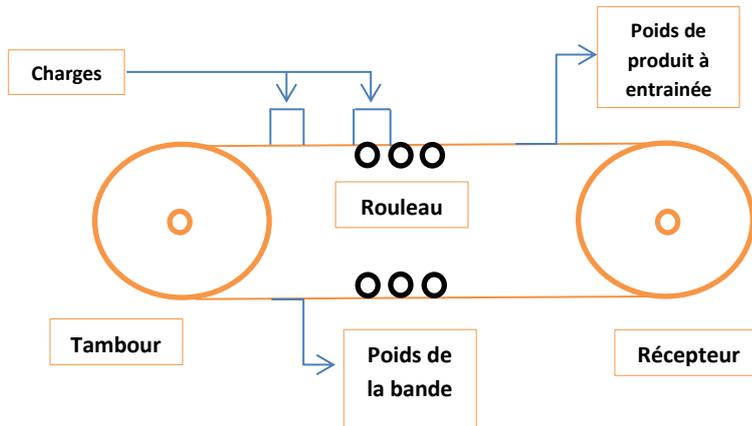
$$P_D = 220 \times 0.876 = 192.72 \text{ Kw}$$

4.10. Calcul cinématique

Détermination de rapport de transmission :

$$R = \frac{N_{entree}}{N_{sortie}} = \frac{N_m}{N_r} = \frac{1500}{75.69} = 19.817$$

4.10.1. La force d'entrainement du convoyeur



➤ **Capacité volumétrique**

Le débit souhaité est :

$$Q_m = 200 \text{ (t/h)}$$

➤ **La vitesse de la bande**

La vitesse de la bande transporteuse : $V = 1.5 \text{ (m/s)}$

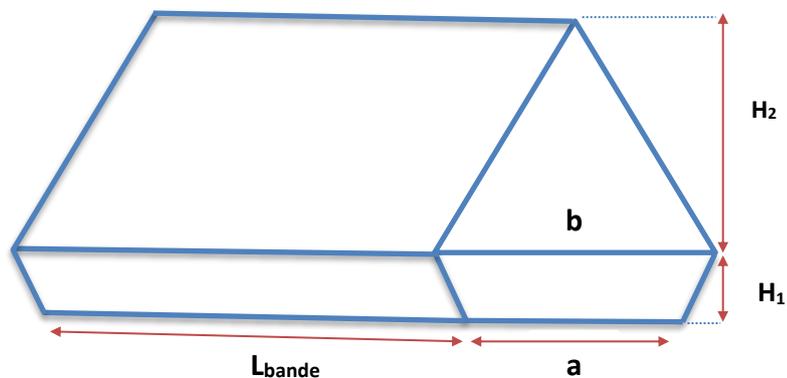
(D'après la salle de contrôle de l'entreprise somiphos)

➤ **Calcul de débit volumétrique**

On a :

$$Qv = S \times V \quad (4.4)$$

↑ vitesse
↓ Section



$$S = L \times b$$

$$S_A = \frac{1}{2}(a + b)H_1$$

$$S_B = \frac{1}{2}b \times H_2$$

$$S_{\text{totale de phosphate}} = S_A + S_B = \frac{1}{2}(a + b)H_1 + \frac{1}{2}b \times H_2$$

Avec :

$b = 600$ mm : Largeur de la bande

$a = 430$ mm : Largeur de phosphate sur la bande

H_1, H_2 : hauteurs de la matière (phosphate) $H_1 = 38$ mm ; $H_2 = 90$ mm

Donc :

La masse du phosphate est :

$$m_{\text{phosphate}} = \rho \times \text{Volume} = \rho \times \left[\frac{1}{2}(a + b)H_1 + \frac{1}{2}b \times H_2 \right] \times L_{\text{bande}}$$

$$S_{\text{totale de phosphate}} = 1.83 \left[\frac{1}{2}(430 + 600)38 \cdot 10^{-3} + \frac{1}{2}(600 \times 90) 10^{-3} \right] \times L_{\text{bande}}$$

$$S_{\text{totale de phosphate}} = 1.83 (19570 + 345) 10^{-3} \times 49.7$$

$$S_{\text{totale de phosphate}} = 36.43 \times 49.7 = 1810.57 \text{ kg}$$

$$Qv = S \times V = \frac{Qm}{\rho}$$

$$Qv = \frac{200}{1.83} = 109.3 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

Avec :

$Q_v =$ débit volumétrique $\left[\text{m}^3/\text{h} \right]$

$Q_m =$ débit massique $\left[\text{t/h} \right]$

$\rho = 1.834$: masse volumique du phosphate à $\left[\text{kg/m}^3 \right]$ 20 °C

➤ **Quantité de produit par mètre**

$$QG = \frac{Qm}{v}$$

$$QG = \frac{200}{1.5 \times 3.6} = 37.038 \text{ kg/m}$$

➤ **La vitesse angulaire**

$$w = \frac{2\pi N}{60} = \frac{(2 \times 3.14 \times 1500)}{60} = 157 \text{ rad/s}$$

$R = 400$ mm (diamètre de tambour qui été mesuré sur site industriel)

➤ **La puissance**

$$P = C \times w$$

Avec

P : La puissance du moteur

C : Le couple (N.m)

ω : La vitesse angulaire (rad/s)

On a :

$$C = F \times r = F \times \frac{d}{2} \quad (4.7)$$

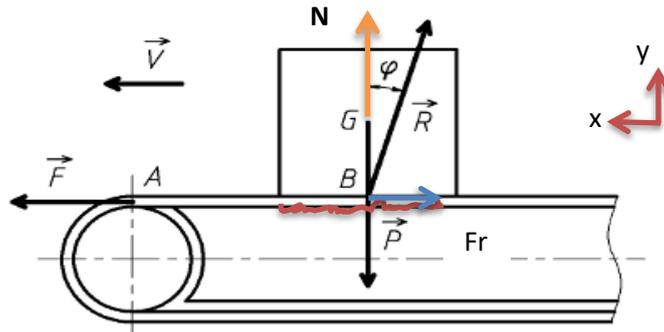


Figure 4.7 : Les forces impliquées sur la bande en état de mouvement [54]

On considère le frottement entre la bande et les rouleaux est négligeable.

Donc on a :

$\mu_s = 0.25$ (Coefficient de frottement phosphate sur caoutchouc)

$$Fr = N \times \mu_s$$

$$Fr = m_{\text{phosphate}} \cdot g \times \mu_s$$

On a la force d'accélération :

$$F = Mt \times a$$

Donc :

$$F = (Mt \times a) + m_{\text{phosphate}} \cdot g \times \mu_s$$

$$M_{\text{totale}} = \text{Masse de la bande} + \text{Masse de produit a entrainée}$$

On a déjà Q_G la quantité de produit par mètre linéaire

$$L_{\text{bande}} = 49.7 \text{ m}$$

Donc :

Chapitre 4 : Influences des défauts sur la transmission des réducteurs

$$\text{La masse de produit a entrainée} = L_{\text{bande}} \times Q_G = 49.7 \times 37.038 = 1840.78 \text{ kg}$$

Avec :

$$\text{La masse linéaire de la bande : } M_{Lb} = 8.5 \text{ kg/m}$$

$$\text{la masse de la bande} = M_{Lb} \times L_{\text{bande}} = 8.5 \text{ kg/m} \times 49.5 \text{ m} = 420.75 \text{ kg}$$

$$M_t = 420.75 \text{ kg} + 1840.78 \text{ kg} = \mathbf{2261.53 \text{ kg}}$$

➤ L'accélération du moteur

$$a = \frac{v}{t_d}$$

$$a = \frac{1.2}{0.05} = \mathbf{30 \text{ m.s}^2}$$

t_d : Temps de démarrage en fonction de l'inertie de la machine (est donnée $t_d = 0.05$)

On peut maintenant calculer la force d'accélération :

$$F = (M_t \times a) + m_{\text{phosphate}} \cdot g \times \mu_s$$

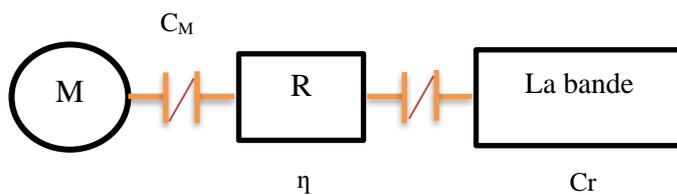
$$F = (2261.53 \times 30) + 1810.57 \times 9.8 \times 0.25$$

$$F = 72,3 \times 10^3 \text{ N}$$

Donc on peut calculer le couple résistant :

$$Cr = F \times R$$

$$Cr = 73.3 \cdot 10^3 \times 0.2 = 14.6 \times 10^3 \text{ N.m}$$



$$\eta = \frac{C_r}{C_m} \quad \longrightarrow \quad C_m = \frac{C_r}{\eta}$$

η : le rendement d'engrenage cylindrique voir tableau(4.2) $\eta = 0.97$

$$C_m = \frac{14.6 \times 10^3}{0.97} = 15.05 \times 10^3 \text{ N.m}$$

4.11. Diagrammes Ishikawa (causes/effet)

Le diagramme causes/effet, (appelé aussi diagramme d'Ishikawa ou arête de poisson) se pratique en groupe de travail. Il consiste à classer par famille les causes susceptibles d'être à l'origine d'un problème afin de rechercher des solutions pertinentes.

