

Remerciements

Il m'a été très difficile d'écrire cette page par souci d'oublier les nombreuses personnes qu'il faut citer pour leur aide, leur accueil, leur soutien... ! Qu'elles soient toutes assurées de ma plus profonde reconnaissance même si leur nom n'y figure pas !

Je tiens à exprimer mes plus vifs remerciements à monsieur Bachir KERBOUA, mon encadreur, pour l'aide qu'il m'a fournie pendant la préparation de ce mémoire, et pour ses avis toujours éclairés, pour sa grande disponibilité ainsi que son dynamisme et son ouverture d'esprit. J'ai beaucoup appris de lui durant toute la période de l'élaboration de ce projet.

Je remercie monsieur A. BENALLAL, le chef département de la maintenance au niveau de la cimenterie de Béni Saf, pour sa confiance, sa disponibilité et le grand intérêt qu'il m'a toujours manifesté, durant mon stage de PFE.

Mes plus vifs remerciements s'adressent à Monsieur ZINAI Abdelhadi, enseignant au département de mécanique, de m'avoir fait l'honneur d'accepter la présidence de ce jury. QUE Messieurs MANGOUCHE Ahmed et BENALLAL Abdelkrim, acceptent ma profonde reconnaissance d'avoir examiné ce travail.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

A mes parents qui m'ont beaucoup aidé pour terminer mes études, et qui m'ont tellement encouragé moralement et psychiquement, et qui se sont sacrifiés pour moi.

Mes très chers frères Mourad, Mohammed , mes sœurs, et toute la famille Douaimi.

A tous les enseignants du département de Génie Mécanique.

A mes amis : Amine, Hichem, Mourad, Zinou, hamza, Adel, Nadjib, Karim, Islam.

A tous mes amis de la promotion maintenance industrielle (2013-2014) sans préciser leurs noms.

A tous ceux qui m'ont aidé durant ma formation.

DOUAIMI ZAKARJA

Résumé

La maintenance industrielle prend une importance croissante et se révèle être une des fonctions clé de l'entreprise de production moderne. Notre travail est consacré à l'étude théorique et pratique de la fiabilité des équipements au niveau de l'atelier de broyage de la cimenterie de Béni Saf en l'occurrence la maintenance basée sur des méthodes évoluées de fiabilité.

Dans notre projet, nous avons utilisé les lois de la fiabilité et les méthodes d'analyse (AMDEC et ABC) qui sont connues comme des outils d'analyse de la dégradation des équipements. On a fait suivi notre travail par une application de la loi de "Weibull". Afin de concrétiser notre étude, nous avons défini les méthodes graphiques et analytiques pour déterminer les paramètres de défaillance, qui sont utilisés pour l'évaluation du taux de dégradation des équipements et déterminer le type de la maintenance à appliquer.

Enfin, nous avons validé notre mémoire par une étude de cas pratique, en choisissant les organes sensibles des équipements stratégiques de l'atelier broyage du cru au niveau de la cimenterie. Cette étude nous a permis de trouver des résultats en conformité avec la réalité pratique au niveau de l'entreprise, en utilisant un code de calcul évolué.

Mots clés : Diagnostic, Fiabilité, Défaillance, Taux de défaillance, Maintenance industrielle

Abstract

Industrial maintenance is becoming increasingly important and proves to be one of the key business functions of modern production.

Our work is devoted to the theoretical and practical study of the reliability of the equipment at the grinding of cement Beni Saf in this case industrial maintenance based on advanced methods of reliability.

In our project we used the laws of reliability and methods of analysis (FMEA and ABC) which are known tools for analyzing the degradation of equipment, followed by an application of the law "Weibull".

To achieve this study, we defined the graphical and analytical methods to determine the reliability parameters, which are used for assessing the rate of degradation of equipment and determine the type of maintenance required.

Finally, we validated our memory by a practical case study, choosing the sensitive organs strategic workshop equipment raw material grinding at the cement plant.

This study has allowed us to find results consistent with the practical reality at the company, using a computer code developed.

Keywords: Diagnosis, Reliability, failure, failure rate, Industrial Maintenance.

ملخص

الصيانة الصناعية أصبحت ذات أهمية متزايدة و يبرهن على أن تكون واحدة من وظائف الأعمال الرئيسية الحديثة للإنتاج.

ويخصص عملنا للدراسة النظرية والعملية لموثوقية المعدات بورشة السحق في مصنع الاسمنت ببني صاف. فالصيانة الصناعية هناك قائمة على أساليب متقدمة من الموثوقية.

في دراستنا استخدمنا قوانين الموثوقية وطرق التحليل (AMDEC و ABC) التي تعرفها طرق الموثوقية، وعلى وجه الخصوص قانون weibull

لتحقيق هذه الدراسة، حددنا الأساليب البيانية والتحليلية لتحديد المعلومات الموثوقية، والتي تستخدم لتقييم معدل تدهور المعدات وتحديد نوع الصيانة المطلوبة.

وأخيرا، قدمنا دراسة الحالات العملية، واختيار الأجهزة الحساسة الاستراتيجية الموجودة على مستوى ورشة سحق المواد الخام في مصنع الإسمنت.

سمحت لنا هذه الدراسة لإيجاد نتائج منسقة مع الواقع العملي في الشركة باستخدام نظام عددي متقدم.

كلمات البحث : التشخيص، الموثوقية، الفشل، معدل الفشل، الصيانة الصناعية، البرامج المتقدمة للصيانة

Table des matières

Remerciements.....	I
Dédicace.....	II
Résumé.....	III
Table des matières.....	V
Liste des figures..	IX
Liste des tableaux	XI
Liste des symboles.....	XII
Introduction générale.....	2
Chapitre 1 : Présentation et situation de l’entreprise	
1.1. Introduction.....	4
1.2. Présentation de la cimenterie de Béni Saf3.....	4
1.3. Organisation de la cimenterie.....	5
1.3.1. Direction générale.....	5
1.3.2. Direction de finance et comptabilité (D.F.C).....	5
1.3.3. Direction des ressources humaines (D.R.H).....	6
1.3.4. Direction de production.....	6
1.3.4.1. Sous-direction exploitation	6
1.3.4.2. Sous-direction maintenance	6
1.4. Fabrication du ciment.....	8
1.4.1. Constituants.....	9
1.4.2. Processus de fabrication du ciment	10
1.4.2.1. Extraction de la matière première	10
1.4.2.2. Concassage.....	11
1.4.2.3. La pré-homogénéisation.....	12
1.4.2.3. Broyage du cru.....	13
1.4.2.4. Cuisson.....	17
1.4.2.5. Broyage du ciment.....	20
1.4.2.6. Ensachage et expédition	21
1.5. Distribution	22

Chapitre 2 : Etude de la maintenance et de la fiabilité

2.1. Introduction	25
2.2. Description de la maintenance	25
2.2.1. Définitions.....	25
2.2.2. Objectifs de la maintenance.....	26
2.2.3. Stratégie de la maintenance.....	26
2.3. Service maintenance	27
2.3.1 Fonctions du service maintenance.....	27
2.3.1.1. Fonction étude	27
2.3.1.2. Fonction préparation	27
2.3.1.3. Fonction ordonnancement	27
2.3.1.4. Fonction réalisation	27
2.3.1.5. Fonction gestion	28
2.3.2. Domaines d'action du service maintenance	28
2.3.3. Place du service maintenance dans l'entreprise	28
2.3.4. Organisation du service maintenance	29
2.3.4.1. Maintenance centralisée	29
2.3.4.2. Maintenance décentralisée	29
2.3.5. Technicien de maintenance	30
2.3.6. Management de la maintenance	30
2.4. Concepts de la maintenance	30
2.4.1. Événements de l'origine de l'action	30
2.4.2. Méthodes de la maintenance	30
2.4.2.1. Maintenance corrective	31
2.4.2.2. Maintenance préventive	32
2.4.2.2.1. Maintenance préventive systématique	32
2.4.2.2.2. Maintenance préventive conditionnelle	33
2.4.3. Opérations de maintenance.....	35
2.4.3.1. Opérations de maintenance corrective.....	35
2.4.3.1.1. Dépannage.....	35
2.4.3.1.2. Réparation.....	35
2.4.3.2. Opérations de maintenance préventive	36
2.4.3.2.1. Inspections	36
2.4.3.2.2. Visites.....	36