Dans notre cas l'effet étudié est la défaillance des composants des réducteurs de vitesse. Après la réalisation d'un Brainstorming avec une équipe de techniciens, nous avons énuméré les causes possibles de cet effet en les organisant sous cinq catégories que le multiplicateur exige et qui sont Milieu, Main-d'œuvre, Matières, Moyens et Méthodes [16].

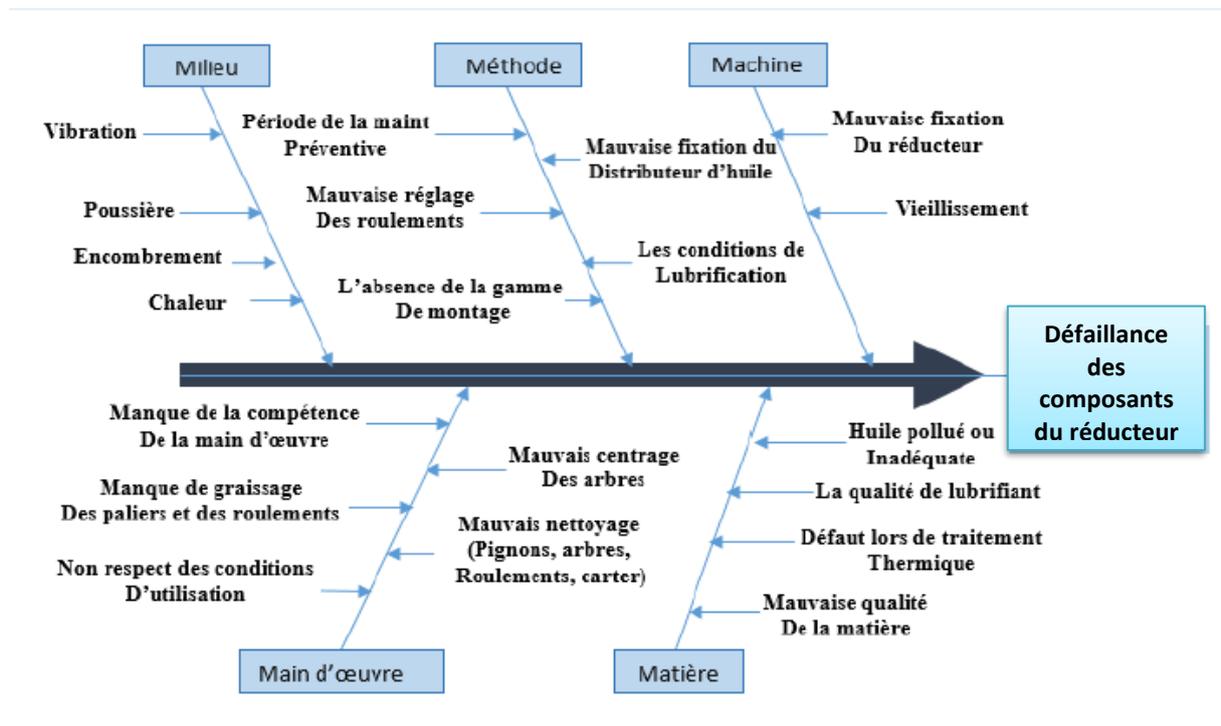


Figure 4.8:Diagramme d'Ishikawa de défaillance des composants du multiplicateur

4.12. Etude principaux défauts au niveau des réducteurs [45]

L'identification d'anomalies à un stade précoce, le suivi de leurs évolutions et le diagnostic de l'état d'une machine ne sont possibles que si, préalablement, l'on connaît les symptômes vibratoires associés à chaque défaut susceptible de l'affecter, c'est-à-dire si l'on connaît les images vibratoires induites par ces défauts.

On distingue (04) types des défauts :

- Défauts de fabrication
- Défauts de rectification
- Défauts de montage
- Défauts de fonctionnement

4.12.1. Déséquilibre (défaut de balourd) : Quel que soit le soin apporté à la construction des machines, il n'est pas possible de faire coïncider l'axe de rotation avec le centre de gravité de chaque tranche élémentaire du rotor.

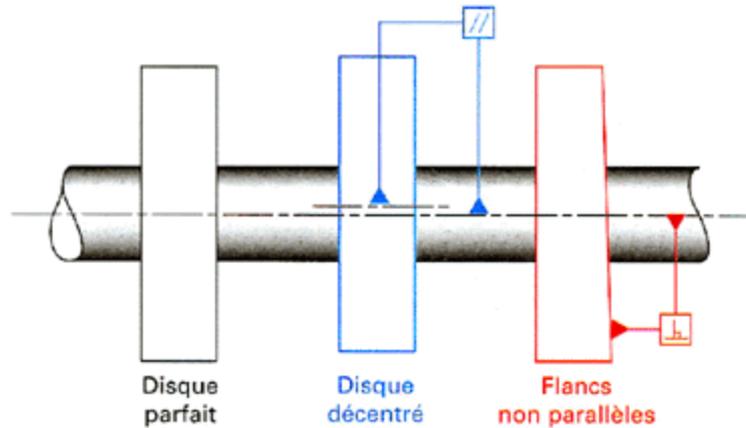


Figure 4.9 : Ecart d'usinage (excentricité et parallélisme) [51]

Ce balourd provient généralement de défauts d'usinage, d'assemblage et de montage, ou sont la conséquence :

- d'une altération mécanique : perte d'ailette, érosion ou encrassement.
- d'une altération thermique : déformation suite à des dilatations différentes des matériaux constituant le rotor ou à des différences de température localisées ...

Il existe deux types de balourd statique et dynamique :

a) Balourd statique :

- Même phase sur chaque roulement
- Principalement des vibrations radiales Balourd (équilibre)

Le balourd va induire, dans un plan radial, une vibration dont le spectre présente une composante dont la fréquence de base correspond à la fréquence de rotation F_r .

Elle représente alors le pic le plus élevé avec des pics d'amplitudes plus faibles sur les harmoniques de F_r .

b) Balourd dynamique :

- Déphasage de 180° autour du roulement
- Principalement des vibrations radiales

4.12.2. Défaut d'alignement :

Le défaut d'alignement est l'une des principales causes de réduction de la durée de vie des équipements. Il concerne soit deux arbres liés par un accouplement, soit deux paliers soutenant le même axe.

a) Désalignement d'arbres accouplés :

Les axes des deux rotors peuvent présenter un désalignement angulaire au niveau de l'accouplement ou un désalignement radial (défaut de concentricité) ou la combinaison des deux [figure 4.10].

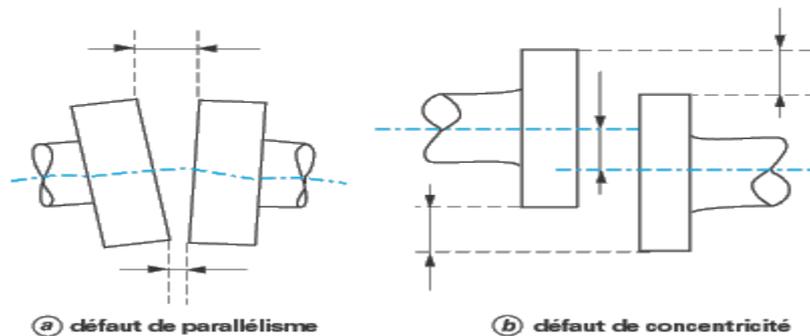


Figure 4.10 : Défauts *désalignement* [45]

b) Désalignement radial :

Un défaut d'alignement est révèlé par un pic d'amplitude prépondérante généralement 2 fois la fréquence de rotation (parfois 3 ou 4 fois). Il apparaît une vibration dans la direction radiale de composante d'ordre 2 de la fréquence de rotation (rarement d'ordre 3, voire exceptionnellement d'ordre 4), avec des amplitudes supérieures aux composantes d'ordre 1 [figure 4.10].

c) Désalignement angulaire [45]

Il apparaît une vibration axiale de composante d'ordres 1, 2, 3 ou 4 de la fréquence de rotation avec des amplitudes supérieures à celles des composantes radiales correspondantes.

4.12.3. Défauts de serrage [45]

Le mauvais serrage de la structure de la machine génère des vibrations et un certain bruit. Le spectre typique mesuré sur une machine dans laquelle il existe un jeu contient un grand nombre de pics à des fréquences multiples de la fréquence de rotation.

4.12.3. Défauts d'engrenages

Ces défauts sont liés aux dégradations de la denture (denture cassée ou abimée, usure uniforme ou non, pitting localisé ou réparti, mauvais centrage) (figure 4.11). On peut observer aussi du fretting (corrosion, frottement) qui se traduit par un enlèvement de métal lorsque l'engrenage est mal lubrifié et que les efforts sont importants.

Les vibrations des engrenages sont dominées par un effort à chaque contact [46]. Un arbre tournant à une fréquence « fr » sur lequel est monté un pignon ou une roue comptant « z » dents sera soumis à « z » chocs par tour. La fréquence caractéristique de l'engrènement sera :



Figure 4.11 : Dégradation des dents d'une roue dentée [48]

On distingue principalement deux catégories de défauts. Les défauts affectant toutes les dents et ceux localisés sur des dents particulières

A) Défauts répartis sur toutes les dents :

L'usure : L'usure est un phénomène local caractérisé par un enlèvement de matière dû au glissement de deux surfaces l'une par rapport l'autre. Le développement de l'usure est lié à la charge mécanique à transmettre et à la vitesse de glissement, ainsi qu'à la présence plus ou moins grande d'éléments abrasifs dans le lubrifiant. L'usure normale est inversement proportionnelle à la dureté superficielle de la denture et elle progresse lentement. L'usure anormale se produit lorsque le lubrifiant est souillé de particules abrasives (Fig.4.12) ou lorsque le lubrifiant est corrosif. Elle conduit à un mauvais fonctionnement de l'engrenage.



Figure : 4.12 : Défauts de l'usure [51]

Les piqûres (Pitting) : Il s'agit des trous plus ou moins profonds (Fig.4.13) qui affectent toutes les dents. La piqûre est une avarie qui se produit surtout sur des engrenages en acier de construction relativement peu dur. Il est moins à craindre si la viscosité du lubrifiant est bonne. L'apparition des piqûres est associée aussi à un rapport épaisseur de film lubrifiant sur rugosité composite insuffisant pour éviter des contacts entre aspérités.



Figure 4.13 : Défauts de piqûre [47]

B) Défauts localisés sur certaines dents

Les défauts localisés sur des dents particulières conduisent rapidement à la rupture de celles-ci.

L'Écaillage : Il s'agit également de trous (Fig.4.14), mais ceux-ci sont beaucoup moins nombreux, plus profonds et plus étendus que ceux des piqûres. L'écaillage se trouve dans les engrenages cimentés, qui sont les plus répandus à l'heure actuelle car ils permettent de passer des couples importants avec des dimensions faibles.

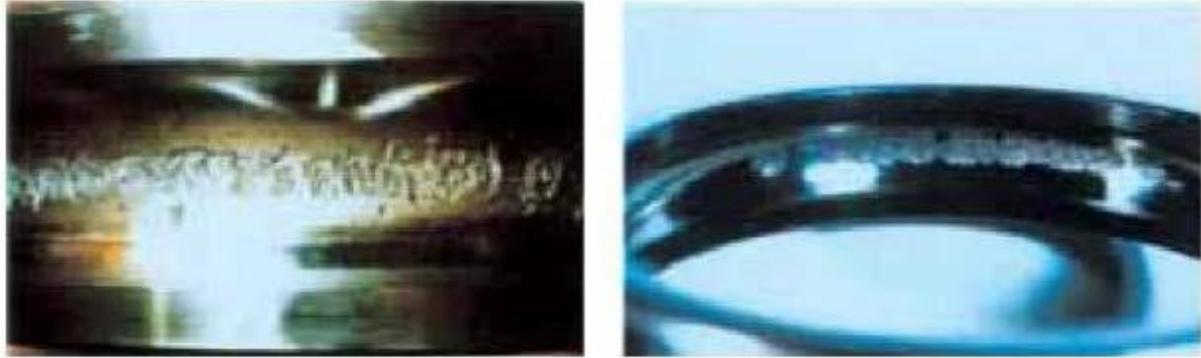


Figure 4.14 : Défauts de l'écaillage [51]

La fissuration : Elle progresse à chaque mise en charge, situé au pied de dent. Elle apparaît surtout sur des aciers fins durcis par traitement thermique qui sont sujets aux concentrations de contraintes. L'apparition de ces fissures est la conséquence d'une contrainte au pied de la dent qui dépasse la limite de fatigue du matériau. Ces fissures sont en général situées du côté de la dent sollicitée en traction.



Figure 4.15 : Défauts de fissuration [51]

4.12.4. Défauts de roulement : Les roulements sont parmi les composants les plus sollicités des machines et représentent une source de panne fréquente (figure 4.16). Les défauts que l'on peut y rencontrer sont les suivants : écaillage, grippage, corrosion (qui entraîne l'écaillage), faux effet Brinell, etc... Tous ces défauts se traduisent par une perte de métal et provoquent des chocs répétés des billes sur la cage de roulement [47].

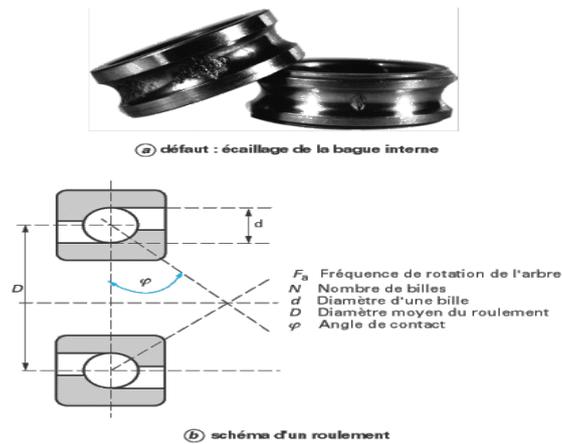


Figure 4.16 : Roulement à billes [51]

Les pistes des roulements et les billes sont chargées cycliquement, ce qui engendre à la surface une dégradation par fatigue qui se présente sous la forme de fissures qui conduisent à l'écaillage [48] et [49] puis à la ruine du roulement. Ces fissures peuvent être d'origine superficielle ou provenir de la dégradation de la sous couche du matériau. Cette ruine peut être détectée sur un spectre à partir de l'identification des fréquences caractéristiques du roulement. Celles-ci correspondent aux fréquences des impacts lorsqu'un élément roulant rencontre un défaut. Elles sont données en écrivant que les vitesses aux points de contact entre billes et bagues sont nulles [50]. Elles dépendent du diamètre des éléments roulants (d), du diamètre moyen du roulement (D), du nombre d'éléments roulants (N), de l'angle de contact (φ) et de la fréquence de rotation relative entre les bagues intérieure et extérieure (f_r). Elles sont données par les formules

➤ Origine

Ce peut être :

- un écaillage de la piste interne (sur l'arbre) ;
- un écaillage sur la piste externe (sur l'alésage)
- un défaut localisé sur un élément roulant (bille ou rouleau).

4.13. Méthode ABC (Diagramme Pareto) [35]

Parmi la multitude de préoccupations qui se posent à un responsable maintenance, il lui faut décider quelles défaillances doivent être étudiées et/ou améliorées en premier. Pour cela, il faut déceler celles qui sont les plus importantes et dont la résolution ou l'amélioration serait le plus rentable, en particulier en terme de coûts d'indisponibilité. La difficulté réside dans le

fait que ce qui « est important » et que ce qu'il « l'est moins » ne se distinguent pas toujours de façon claire.

La méthode ABC apporte une réponse. Elle permet l'investigation qui met en évidence les éléments les plus importants d'un problème afin de faciliter les choix et les priorités. On classe les événements (pannes par exemple) par ordre décroissant de coûts (temps d'arrêts, coût financier, nombre, etc..), chaque événement se rapportant à une entité. On établit ensuite un graphique faisant correspondre les pourcentages de coûts cumulés aux pourcentages de types de pannes ou de défaillances cumulés. Sur le schéma figure 6.2, on observe trois zones.

1. Zone A : 20% des pannes occasionnent 80% des coûts ;
2. Zone B : les 30% de pannes supplémentaires ne coûtent que 15% supplémentaires ;
3. Zone C : les 50% de pannes restantes ne concernent que 5% du coût global.