2.4.3.2.3. Contrôles.....	36
2.4.3.2.4. Opérations de surveillance	36
2.5. Cinq niveaux de maintenance.....	36
2.5.1. Premier niveau	37
2.5.2. Deuxième niveau	37
2.5.3. Troisième niveau	37
2.5.4. Quatrième niveau.....	37
2.5.5. Cinquième niveau.....	37
2.6 Méthodes d'optimisation de la maintenance.....	38
2.6.1 Méthode AMDEC	38
2.6.2. Diagramme de « Pareto »	39
2.6.2.1. Présentation	39
2.6.2.2. Construction du diagramme de « Pareto »	39
2.6.2.3 Analyse des résultats	40
2.7 Description de la fiabilité.....	40
2.7.1. Définition	40
2.7.2. Fiabilité et qualité.....	40
2.7.3. Expressions mathématiques de la fiabilité.....	40
2.7.3.1. Fonction de distribution et de répartition.....	40
2.7.4. Estimation de la fiabilité.....	42
2.7.4.1. La fiabilité du composant	42
2.7.4.2. Le taux de défaillance à l'instant (t).....	43
2.7.4.3. Allures typiques des taux de défaillance (λ).....	43
2.7.5. Lois de probabilités usuelles en fiabilité	44
2.7.5.1. Loi exponentielle	44
2.7.5.2. Loi de « Weibull ».....	45
2.8. Conclusion.....	47

Chapitre 3 : Etude de cas au niveau de l'atelier de broyage

3.1. Introduction.....	49
3.2. Sélection de l'atelier stratégique.....	50
3.2.1. Découpage de l'entreprise.....	50
3.2.2. Principe de la méthode de Pareto.....	50
3.2.3. Construction du diagramme de Pareto.....	50

3.3. Sélection de l'équipement critique.....	52
3.3.1. Découpage de l'atelier broyage cru	52
3.3.2. Construction du diagramme de Pareto.....	53
3.4. Sélection des organes critiques.....	54
3.4.1. Description du séparateur.....	54
3.4.1.1. Principe de fonctionnement du séparateur.....	55
3.4.1.2. Caractéristiques principales du séparateur.....	55
3.4.2. Choix des organes.....	56
3.4.3. Décomposition fonctionnelle du séparateur	56
3.4.4. Grille de cotation.....	57
3.4.4.1. Cotation de la gravité (G).....	57
3.4.4.2. Cotation de la fréquence (F).....	58
3.4.4.3. Cotation de la détection (D).....	58
3.4.5. Méthode d'analyse	59
3.4.6. Courbe de criticité.....	60
3.5. Sélection du roulement critique	60
3.5.1. Description de l'arbre de commande.....	60
3.5.2. Choix du roulement.....	61
3.5.3. Description du roulement TIMKEN 94700-94113	62
3.6. Détermination des paramètres de fiabilité de l'organe sélectionné.....	63
3.6.1. Préparation des données historiques.....	63
3.6.2. Détermination des paramètres de Weibull par la méthode graphique	63
3.6.3. Détermination des paramètres de Weibull par la méthode numérique	64
3.6.4. Analyse des résultats.....	65
3.6.5. Résultats de la fiabilité.....	66
3.6.6. Résultats de la répartition.....	67
3.6.7. Résultats du taux de défaillance	68
3.6.8. Résultats de la densité de défaillance.....	69
3.6. Analyse des résultats trouvés.....	70
3.7. Conclusion.....	70
Conclusion générale.....	73
Bibliographie.....	74

Liste des figures

Figure 1.1. Cimenterie de Béni Saf.....	5
Figure 1.2. Organigramme de l'entreprise.....	8
Figure 1.3. Composants du ciment.....	9
Figure 1.4. Extraction des matières premières.....	10
Figure 1.5. Concassage.....	11
Figure 1.6. Stacker.....	12
Figure 1.7. Roue-pelle.....	13
Figure 1.8. Broyage du cru.....	13
Figure 1.9. Broyeur cru.....	14
Figure 1.10. Séparateur dynamique.....	15
Figure 1.11. Séparateur statique.....	15
Figure 1.12. Elévateur à gode.....	16
Figure 1.13. Electro filtre.....	16
Figure 1.14. Différentes étapes de la cuisson.....	17
Figure 1.15. Four rotatif.....	18
Figure 1.16. Filtre à manche.....	19
Figure 1.17. Broyeur à ciment.....	20
Figure 1.18. Expédition.....	21
Figure 1.19. Réseau de distribution.....	22
Figure 2.1. Place du service maintenance dans l'entreprise.....	29
Figure 2.2. Méthodes de la maintenance.....	31
Figure 2.3. Principe de la maintenance conditionnelle.....	33
Figure 2.4. Courbes des fonctions de probabilité.....	41
Figure 2.5. Courbes paramétriques de la fiabilité.....	42
Figure 2.6. Courbe en baignoire du taux de défaillance.....	43
Figure 2.7. Principales propriétés de la distribution exponentielle.....	44
Figure 2.8. Principales propriétés de la distribution de Weibull.....	46
Figure 3.1. Découpage de l'entreprise.....	50
Figure 3.2. Diagramme de PARETO.....	51
Figure 3.3. Découpage de l'atelier broyage de cru.....	52

Figure 3.4. Diagramme de PARETO pour les équipements	54
Figure 3.5. Principe de fonctionnement du séparateur.....	55
Figure 3.6. Décomposition fonctionnelle du séparateur dynamique.....	56
Figure 3.7. Histogramme de la criticité.....	60
Figure 3.8. Roulements de l'arbre de commande.....	68
Figure 3.9. Pourcentage de défaillance des roulements.....	62
Figure 3.10. Roulement TIMKEN 94700-94113.....	62
Figure 3.11. Détermination graphique des paramètres de fiabilité.....	64
Figure 3.12. Droite de Weibull par le code de calcul.....	65
Figure 3.13. Courbes des fiabilités estimées et théorique du roulement.....	66
Figure 3.14. Courbe de fiabilité « code de calcul ».....	66
Figure 3.15. Courbes de répartition estimée et théorique du roulement.....	67
Figure 3.16. Courbe cumulative « code de calcul ».....	67
Figure 3.17. Taux de défaillance du roulement.....	68
Figure 3.18. Taux de défaillance Weibull « code de calcul ».....	68
Figure 3.19. Densité de probabilité de défaillance du roulement.....	69
Figure 3.20. Courbe de la densité de probabilité « code de calcul ».....	69

Liste des tableaux

Tableau 1.1. Les étages de préchauffeur.....	18
Tableau 1.2. Ventes au cours des années (2009- 2013).....	23
Tableau 2.1. Fonctions du service maintenances.....	27
Tableau 3.1. Tableau de classement des ateliers	51
Tableau 3.2. Classement des équipements.....	53
Tableau 3.3. Grille de cotation de la gravité.....	57
Tableau 3.4. Grille de cotation de la fréquence.....	58
Tableau 3.5. Grille de cotation de la détection.....	58
Tableau 3.6. Analyse et cotation du séparateur.....	59
Tableau 3.7. Classement des roulements par défaillance.....	61
Tableau 3.8. Dimension du roulement	62
Tableau 3.9. Préparation des données historiques.....	63
Tableau 3.10. Tableau des résultats.....	65

Liste des symboles

AMDEC : Analyse des modes de défaillances et études des criticités

MTBF : Mean Time Between Failures (Moyenne des temps de bon fonctionnement)

OMF : Optimisation de la maintenance par la fiabilité

MBF : La maintenance basée sur la fiabilité

TPM : LA maintenance productive totale

MTTR : Mean Time To Repair (Moyenne des Temps Techniques de Réparation)

MTTA : Mean Time of Trrival (Moyenne des Temps Techniques d'Arrêt)

TBF : Temps de bon fonctionnement avant la première défaillance[h]

$\lambda(t)$: Taux de défaillance.

$\mu(t)$: Taux de réparation.

$N(t)$: Le nombre de systèmes survivants à l'instant t

$F(t)$: Fonction de répartition [%]

m : Indice

N : Nombre d'éléments à l'instant (t_0)

$R(t)$: Fiabilité au temps t [%]

T : variable aléatoire « durée de vie » [h]

t : l'instant (t)

β : Paramètre de forme de la loi de "weibull"

η : Paramètre d'échelle de la loi de "weibull"[h]

γ : Paramètre de position de la loi de "weibull"[h]

G : indice de la gravité

F : indice de la fréquence

D : indice de la détection

C : indice de la criticité

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

Le développement de l'industrie exige un system de suivi et de diagnostic qui permet d'améliorer le travail, accélérer les rythmes de productivité, augmenter les produits de qualité et diminuer les couts de la maintenance.

L'application de la maintenance dans l'industrie d'aujourd'hui doit être nécessaire pour augmenter la qualité et la quantité de production. De plus, la qualité du produit fabriqué est elle-même tributaire de la fiabilité des équipements.

Les objectifs de cette étude au niveau de la cimenterie de Béni Saf consiste à :

- Sélectionner les organes étudiés par des méthodes d'analyse « ABC » ; « AMDEC » et à partir des données opérationnelles.
- Déterminer les paramètres de la fiabilité en utilisant le modèle de "Weibull".
- Choisir la politique de la maintenance à appliquer aux équipements en exploitation.

Le mémoire est structuré en trois chapitres :

- ✓ Le premier chapitre est consacré à la présentation de l'entreprise « S.C.I.B.S » et à un bref aperçu sur le procédé de fabrication du ciment, en citant tous les ateliers de la chaîne de production.
- ✓ Dans le deuxième chapitre, on définit les principes de la maintenance et ses grandeurs de bases, en citant quelques lois de distributions utilisées en fiabilité, en particulier la loi exponentielle et la loi de "Weibull"; ainsi que les méthodes graphiques et analytiques pour la détermination les paramètres fondamentaux.
- ✓ Dans le troisième chapitre on met en application une étude de cas pratique sur un équipement stratégique dans l'atelier de la préparation de cru pour la fabrication du ciment.

A la fin de ce mémoire on porte une conclusion générale.

CHAPITRE 1

PRESENTATION ET SITUATION DE L'ENTREPRISE

CHAPITRE 1 PRÉSENTATION ET SITUATION DE L'ENTREPRISE

Le présent chapitre donne une vision globale sur l'entreprise de la cimenterie de Béni Saf (S.C.I.B.S). On présentera dans la première partie l'entreprise et sa organisation actuelle. Dans la deuxième partie, on présentera le processus de la fabrication du ciment.

1.6. Introduction

Le ciment est un liant hydraulique, c'est une matière qui a les propriétés qui permettent de regrouper les matériaux de construction. Au départ, le ciment n'était pas fabriqué en cimenterie mais tout simplement il était fabriqué par de la chaux avec des cendres volcaniques appelées pouzzolanes. Dans beaucoup de régions, la chaux est un matériau connu depuis de longues dates, obtenu par des cuissons de pierres calcaires suivies d'extinction, lorsque celle-ci est très pure, on obtient de la chaux grasse qui durcit lentement dans l'air sans jamais développer une forte résistance. Par contre, si la pierre en calcaire contient de l'argile, elle peut atteindre une cuisson de chaux plus ou moins hydraulique qui durcit également sous l'eau en développant une résistance supérieure à celle de la chaux grasse [1].

1.2. Présentation de la cimenterie de Béni Saf

Dans le cadre de son plan d'investissement, l'entreprise « E.R.C.O » (le *groupe des ciments de l'Ouest*) a confié en décembre 1974 à l'entreprise CLE (Creusot Loire) la réalisation de la cimenterie de Béni Saf, qui devient opérationnelle qu'à partir du 14/11/1978. La cimenterie était sous la direction de l'entreprise mère dénommée S.N.M.C (Société Nationale des Matériaux de Construction) située à Alger.

La cimenterie est située à 4 km à l'est de Béni Saf, à une altitude de 185 m et, s'étale sur une superficie de 42 hectares, dont 20 hectares sont bâtis. Elle est devenue une entreprise autonome en février 1979. Les deux gisements de calcaire et argile sont situés au sud de Béni Saf. L'énergie électrique nécessaire à la production est fournie par deux lignes de 60 KV. L'usine est pratiquement implantée sur deux niveaux :

- Le premier niveau regroupe les équipements de production de ciment.
- Un second niveau regroupe la plate-forme essentiellement réservée à l'ensachage et à l'expédition.

Les équipements de production de clinker, broyage cru, homogénéisation et cuisson, sont implantés en ligne. Parallèlement à cette ligne, sont situés : l'atelier, le magasin, le stockage

des ajouts et le hall de pré- homogénéisation. Les broyeurs clinker et la salle de commande sont implantés au centre de l'usine.

La cimenterie de Béni Saf a une capacité nominale de production de 36 000 t / jour. Le ciment de l'entreprise est de référence (CPJ-CEM II A/42, 5 NA 442/2000) c'est un ciment nommé portland obtenu par le mélange finement broyé de clinker et d'ajouts. Le sulfate de calcium est ajouté sous forme de gypse en tant que régulateur de prise [1].



Figure 1.1. Cimenterie de Béni Saf

1.3. Organisation de la cimenterie

La société de cimenterie de Béni Saf (S.C.I.B.S) regroupe quatre directions

1.3.1. Direction générale

Gérée par un président directeur général, elle est chargée de la gestion, l'organisation et la coordination entre les directions de la cimenterie.

1.3.2. Direction de finance et comptabilité (D.F.C)

Chargée de la gestion financière, de l'établissement de la paie et de la comptabilité. Elle comprend les départements suivants

- Département de comptabilité analytique
- Département de comptabilité générale
- Département de budget et trésorerie

1.3.3. Direction des ressources humaines (D.R.H)

La direction des ressources humaines est chargée de la gestion de l'administration, gestion de carrière du personnel et l'application de la réglementation. Elle comprend deux services [1].

- Le service du personnel
- Le service des moyens généraux

1.3.4. Direction de production

Chargée de la production et de la gestion de production, elle est aussi divisée en deux sous-directions

- Sous-direction exploitation
- Sous-direction maintenance

1.3.4.1. Sous-direction exploitation

Chargée de la fabrication du produit, le suivi du processus de production et l'exploitation de la matière première. Elle comprend deux sous-départements

a) Département fabrication

Ce département comprend les quatre services

- Service fabrication
- Service exploitation
- Service environnement
- Service laboratoire

b) Département matière première

Il comprend deux services

- Service matière première
- Service entretien engins roulants

1.3.4.2. Sous-direction maintenance

Elle gère les problèmes de la maintenance et de l'investissement et comprend deux départements

- Département maintenance
- Département bureau d'études et méthodes

a) Département maintenance

Il assure l'exécution des travaux de maintenance de toutes les installations de la cimenterie, en assurant les ensembles des opérations de dépannage et d'entretien. Les services de ce département sont

- Service mécanique d'entretien
- Service électrique
- Service utilités
- Service de contrôle, mesure et régulation (C.M.R)

b) Département bureau des méthodes

Il est chargé de la gestion, étude, préparation, ordonnancement et lancement.