Conclusion : il est évident que la préparation des travaux de maintenance doit porter sur les pannes de la zone A.

En maintenance cette méthode est très utile pour déterminer les urgences ou les tâches les plus rentables, par exemple :

- S'attacher particulièrement à la préparation des interventions sur les défaillances les plus fréquentes et/ou les plus coûteuses (documentation, gammes opératoires, contrats, ordonnancement, etc..),
- Rechercher les causes et les améliorations possibles pour ces mêmes défaillances,
- Organiser un magasin en fonction des fréquences de sortie des pièces (nombre de pièces et emplacement),
- Décider de la politique de maintenance à appliquer sur certains équipements en fonction des heures et des coûts de maintenance.

Attention toutefois : cette méthode ne résout pas les problèmes, mais elle attire l'attention du technicien sur les groupes d'éléments à étudier en priorité.

4.13.1. Application de la méthode ABC (Pareto) [35]

Notre mécanisme a un grand rôle au niveau de la chaîne technologique ,et parfois les périodes de travail s'étendent jusqu'à 24 heures sans s'arrêter.

L'entreprise, qui utilise les réducteurs, désire augmenter sa productivité en diminuant les pannes sérieuses. Pour cela nous demandons au service de maintenance de définir des priorités sur les améliorations à apporter à cette moyenne de transmission. Cette méthode a été étudiée à la base d'un historique des pannes durant une période de 06 mois :

Chapitre 4 : Influences des défauts sur la transmission des réducteurs

Réducteur	Zone d'installation	Type	Machine a entraîné	Codification	Constructeur
R1	Broyage	Engrenage cylindrique a axe parallèles	convoyeur	Z1 M20	FLENDER
R2	Broyage	Axe orthogonaux a couple conique	élévateur	Z1 M04	Aumund
R3	Concassage	planétaire	Concasseur	P1 S30	FLENDER
R4	Broyage	Engrenage cylindrique a axe parallèles	Vis	Z1 M05	AC mitron
R5	Broyage	Engrenage cylindrique a axe parallèles	Vis	Z1 M22	SEW usocom
R6	Broyage	planétaire	Broyeur	Z1 M14	MAAG
R7	Expédition	Vis-sans fin	Pont roulant	X01 034	Hansen
R8	Concassage	Engrenage cylindrique a axe parallèles	convoyeur	R1 S03	FLENDER
R9	Cuisson	Engrenage cylindrique a axe parallèles	vis	W1 P25	Hansen
R10	Cuisson	Engrenage cylindrique a axe parallèles	Four	W1 P23	Hansen

Réducteurs	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
Nombre d'heures d'arrêt	26.5	11	1	57	56.5	1	17	1.5	9.5	1
Nombre de pannes	4	15	4	4	3	8	12	2	3	2

Chapitre 4 : Influences des défauts sur la transmission des réducteurs

Diagramme ABC :

Du tableau précédent, on tire le tableau des coûts et des pannes cumulées.

Réducteurs	Classement en coût (en h)	Cumul des coûts (en h)	% des coûts Cumulés	Nombre de Pannes	Cumul des Pannes	% des pannes cumulées
R4	57	57	31.3	4	4	7
R5	56.5	113.5	62.4	3	7	12.3
R1	26.5	140	76.9	4	11	19.3
R7	17	157	87.2	12	23	40.3
R2	11	168	92.3	15	38	66.7
R9	9.5	177.5	97.5	3	41	71.9
R8	1.5	179	98.3	2	43	75.4
R3	1	180	98.9	4	47	82.4
R6	1	181	99.4	8	55	96.5
R10	1	182	100	2	57	100

Tableau 4.5: Tableau des coûts et des pannes cumulées (Application)

A partir du tableau ci-dessus, Les cases grises nous donnent les limites des zones A, B et C.