Il comprend les services suivants

- Service magasin général (Gestion de stock)
- Service approvisionnement
- Service visite
- Service méthodes
- Service étude et réalisation

L'atelier de mécanique est lié directement au service d'études, il est chargé d'exécution des ordres de travail et comprend deux sections

- Section usinage
- Section chaudronnerie

Le département bureau des méthodes gère encore les tâches suivantes

- Rapport de visite
- Fiche d'incidents

Toute information ramenée par d'autres structures sont prises en charge et exploitées. Le bureau des méthodes doit établir un programme de travail selon le modèle ci dessous

- Lancement des travaux en urgence
- Programme hebdomadaire
- Programme grand arrêt

Tout ordre de travail doit être saisi en cas de problème dans un dispositif répétitif, on a recourt à l'historique pour mieux étudier le problème.

L'organigramme actuel de l'entreprise est représenté selon la figure 1.2

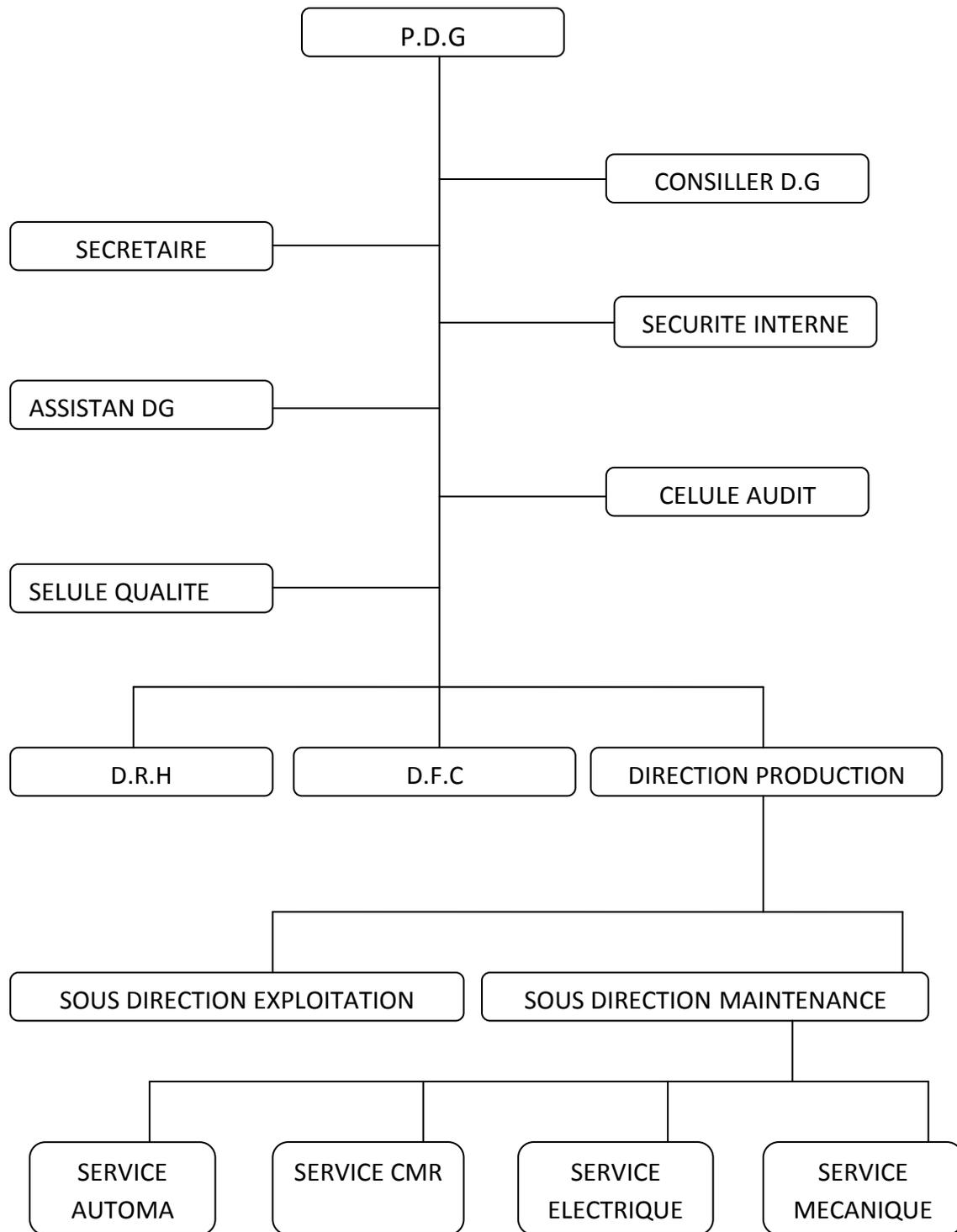


Figure 1.2. Organigramme de l'entreprise

1.4. Fabrication du ciment

Le ciment est un liant hydraulique constitué d'une poudre minérale, d'aspect grisâtre, obtenue par broyage et cuisson à 1450°, d'un mélange de calcaire et d'argile. Le produit de la cuisson ; appelé clinker ; forme une combinaison de chaux, de silice d'alumine et d'oxyde ferrique. Le ciment résulte d'un broyage de clinker et de sulfate de calcium ajouté [3].

1.4.1. Constituants

Le ciment de Béni Saf est composé de 80% de Clinker, 15 (\pm 5 %) de pouzzolane naturelle, de sulfate de calcium et des additifs [3].

➤ Clinker

C'est un matériau hydraulique constitué, d'au moins deux tiers ($2/3$) de silicates de calcium C_3S et C_2S . La partie restante contenant des silicates d'aluminium et de fer C_3Al , Ferrite C_4AF et d'autres oxydes. Le clinker portland est obtenu par cuisson d'un mélange homogène de matière crue contenant CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 et de petites quantités d'autres matières, comme.

➤ Pouzzolane naturelle

C'est une substance d'origine volcanique composée essentiellement de SiO_2 réactif, de Al_2O_3 , de Fe_2O_3 et ayant naturellement des propriétés pouzzolaniques.

➤ Sulfate de calcium

Le sulfate de calcium sous forme de gypse est ajouté à raison de 5% aux autres constituants du ciment en cours de sa fabrication, en vue de réguler la prise.

➤ Additif

Un adjuvant ou agent de mouture destiné à favoriser le broyage du ciment est ajouté au cours du broyage du ciment. Les composants du ciment sont représentés dans la figure 1.3



Figure 1.3. Composants du ciment

1.4.2. Processus de fabrication du ciment

Le processus de fabrication du ciment comprend six grandes étapes

- L'extraction des minerais
- Le concassage
- La pré-homogénéisation et le stockage
- Le séchage et le broyage
- La cuisson
- Le broyage

Dans ce qui suit, on présente les différentes étapes

1.4.2.1. Extraction de la matière première

L'extraction consiste à extraire du calcaire et de l'argile à partir de la carrière. Ces matières premières sont extraites des parois rocheuses par de l'explosif ou à la pelle mécanique. La roche est acheminée par des dumpers ou des bandes transporteuses vers un atelier de concassage. Les matières premières doivent être échantillonnées, dosées et mélangées de façon à obtenir une composition régulière dans le temps [3].



Figure 1.4. Extraction de la matière première [3]

1.4.2.2. Concassage

L'opération de concassage a pour but de réduire la granulométrie des blocs de pierre en fragments de faibles dimensions (25 à 40 mm). Elle assure également un certain mélange des matières premières arrivant de la carrière et contenant de fortes proportions d'argile, de fer et de traces d'autres éléments. En effet, ils sont transportés par les camions puis déchargés dans une trémie reliée à un alimentateur à vitesse variable qui permet de réguler le débit d'alimentation [3].



Figure 1.5. Concassage [3]

- Caractéristiques du concasseur

L'opération de concassage est la deuxième opération après l'extraction de la matière première. Dans ce qui suit nous présentons les caractéristiques du concasseur employé par l'entreprise

- Concasseur à percussion, constructeur : HAZEMAG
- Dimensions : 1200 x 1000 x 600 mm
- Puissance : 1200 KW (primaire) + 1600 KW (secondaire)
- Débit moyen : 800 à 1200 t/h selon le pourcentage d'humidité
- Dépoussiérage : Filtre à manche VIM
- Débit gaz traité : 50 000 m³ / h à température ambiante
- Surface filtrante : deux caissons de 266 manches (130 x 3000 mm) [2].

1.4.2.3. Pré-homogénéisation

Le mélange concassé est déversé en couche parallèle par un Stacker (Figure 1.6) pour constituer un tas de 30 000 à 35 000 tonnes. Une roue-pelle (Figure 1.7) reprend le mélange d'un autre tas formé précédemment, pour l'envoyer à la demande dans des trémies d'alimentation des broyeurs sécheurs. Une station d'échantillonnage située en amont permet de rectifier à la demande l'envoi de calcaire (disposition différente d'un couloir à l'autre dans la carrière) et de connaître la composition chimique moyenne. L'atelier pré-homogénéisation de la S.C.I.B.S [1, 3].



Figure 1.6. Stacker [4]

- Débit : 1 500 t/h au maximum
- Largeur de la courroie : 1 400 mm
- Transporteur de flèche : Longueur 21 500 mm ; hauteur : 6 000 mm
- Puissance : 55 KW à 1 500 tr/mn
- Vitesse : 2.1 m/s
- Débit : 350 t/h
- Diamètre de la roue : 3 750 mm
- Nombre de godets, capacité d'un godet : 8 x 160 dm³
- Vitesse de rotation : 6 tr/mn
- Hauteur d'élévation : 4 000 mm
- Vitesse de la courroie : 2.1 m/s



Figure 1.7. Roue-pelle [4]

1.4.2.4. Broyage du cru

Les matières premières pré-homogénéisées doivent être finement broyées pour être chimiquement plus réactive au cours de leur cuisson dans le four. Elles passent donc dans des doseurs alimentant un broyeur sécheur (il ne doit pas pratiquement subsister des particules de dimensions supérieures à 0.2 mm). La fonction du séchage est nécessaire car le broyage ne peut s'effectuer que dans la mesure où la matière ne s'agglomère pas sous l'effet conjugué de l'humidité et du compactage des produits par les outils de broyage [1, 3].

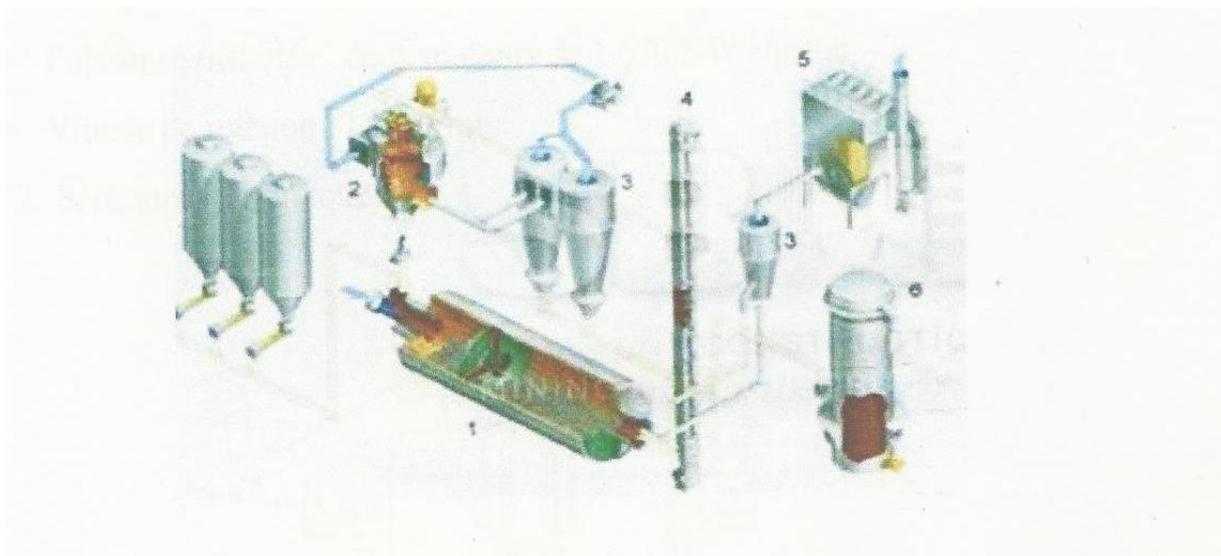


Figure 1.8. Broyage du cru [1]

En plus du séchage et de la fragmentation, le broyeur assure un mélange intime entre les différents minerais apportés par la matière première et les ajouts de correction en faibles proportions. A la fin du broyage, la matière est dirigée vers un séparateur qui sélectionne les particules selon leur grosseur. L'atelier broyage du cru se compose des éléments suivants

a) Broyeur : Bi-rotateur

Le broyeur cru est un système caractérisé par

- Diamètre intérieur de la virole : 5 000 mm
- Nombre de compartiments : 03 chambres de séchage + 2 compartiments
- Longueur de la chambre de séchage : 3 400 mm
- Longueur du premier compartiment : 3 750 mm
- Longueur du deuxième compartiment : 4 750 mm
- Charge du corps broyant de la 1^{ère} chambre : 89 tonnes
- Charge du corps broyant de la 2^{ème} chambre : 112 tonnes
- Puissance installée : deux moteurs de 1650 KW chacun
- Vitesse de rotation : 14.2 tr/mn [3].

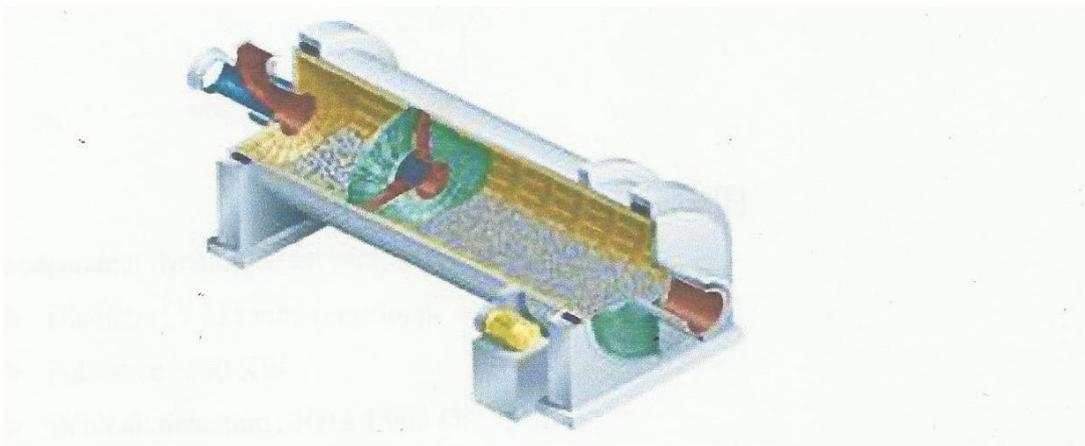


Figure 1.9. Broyeur cru [3]

b) Séparateur dynamique

Le séparateur dynamique est caractérisé par

- Diamètre : 7 135 mm (enveloppe extérieure)
- Puissance : 560 KW
- Débit d'alimentation : 700 à 1 000 t/h
- Débit du produit fini : 270 t/h