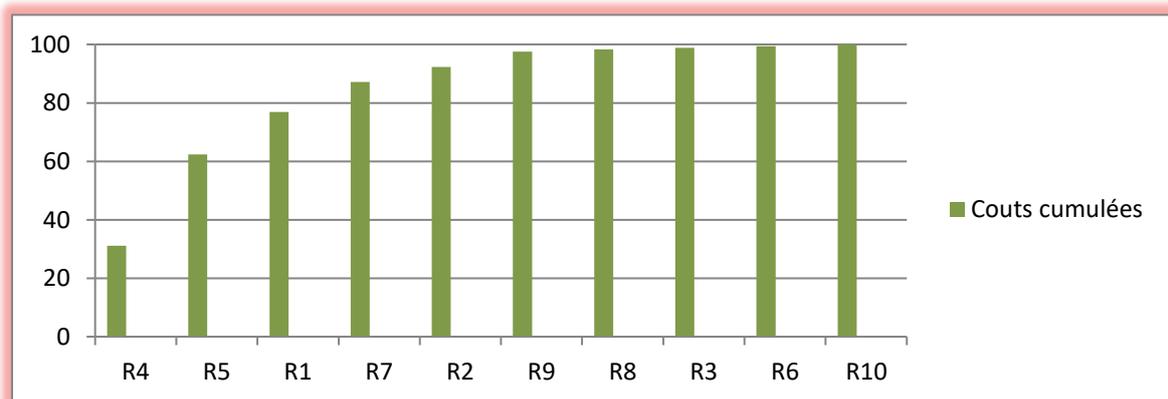


Figure 4.17 : Histogramme des coûts cumulés

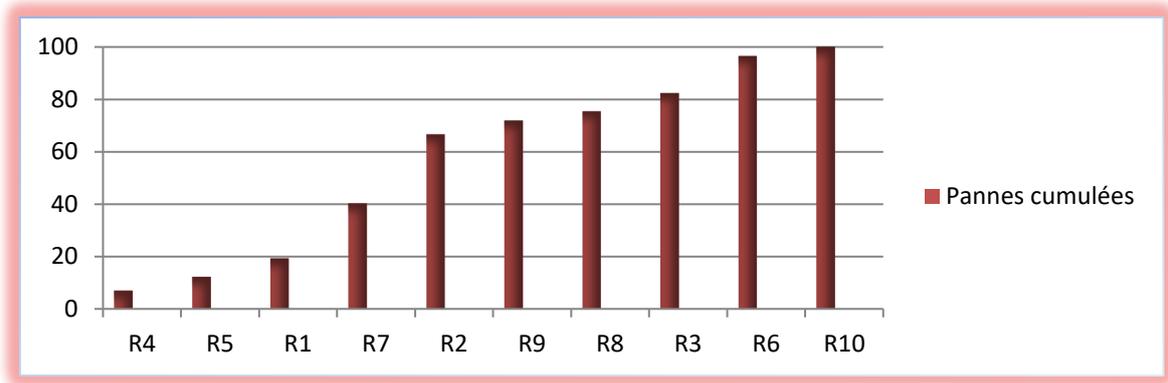


Figure 4.18 : Histogramme des pannes cumulées

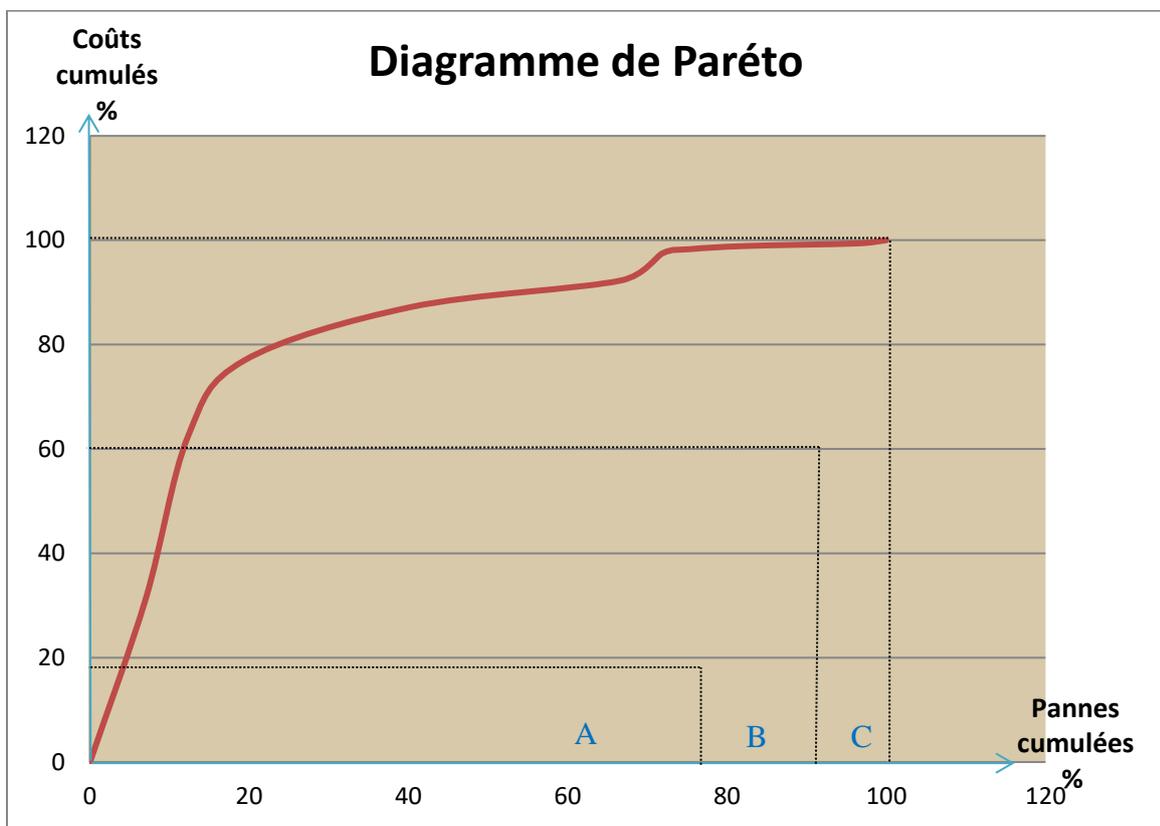


Figure 4.19 : La courbe (ABC) des systèmes étudiés.

- Zone (A) : 0 % jusqu'à 76.9 %
- Zone (B) : 76.9 % jusqu'à 92.3 %
- Zone (C) : 92.3 % jusqu'à 100 %

➤ Zone (A) : 0 % jusqu'à 76.9 %	R4, R5, R1, R7, R2, R9
➤ Zone (B) : 76.9 % jusqu'à 92.3 %	R8, R3
➤ Zone (C) : 92.3 % jusqu'à 100 %	R6 ,R10

D'après les résultats obtenus par le diagramme de Pareto (20/80), représenté principalement dans trois zones :

La zone (A) est de 76.9 % : qui a le plus grand pourcentage de pannes, et donc la plus grande consommation d'heures d'indisponibilité, toutes ces raisons entraînent une augmentation des coûts de maintenance, comme ces dispositifs occupent une place très importante au sein de la chaine technologique.

Les facteurs qui causent le ratio de coût élevé sont nombreux, et peuvent être identifiés et diagnostiqués dans ce qui suit :

- Premièrement et surtout, l'absence de la main-d'œuvre qualifiée, grâce à laquelle la rentabilité des réducteurs peut être maintenue.
- Manque de pièces de rechange en stock, sachant qu'il faut un temps considérable pour qu'il arrive après sa commande.
- Aussi l'emplacement inapproprié de ces réducteurs sur site industrielles obstacle majeur pour les maintenanciers.

La zone (B) est de 15.4% : il constitue le ratio de coût moyen, représenté dans les (02) réducteurs de vitesse au niveau de la zone concassage, comme les services de maintenance sont modernes et avancés par rapport aux autres zones.

La zone (C) est de 7.7% : Contient le réducteur MAAG qui tourne le broyeur et HANSEN fait tourner le haut fourneau, ces deux zones sont les plus importantes pour maintenir la sécurité de la production, ou ils sont arrêtés et inspectés chaque jour dans les heures du pointe, c'est le moment où le coût de l'électricité est élevé.

4.14 Définition [2]

L'AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité) est une méthode d'analyse préventive de la sûreté de fonctionnement des produits et des équipements. Ce principe de la prévention repose sur le recensement systématique et l'évaluation des risques potentiels d'erreurs susceptibles de se produire à toutes les phases de réalisation d'un

produit. C'est une méthode précieuse qui permet à l'entreprise de valider, tout au long de la construction du produit, sa qualité et sa fiabilité :

- Elle identifie les modes de défaillance des composants, en évalue les effets sur l'ensemble des fonctions et en analyse les causes.
- Elle évalue l'impact, ou criticité, de ces modes de défaillances sur la sûreté de fonctionnement.

En phase de conception, elle est associée à l'Analyse Fonctionnelle, pour la recherche des modes de défaillances spécifiques à chaque fonction ou contrainte des composants.

- Dans le cas d'analyse sur des procédures ou chaînes de fabrication, elle permet de localiser les opérations pouvant conduire à élaborer un produit ne respectant pas le cahier des charges, ce qui permettra par la suite de limiter les rebuts.
- Appliquée à un groupe de travail pluridisciplinaire, elle est recommandée pour la résolution de problèmes mineurs dont on veut identifier les causes et les effets.

4.14.1. Objectifs de l'AMDEC

L'objectif de l'AMDEC est d'évaluer les risques liés à un processus de fabrication.

Il pourra s'agir des risques liés à la sécurité, à la qualité, à la performance de production.

Dans le cas de l'AMDEC machine, il va s'agir de déterminer les points faibles des équipements dans leur rôle de production afin de proposer (en fonction des résultats obtenus) des mesures correctrices. [35]

L'étude AMDEC permet principalement d'optimiser les coûts indirects (Figure 3.1). En effet elle constitue une méthode de diagnostic intelligente dans la mesure où elle permet de prévoir un certain nombre des faiblesses, des défauts, des anomalies et des pannes au niveau de l'ensemble des éléments qui concourent à la fabrication d'un produit.

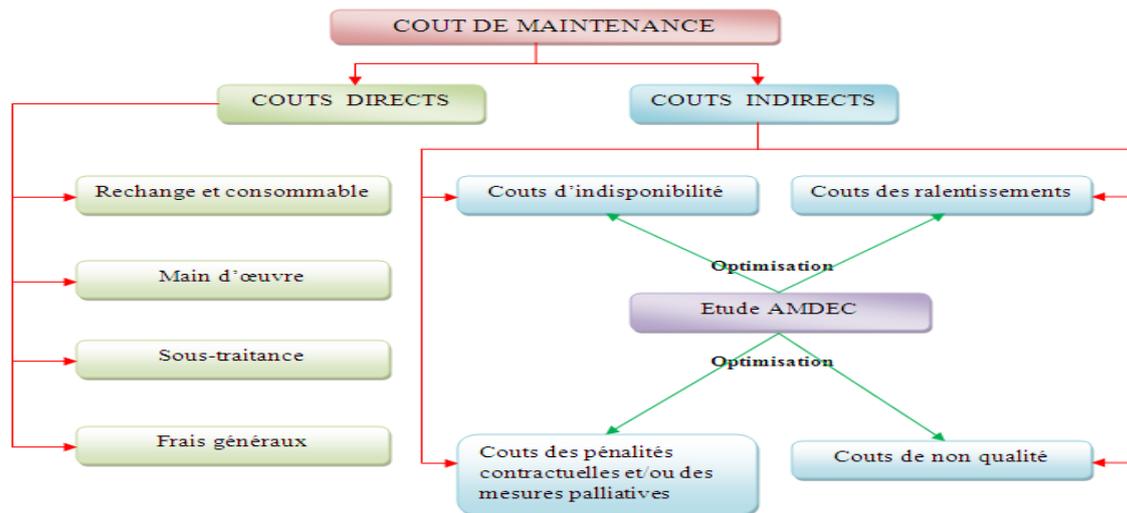
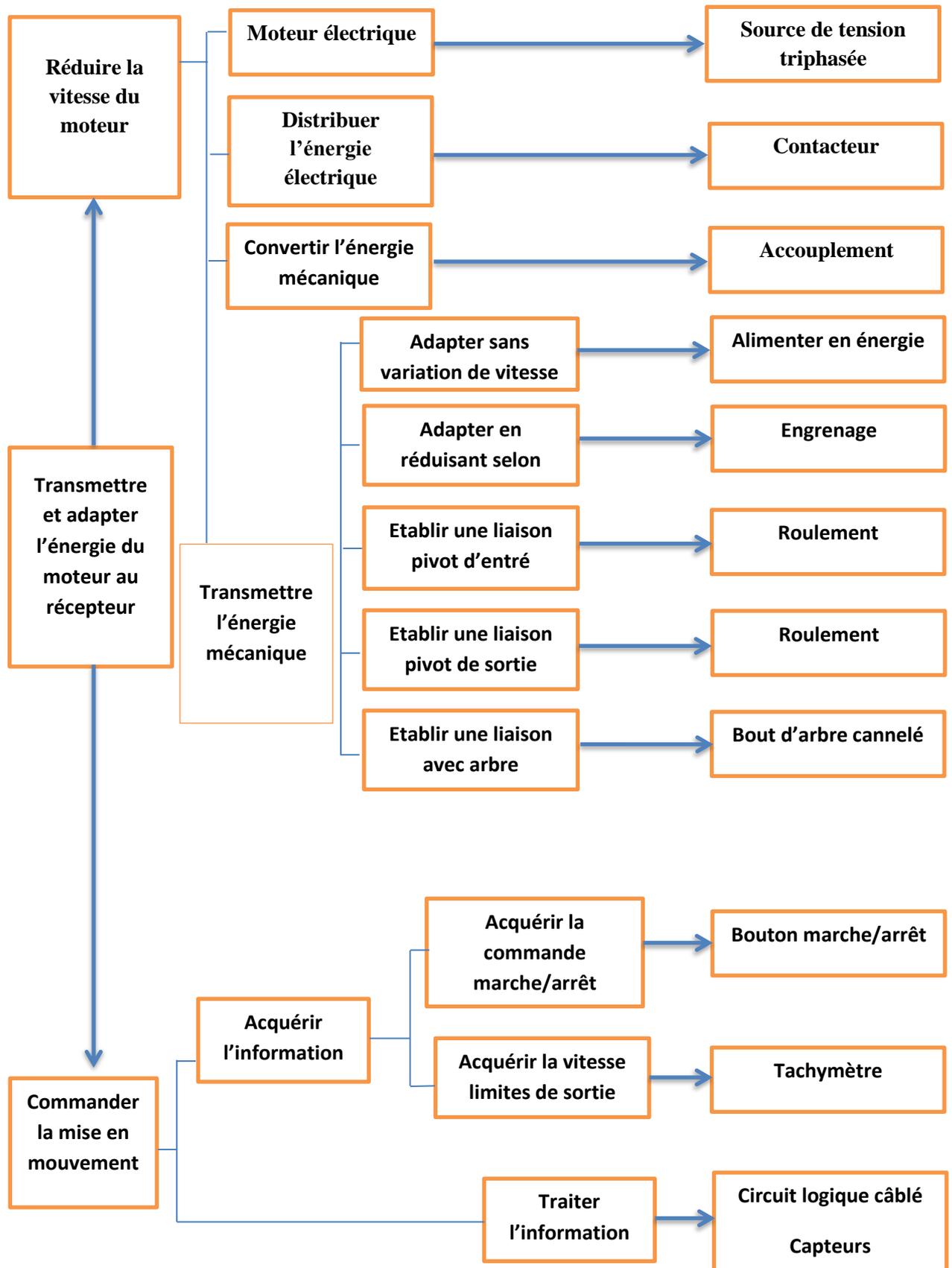


Figure 4.20 : Méthode d'optimisation de la maintenance par AMDEC

4.14.2. Diagramme Fast (*Function analysis system technique*)

Le diagramme fast de la fonction « Transmettre et adapter l'énergie du moteur au réducteur »



4.15. Diagramme de pieuvre

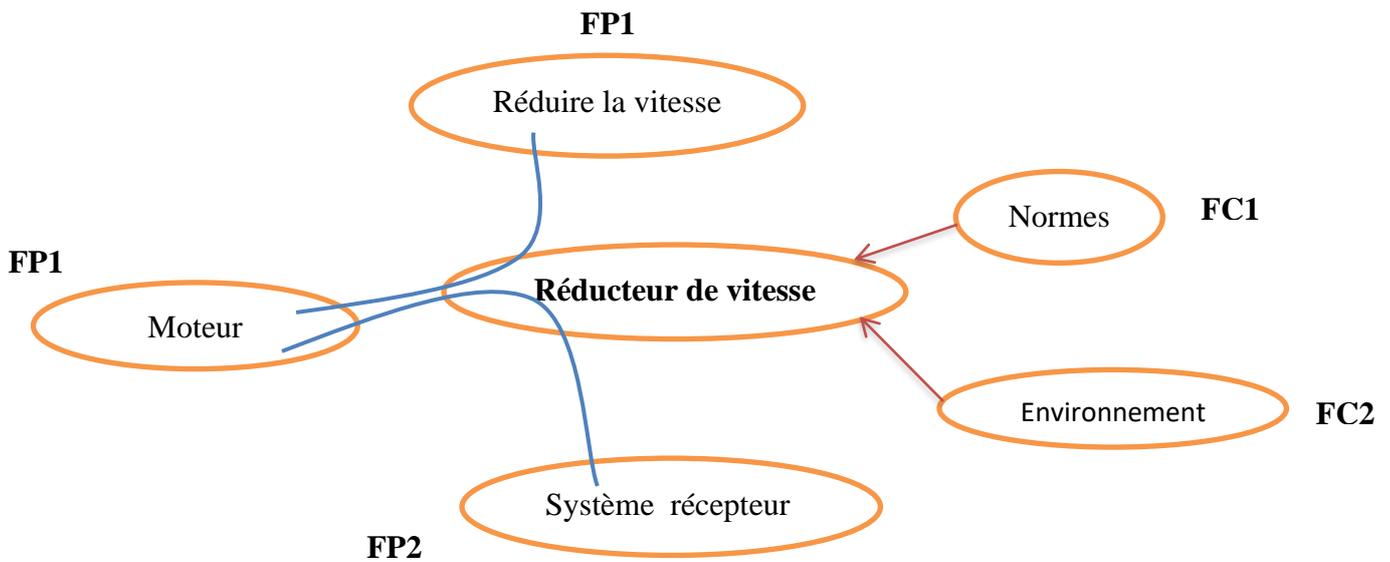


Figure 4.18: diagramme de l'environnement

Les termes :

Fonction principale 1 (**FP1**) : Réduire la vitesse du moteur.

Fonction principale 2 (**FP2**) : Transmettre l'énergie mécanique au système récepteur.

Fonction contrainte 1 (**FC1**) : respecter La réglementation en vigueur

Fonction contrainte 2 (**FC2**) : s'adapter au milieu ambiant.

4.15.1. Caractérisation des fonctions de service

Une fonction de service est une fonction attendue d'un produit pour répondre au besoin d'un utilisateur.[2]

Tableau 4.3: Caractérisation des fonctions de service

Fonction	Critère	Niveau
- Fp1 : Réduire la vitesse du moteur.	-Vitesse d'entrée du réducteur.	-1500 <i>tr/min</i>
- Fp2 : Transmettre l'énergie mécanique au système.	-Utiliser un train d'engrenage en prise les roues à denture hélicoïdale et a couple conique.	$P = 220kw$
- Fc1 : Normes.	-Respecter la réglementation en vigueur	-ISO
- Fc2 : Environnement	-S'adapter au milieu ambiant	-ISO

$$\text{Criticité} = \text{Fréquence} \times \text{Gravité} \times \text{Détection}$$

Indice de fréquence	Critère F
1	plus d'une fois par 2 ans
2	plus d'une fois par 1 an
3	plus d'une fois par 6mois
4	plus d'une fois par 3mois

Indice de gravité	Critère G
1	Temps total d'arrêt inférieur à 12 heures
2	Temps total d'arrêt inférieur à 24 heures
3	Temps total d'arrêt inférieur à 3 jours
4	Temps total d'arrêt supérieur à 3 jours

Indice de Détection	Critère D
1	Détection efficace qui permet une action préventive afin de prévenir la défaillance
2	Il y a un risque que la détection ne soit pas efficace
3	le moyen de détection n'est pas fiable
4	Il n'y a aucun moyen de détection

Chapitre 4 : Influences des défauts sur la transmission des réducteurs

Date de l'analyse	AMDEC MACHINE – ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCE DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITÉ					Phase de fonctionnement				page :
	Système : Réducteur		Sous — Ensemble :							Nom :
Élément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de défaillance	Effet de la défaillance	Mode de détection	F	G	D	C	Action correctives
Pignon conique a denture hélicoïdale	Transmettre un mouvement de rotation	la dégradation des dents par rupture	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fatigue ▪ Trempe défectueuse ▪ Mauvaise répartition des charges 	Bruit et vibration	Analyse Vibratoire	2	4	1	8	Contrôler la dureté avant le montage
Pignon à denture hélicoïdale	Transmettre un mouvement de rotation	L'écaillage	une épaisseur insuffisante de la couche traitée (mauvaise trempe superficielle)	Vibration	Analyse Vibratoire	1	4	1	4	Vérification de l'épaisseur de la couche traitée avant le montage
Pignon à denture hélicoïdale	Transmettre un mouvement de rotation	Grippage	<p>Conditions de lubrification, la qualité du lubrifiant, sa pollution ou l'efficacité du système de refroidissement</p> <p>- mauvais lubrification</p>	Bruit et Vibration et température accrue au niveau des paliers	Analyse Vibratoire et analyse thermique	4	4	1	16	<ul style="list-style-type: none"> - Contrôler la température de l'huile: Température max du bain d'huile 55°C - Contrôler le niveau d'huile - Réaliser premier changement d'huile - vidange chaque 2 ans - Injecter de la graisse dans les paliers chaque 800 (h) lorsque le réducteur est encore chaud - Contrôler la teneur d'eau de l'huile chaque année -Nettoyage du filtre à huile chaque vidange