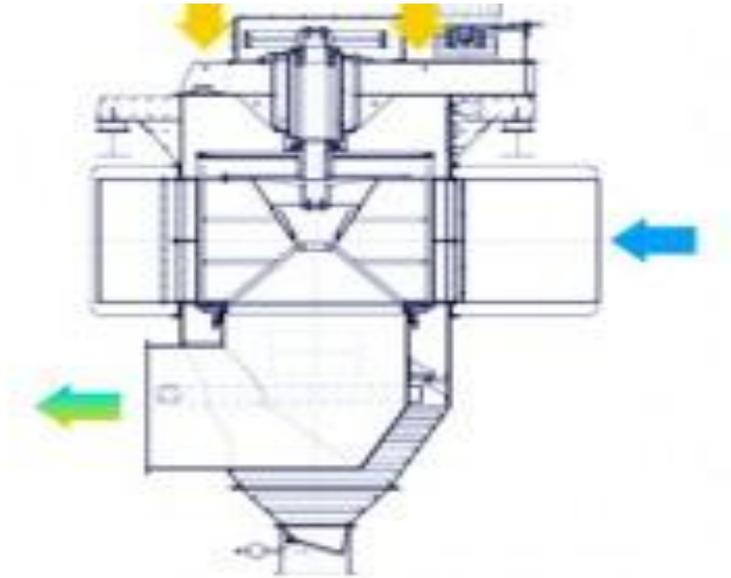


Figure 1.10. Séparateur dynamique [3]

c) Séparateur statique

Le séparateur statique est caractérisé par

- Diamètre : 7 500 mm (virole) et 600 mm cyclones (interne)
- Batterie de quatre cyclones de 3 200 mm de diamètre et de 8 000 mm de hauteur
- Débit des gaz passants : $270\,000\text{ mm}^3/\text{h}$

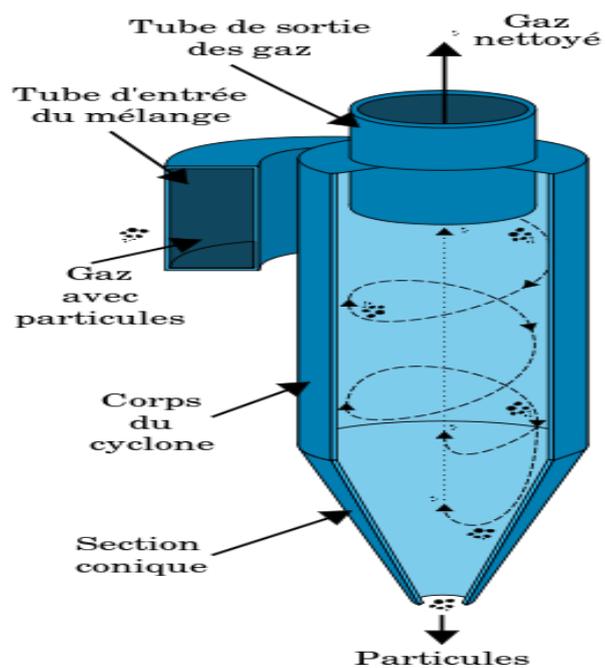


Figure 1.11. Séparateur statique [3]

d) Elévateur à godet

L'élévateur à godet est caractérisé par un débit de $2 \times 600 \text{ t/h}$

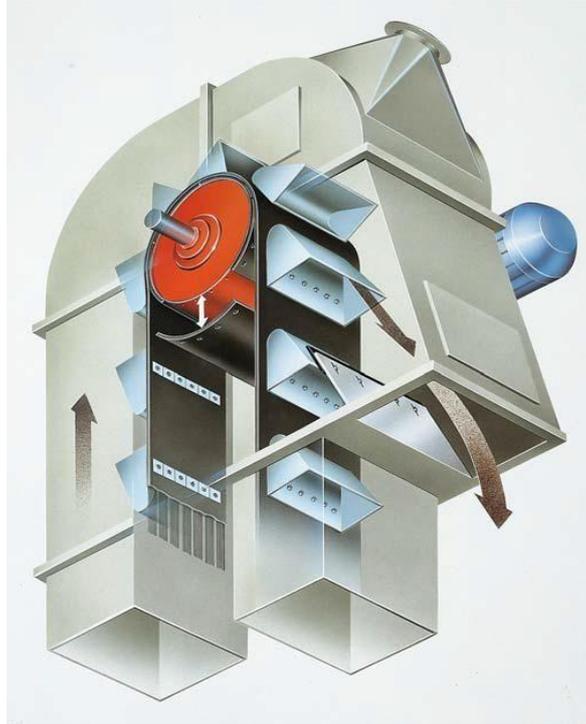


Figure 1.12. Elévateur à godet [3]

e) Electro filtre

L'électro filtre est un système caractérisé par

- Surface collectrice développée : $5\,200 \text{ m}^2$
- Taux de poussière à la sortie $50 \text{ mg} / \text{nm}^3$

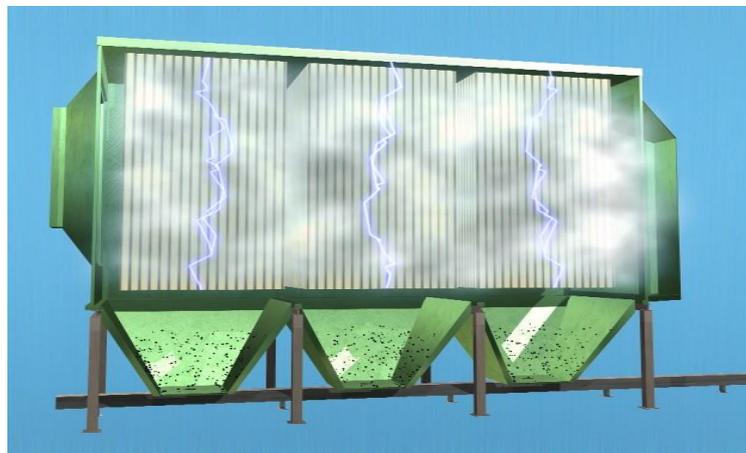


Figure 1.13. Electro filtre [3]

f) Silos d'homogénéisation

- Diamètre intérieur : 18 100 mm
- Hauteur totale : 41 700 mm, hauteur utile : 35 700 mm
- Capacité : 2 x 10 000 tonnes
- Débit de soutirage 2 x 150 T/h

1.4.2.5. Cuisson

On entend par cuisson le processus de transformation de la matière crue en clinker par un apport thermique suffisant pour obtenir des réactions chimiques complètes conduisant à l'élimination presque totale de la chaux non combinée. Pour améliorer le bilan thermique, des échangeurs à cyclone sont utilisés en amont du four pour préchauffer la farine à une température aux environs de 900° C. La figure 1.14 présente les différentes étapes de la cuisson [3].