Chapitre 4 : Influences des défauts sur la transmission des réducteurs

Pignon arbré	Transmission du mouvement	La rupture en cisaillement	-Rupture par fatigue de l'arbre	Arrêt du réducteur	visuel	2	4	1	8	Vérifier l'absence de détérioration après un incident Expertise des roulements et changements de ceux qui ont dépassé leurs durées de vie
Roulement à rotule sur rouleaux	Assure le guidage en rotation	Déformation plastique	Précontrainte excessive (non-respect des instructions de montage et de maintenance)	Défaut d'entraînement de l'arbre	Analyse vibratoire	1	4	1	4	
Roulement A rouleaux conique	Assure le Guidage en rotation	Grippage ou fatigue du roulement	Mauvais guidage de l'arbre	Réduction de la durée de vie des roulements Détérioration du système d'entraînement	Analyse vibratoire	4	4	1	16	Contrôler le système de graissage. -Respecter les tolérances de montage des roulements. Contrôle régulier de l'alignement des arbres. -Changement systématique des roulements.
Roulement à rotule sur rouleaux	Assure le Guidage en rotation	La rupture de la bague extérieure	mauvais alignement -corps étrange entré -outillage inadapté	vibration	Analyse vibratoire	2	4	1	8	1— Arrêter la machine 2— Remplacer roulement complet 3— chercher l'origine de la surcharge 4— vérifier l'alignement Désalignement axial=+-2,5 mm Désalignement radial=1,9 mm
Arbre	Transmission du mouvement	Mauvaise transmission	-Torsion de l'arbre -Désalignement d'arbre	Vibration et détérioration rapide du système d'entraînement.	Analyse vibratoire	1	4	1	4	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Contrôle régulier de la géométrie d'arbre (verticalité + centralité) ▪ Contrôle d'alignement

Chapitre 4 : Influences des défauts sur la transmission des réducteurs

Clavette	Effectuer la liaison entre l'arbre et l'accouplement	Matage	Désalignement d'arbre	Défaut d'entraînement de l'arbre	Vibration Bruit au niveau de l'accouplement	2	1	1	2	Contrôle les largeurs de clavette et la rainure avant le montage
-----------------	--	--------	-----------------------	----------------------------------	--	---	---	---	---	--

Et d'après l'étude AMDEC, nous avons pu établir le tableau des défaillances les plus critiques relatives aux notre réducteurs de vitesse.

Les défaillances	Criticité
Grippage des pignons	16
Grippage ou fatigue des roulements	16
La rupture de la bague extérieure du roulement	8
La rupture en cisaillement du pignon arbré	8
la dégradation des dents par rupture	8
Déformation Plastique	4
L'écaillage du pignon	4
Matage du clavette	2

Tableau 4.4 : La criticité des défaillances du réducteur étudié

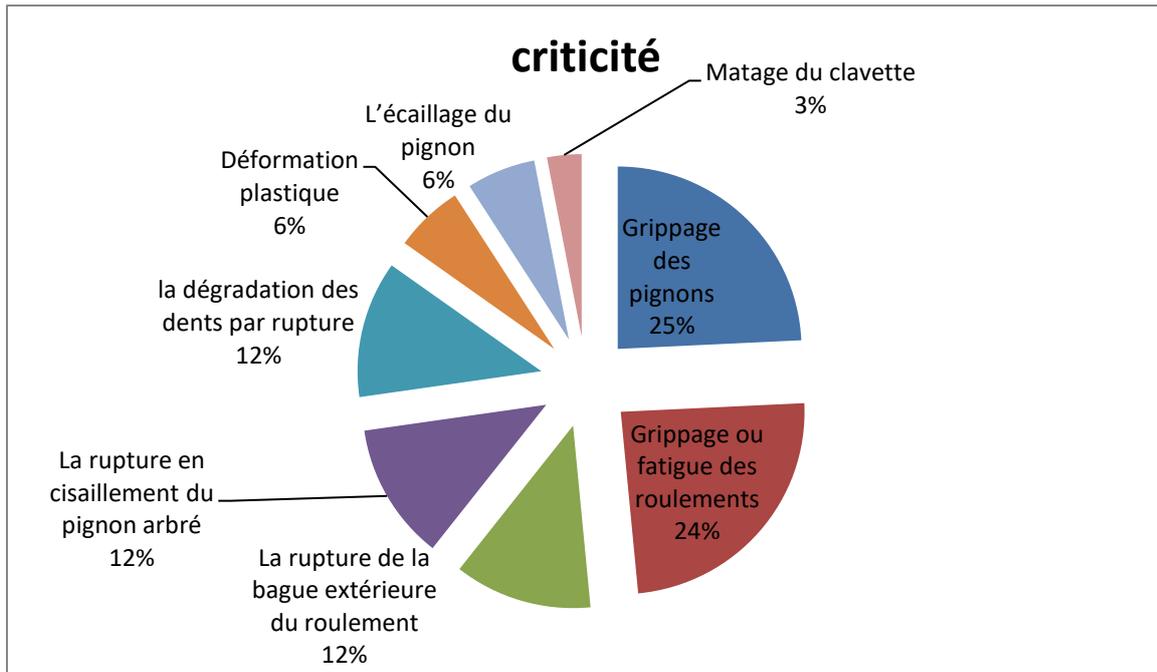


Figure 4.21 : La criticité des défaillances du réducteur

4.17. La mise en place d'une gamme de maintenance préventive

D'après l'analyse AMDEC et Pareto, une mise en place d'une maintenance préventive est nécessaire pour anticiper toutes défaillances du système « des réducteurs ». Le programme d'entretien préventif suivant doit être respecté :

Type d'actions	Action corrective
Maintenance préventive par le personnel	<ul style="list-style-type: none">- Respect des normes de montage et démontage lors des actions de maintenances- Vérifier que les dimensions et l'exactitude des formes et positions des portées de roulements correspondent aux plans et spécifications.- Préparer tout le matériel, les pièces, les outillages nécessaires avant de commencer la mise en place.- S'assurer de propreté des roulements- Contrôle de dureté des pièces avant le montage- Sortir le roulement de son emballage au dernier moment, dans une zone de travail parfaitement propre.- Après montage et avant mise en route définitive, faire une vérification en fonctionnement, de manière à détecter les anomalies éventuelles (bruit, vibrations, température, jeu anormal...).

<p>Maintenance préventive quotidienne</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Contrôle des fuites - Contrôle du bruit - Contrôle des vibrations - Contrôle des paramètres de fonctionnement (température, pression d'huile...)
<p>Maintenance préventive hebdomadaire</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Contrôle du niveau d'huile - La lubrification des roulements - Mesure de niveau vibratoire global
<p>Maintenance préventive mensuelle</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Nettoyage du carter et de la centrale de lubrification - Nettoyage de filtre - Injecter de la graisse dans les paliers lorsque le réducteur est encore chaud - Changement des filtres si nécessaire - Inspection du reniflard
<p>Modification à effectuer chaque année</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Examen dentures par spécialiste - Contrôle des jeux roulements et roulement/alésages - Contrôle des lignages
<p>L'amélioration de la qualité du Main d'œuvre</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Identifier les besoins et les enjeux. -Développer le matériel et l'outillage. -programmer des formations par des professionnels expérimentés selon les besoins des services. -animer la formation et réaliser l'évaluation post-formation.

Conclusion

Les actions traitées dans ce chapitre ont visé l'amélioration d'un côté importante qui est le côté organisationnel.

Les actions réalisées ont permis d'éviter certains arrêts qui sont critiques, ces arrêts sont causés par la manque de la compétence de la main d'œuvre. Comme perspectives d'amélioration de ces actions, on peut envisager quelques points à développer dans de futures études, parmi ces améliorations on cite :

- La réalisation d'un plan de formation pour les intervenants de la maintenance préventive et curative.

Conclusion générale

Le travail de recherche présenté dans ce mémoire porte sur la maintenance des machines industrielles, pour minimiser au maximum les fausses alertes et détecter toute dégradation avant que le système n'atteigne le seuil de défaillance.

L'objectif de ce travail nous a permis d'étudier L'AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance des réducteurs de vitesse, de leurs Effets et de leur Criticité, et aussi méthode de Pareto et leur effet.

Ce travail nous a permis d'enrichir nos connaissances dans la maintenance industrielle et en particulier les transmissions par engrenage, et de comprendre leurs intérêts sur les réducteurs de vitesses.

Notre étude est basée essentiellement sur l'entretien et la révision d'un réducteur a engrenage cylindrique hélicoïdale, a couple conique de la marque CMD , qui entraine une bande transporteuse .

Dans cette étude nous avons pu trouver les facteurs les plus importants impliqués dans les dommages de ces mécanismes et diagnostiquer les pannes, et mise en place d'une gamme de maintenance efficace.

En perspective, nous espérons que ce travail sera comme une source d'inspirations aux promotions avenir, et qu'il va les aider à mieux comprendre comment faire une révision d'un réducteur, et connaitre les différents défauts en état de fonctionnement.

Bibliographie

- [1] GHOMARI S.MAMI E.F. "Qualité et normes ISO –Actes de symposium international sur la qualité et maintenance au service de l'entreprise Tome 1-Qualima 01 Université Abou bekr Belkaid Tlemcen 21 et 22 novembre 2004.
- [2] DOUAIMI Zakaria. Optimisation de la maintenance par l'AMDEC, mémoire de master université Aboubekr Belkaid Tlemcen 2014.
- [3] AUBREVILLE Jean- Marie. Maintenance industrielle de l'entretien de base à l'opération de la sureté, Edition ellipse paris 2004.
- [4] BOITEL Daniel et HAZARD Claude. Guide pratique de la maintenance, entretien manuels d'enseignements. Edition Nathan cop Paris 1987.
- [5] BENISSAAD Ismail. Maintenance industrielle, année universitaire 2007-2008.
- [6] <http://www.wikicfp.com/cfp/>- Histoire et évolution de maintenance industrielle.Le 02/02/2022.
- [7] LYONNET Patrick. La maintenance- mathématiques et méthodes, Edition technologique et documentation Lavoisier& Paris 1992.
- [8] CHAPOUILLE Pierre. Fiabilité, Maintenabilité, Techniques de l'Ingénieur, T 4300, 2007.
- [9] LAVINA Y, PERRUCHE E, Maintenance et assurance qualité. Edition d'organisation, Paris 1998.
- [10] <https://leolin.com/wp-content/uploads/2019/03/1.pdf>. Le 22/02/2022
- [11] <https://tpmattitude.fr/methodes.html>. Le 22/02/2022
- [12] école nationale d'ingénieurs de tunis.cours de la maintenance industrielle.
- [13] <http://jackadit.com/index.php?page=indus3>. Le 23/02/2022
- [14] BLONDEL François-Aide-mémoire-Gestion industrielle-2ème Edition-DUNOD-Paris 2006

- [15] LAVINA Yves et PERRUCHE Eric –Maintenance et assurance de la qualité –Edition d'organisation, Paris 1998.
- [16] MONCHY François - La fonction Maintenance - Formation à la gestion de la maintenance industrielle - Editions Masson - Paris 1996.
- [17] Driss bouami -le grande livre de la maintenance ; concepts, démarches, méthodes et outils et technique.1ère édition (25 avril2019).
- [18] Maintenance des équipements industriels –Jean Claude Morin tom01.bac pro-livre élève édition 2011 ,pp 38 ;39.
- [19] <https://www.ingexpert.com.Méthodes/outilsmaintenance> : conseil, accompagnement, formation.Le 24/02/2022.
- [20] <http://si.blaise-pascal.fr/1t-chaine-denergie/>.Chaine de puissance science de l'ingénieur.Le 24/02/2022.
- [21] <http://www.docplayer.fr/> .Le mécanisme de transmission du mouvement.Le 24/02/2022
- [22] Gearing basics, Power transmission Design, July 1994 p.p 49-53
- [23] M-Sidahmed, Y-Grenier" Surveillance et diagnostic de réducteur à engrenage" journée CETIM-GRECO tdsi senlis 7-8mars 1990.
- [24] : ROBERT. LE BORZEC, « **Réducteur de vitesse à engrenage** ».
Professeur de construction mécanique à l'Ecole Nationale Supérieure des Arts et Métiers de Lille.
- [25] MEMOIRE FIN DETUDE de Master Académique en Génie Mécanique Option : Construction mécanique Réalisé par : BOUDJAHROUNE MADJID
- [26] Construction industrielle-H.Longeot-Dunod1982.pdf
- [27] AMINE BELOUFA,Cours Eléments de Machines destiné aux étudiants de Master 2, Institut des sciences et de la technologie Ain Témouchent, 2016.
- [28] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Fatigue> . Le 19/03/2022 (Site internet)
- [29] A-Chevalier "Guide de dessinateur industriel" ed –Hachete technique1981
- [30] : ROBERT. LE BORZEC, « **Réducteur de vitesse à engrenage** ».
Professeur de construction mécanique à l'Ecole Nationale Supérieure des Arts et Métiers de

Lille.

[31] Monsieur Madani, Cours licence 3 module construction mécanique 1 et 2, Université de Blida 1, département de génie mécanique. 2018.

[32] MEMOIRE FIN DETUDE de Master Académique en Génie Mécanique Option : Construction mécanique Réalisé par : BOUDJAHROUNE MADJID ; Analyse statique et cinématique d'un réducteur épicycloïdal plan, 2015/2016.

[33] : Philippe Arqués « **transmission mécaniques de puissance ; Application aux boîtes de vitesses automatiques** » 2^{ème} édition 2013.

[34] ÉCOLE D'INGÉNIEURS DE FRIBOURG (E.I.F.) SECTION DE MÉCANIQUE G.R. Nicolet, revu en 2006 CONCEPTION ET CALCUL DES ÉLÉMENTS DE MACHINES.

[35] F.ESNAULT, Construction mécanique, Transmission de puissance tome 3. 3^{ème} édition DUNOD.

[36] Mémoire fin d'étude master en génie mécanique , option construction mécanique 2018/2019 réalisé par : Guenouna Djemaia et Bouteldja elhadja, étude de réducteur de vitesse pour un convoyeur a bande.

[37] Conception des machines principes, applications ;George spinnler 3 dimensionnement Page 62 ;64.

[38] Mechanical-design-technology.pdf, cours- chapitre N°07;transmission par engrenage.M.Benjaber.

[39] osec.fr/tp/document-types/3/nrc-transmission-puissance-courroies-chaines.pdf.Le 07/03/2022.

[40] silanus.fr/sin/formationSTI2D/ET22A/Ressources/Etude-des-principeaux-defauts.pdf. Le 09/03/2022.

[41] www.direcindustry.fr .Le 11/03/2022

[42] m.indiamart.com. Le 11/03/2022.

[43] www.memoireonline.com/07/21/11977/-Etude analytique-et-numérique-de-la-stabilité dans les mines.Le 25/04/2022.

[44] Magazine économique de l'énergie ,des ressources en eau et de l'environnement des mines.

[45] Landolsi Foued. Cours de techniques de surveillance « Etude des principaux défauts ».

[46] Chevalier R., «Etat de l'art de la surveillance et du diagnostic des machines tournantes à EDF», RFM, 2001.

[47] Morel J., «surveillance vibratoire et maintenance prédictive», Techniques de l'ingénieur R 6 100, 2007.

[48] Nélias D., Dumont M.L., Couhier F., Dudragne G., Flamand L., "Experimental and Theoretical Investigation on Rolling Contact Fatigue of 52100 and M50 Steels under EHL or Micro-EHL Conditions", ASME Journal of tribology, (paper n°97- trib-7), Vol. 120, n°2, pp 184-190, 1998.

[49] Nélias D., "Contribution à l'étude des roulements: modélisation globale des roulements et avaries superficielles dans le contact EHD pour des surfaces réelles ou indentées", Habilitation à Diriger des Recherches INSA Lyon, 1999.

[50] Harris T.A., "Rolling Bearing Analysis", 3ème édition, Lavoisier, 1991.

[51] Z. Li, X.Yan, C. Yuan, Z. Peng, L. Li, "Virtual prototype and experimental research on gear multi-fault diagnosis using wavelet-autoregressive model and principal component analysis method", Mechanical Systems and Signal Processing, 25, pp. 2589–2607, 2011.

[52] M. L. Zani, «Mesures mécaniques: surveillance des machines tournantes », guide d'achat, Mesures N° 757, pp.77-84, 2003.

[53] Introduction à la maintenance ISET Nabeul méthode ABC

[54] http://eleydet.free.fr/BTS/exercices/mecanique/stat_ana_plan/convoyeur/index.html. Le 18/04/2022