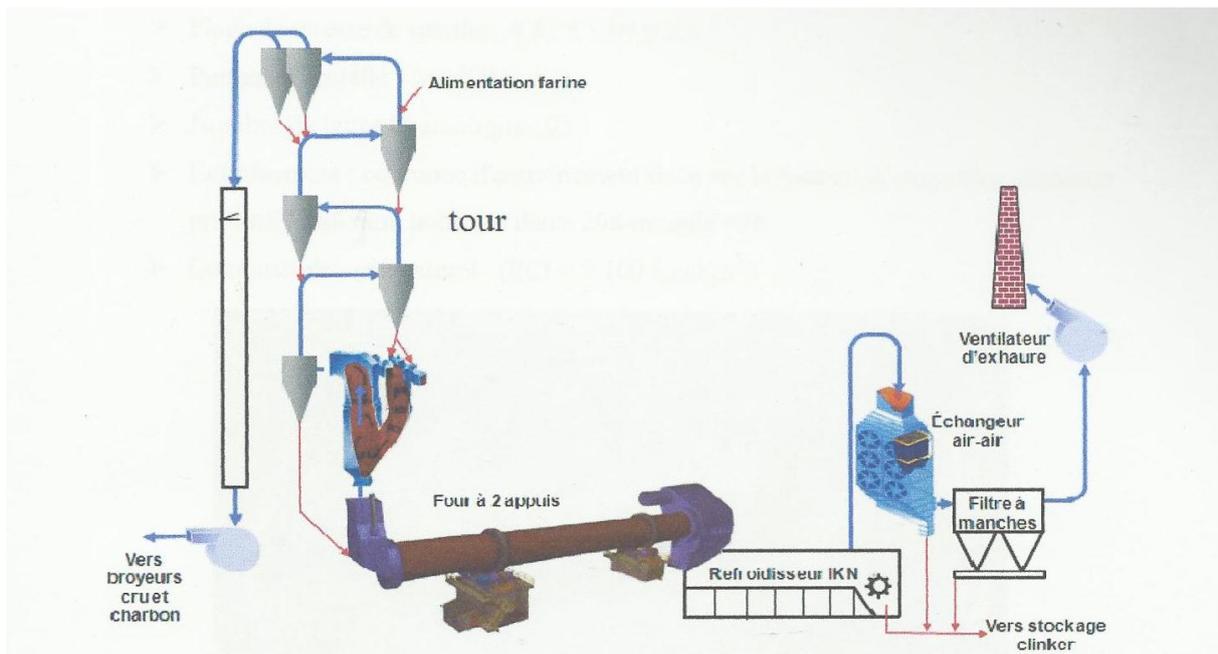


Figure 1.14. Différentes étapes de la cuisson

Le transfert de la chaleur dans les cyclones est dû à l'échange entre les gaz chauds sortant du four et le cru circulant à contre-courant, ce qui permet la décarbonatation du carbonate de calcium pour donner la chaux (CaO) avec dégagement du gaz carbonique (CO₂). Ce processus est appelé pré-calcination. Dans ce qui suit nous présentons les différentes composantes de l'atelier de cuisson avec les caractéristiques de chaque composante [3].

a) Préchauffeur

Le préchauffeur est un système comprenant quatre étages appelés cyclons (C)

CYCLONE	C1	C2	C3	C4
Diamètre (en m)	3,35 m	6,5 m	6,5 m	6,5 m
Hauteur totale (en m)	7,15 m	6,25m	6,25 m	6,25 m

Tableau 1.1 Les étages de préchauffeur

b) Four rotatif

La figure 1.15 présente une image du four rotatif employé par l'entreprise. Les caractéristiques du four sont données ci-dessous

- Diamètre : 5.4 m / 5.7 m
- Longueur : 90 m
- Plage de vitesse de rotation 0.82 à 1.96 tr / mn
- Nombre des butées hydrauliques : 02
- Entraînement : Couronne d'entraînement fixée sur le four en deux parties, diamètre primitif est de 7 488 mm, nombre de dents est de 208
- Combustible : gaz naturel (PCI = 9 100 Kcal / m³)



Figure 1.15. Four rotatif

c) Refroidisseur

Après la sortie du four, le mélange subit une étape de refroidissement. Le refroidisseur employé a les caractéristiques suivantes [1].

- Nombre de grilles : 03
- Surface des grilles : 110 m²

- Largeur utile des grilles : 3 500 mm
- Débit nominal de clinker refroidit : 3 000 T/j
- Débit d'avalanche admissible : 4 000 T/j
- Débit nominal en air de refroidissement : 375 000 mm³/h
- Excédent (air exhaure) : 255 000 mm³/h

d) Ventilateur

Le système utilise deux ventilateurs d'exhaure. Leurs caractéristiques sont comme suit

- Débit d'air 155 000 mm³/h
- Vitesse de rotation : 965 tr/mn
- Diamètre de la turbine : 2 250 mm
- Puissance du moteur : 450 KW

e) Filtre à manche

Pour des raisons environnementales et économiques, la production du ciment nécessite la présence d'un système de filtration. La figure 1.16 présente une image du filtre à manche employé par l'entreprise « S.C.I.B.S ».

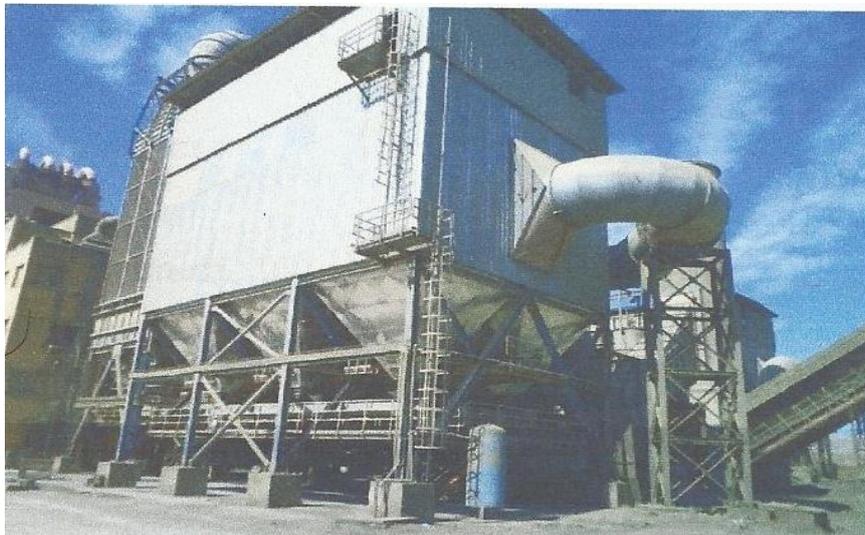


Figure 1.16. Filtre à manche

1.4.2.6. Broyage du ciment

Cette zone comporte deux broyeurs, un séparateur et un électro filtre. Le broyage du ciment (Figure 1.17) est assuré par deux broyeurs à boulet (débit 90 t/h) en circuit fermé d'une puissance de 3 400 KW, équipé de séparateurs dynamiques, ces derniers sont alimentés par des élévateurs à godets de 400 t/h. L'air de ventilation du broyeur est épuré par un électro filtre. L'évacuation du ciment vers les silos de stockage est assurée par une pompe pneumatique. Les dispositifs utilisés par l'entreprise « S.C.I.B.S » et formant la zone de broyage ont les caractéristiques suivantes

a) Broyeur

Le broyeur est caractérisé par

- Diamètre : 4 m
- Nombre de compartiments : 02
- Longueur utile de la 1^{ère} chambre : 4 250 mm
- Longueur utile de la 2^{ème} chambre : 9 750 mm
- Charge de corps broyant de la 1^{ère} chambre : 67 tonnes
- Charge de corps broyant de la 2^{ème} chambre : 155 tonnes
- Vitesse de rotation : 15.7 tr/mn
- Puissance installée du broyeur : 3 200 KW
- Type de réducteur : Planétaire
- Attaque centrale : accouplement denté entre le broyeur et le réducteur, et entre le moteur et le réducteur



Figure 1.17. Broyeur à ciment

b) Séparateur dynamique

Le séparateur dynamique est caractérisé par

- Séparateur à air type ZUB 45 WEDAG
- Diamètre de l'enveloppe : 4 500 mm
- Plage de vitesses du plateau : 55 – 220 tr/mn
- Puissance absorbée du plateau : 110 – 115 KW

c) Electro filtre

L'électro filtre est caractérisé par

- Un électro filtre à deux champs par broyeur
- Débit du gaz traité : 33 000 nm³/h
- Ventilateur après filtre d'une puissance de : 75 KW

1.4.2.7. Ensachage et expédition

A la sortie du broyeur, le ciment est transporté vers des silos de stockage (figure 1.18) à partir desquels il est expédié soit en sacs, soit en vrac, par camions ou par voie ferrée.

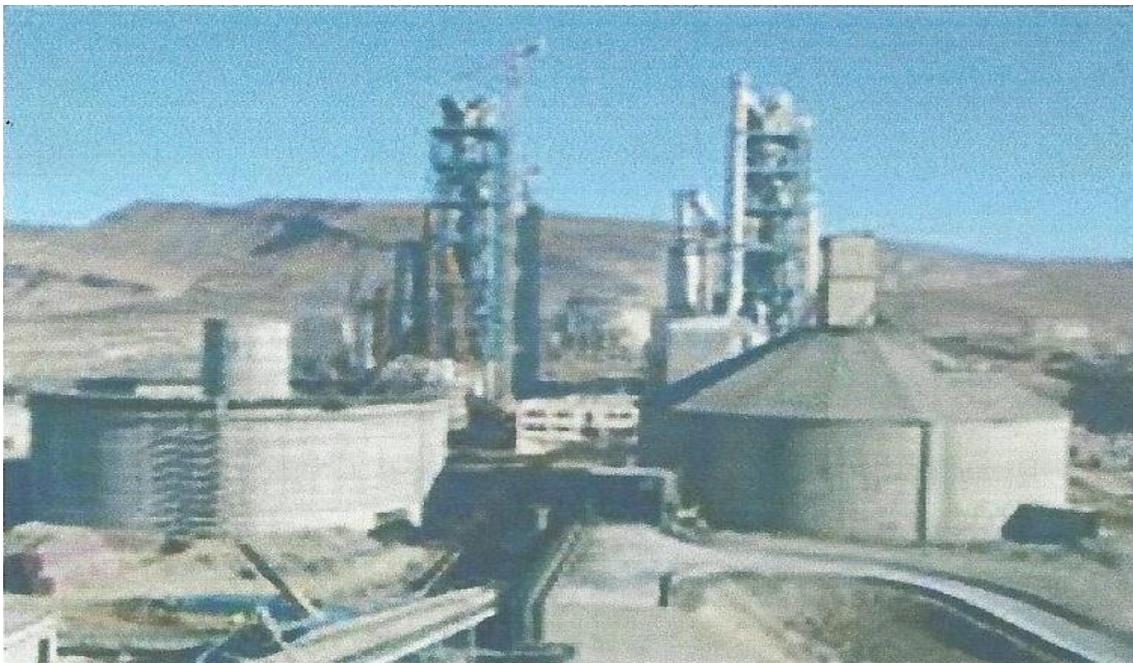


Figure 1.18. Expédition

1.5. Distribution

La cimenterie de Béni Saf (S.C.I.B.S) a la conviction que sa performance ne peut être durable que si elle associe la rentabilité économique et la qualité de vie des communautés dans lesquelles le groupe opère. Le développement durable vise à assurer le succès de l'entreprise à long terme. Une entreprise industrielle comme « S.C.I.B.S » ne peut allonger sa durée que si elle s'inscrit dans le développement durable. Elle est devenue l'une des plus performantes unités de production dans le pays en termes de capacité de production qui couvre une bonne partie du territoire national. La figure 1.19 présente le réseau de distribution.

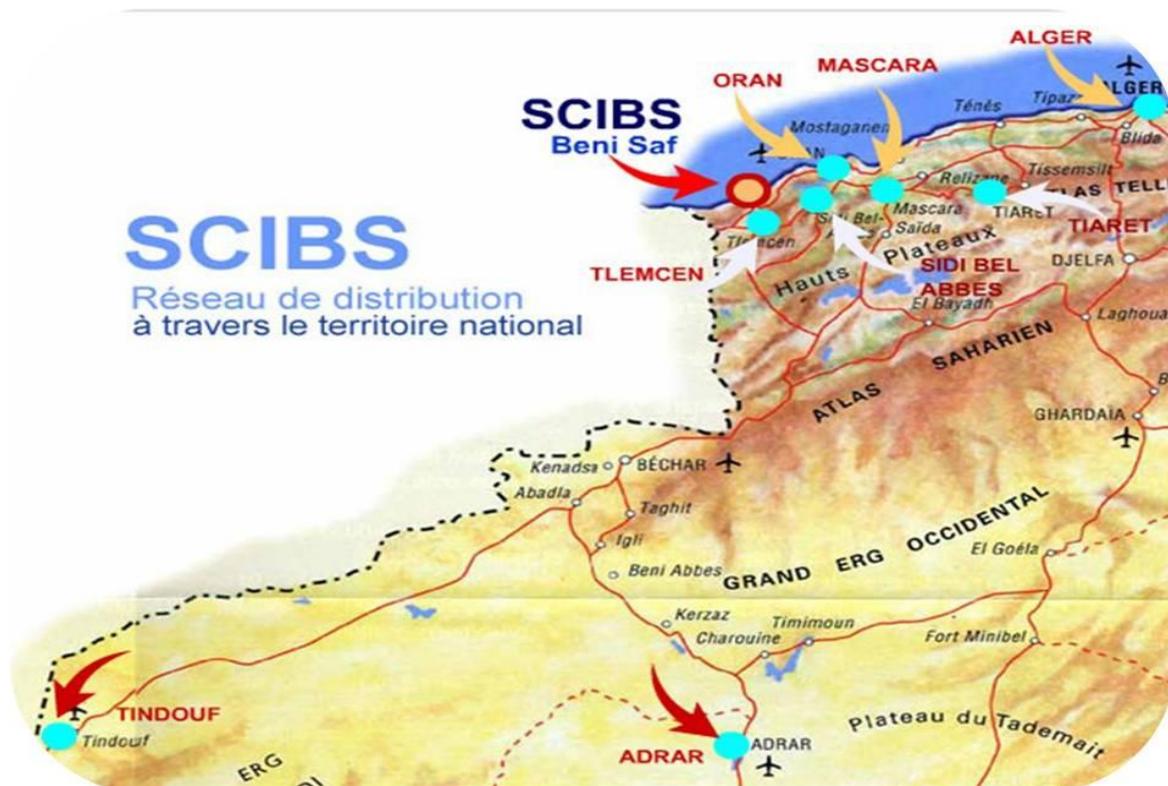


Figure 1.19. Réseau de distribution [3]

La capacité de production de l'usine est passée à plus de 1 200 000 tonnes de ciments en 2011 et ainsi elle vient de pulvériser les records d'expédition des exercices antérieurs. Cette performance vient confirmer le bien-fondé de la stratégie adoptée par la S.C.I.B.S. Le tableau suivant détaille les ventes réalisées au cours de l'année 2013 [3].

Année	Clinker (tonne)	Ciment (tonne)	Expédition (tonne)
2009	1 034 921	1 205 650	1 206 325
2010	1 012 315	1 163 302	1 128 886
2011	964 551	1 040 541	1 049 217
2012	1 083 841	1 147 385	1 154 409
2013	1 124 924	1 205 650	1 206 325

Tableau 1.2. Ventes au cours des années (2009- 2013)

CHAPITRE 2

ETUDE DE LA MAINTENANCE ET DE LA FIABILITE

CHAPITRE 2 ETUDE DE LA MAINTENANCE ET DE LA FIABILITÉ

2.1. Introduction

La maintenance s'inscrit parmi les contraintes que rencontre tout exploitant d'une installation industrielle. Plus généralement, une installation de production nécessitant un ensemble de moyens matériels et humains n'est en mesure d'assurer le service qu'on lui demande qu'après avoir surmonté diverses contraintes. Parmi ces contraintes, la maintenance des équipements de production et l'optimisation de leur durée de vie. Construire une usine ou un atelier ne sert à rien en l'absence de production significative, de personnel qualifié, ou d'un système d'organisation permettant le maintien en bon état des installations [5].

Les installations et les équipements tendent à se détériorer dans le temps sous l'action des causes multiples, telles que l'usure, la déformation due au fonctionnement ou l'action des agents corrosifs (agents chimiques, atmosphères, etc.). Ces détériorations peuvent provoquer l'arrêt de fonctionnement qui diminue les capacités de production et mettre en péril la sécurité des biens et des personnes et, ainsi provoquer des rébus et diminuer la qualité, augmenter les coûts de fonctionnement (augmentation de la consommation d'énergie, etc.) et diminuer la valeur marchande des ces moyens. On doit effectuer des opérations de dépannage, graissage, visite, réparation, amélioration etc., qui permettent de conserver le potentiel du matériel pour assurer la continuité et la qualité de la production. Bien maintenir c'est aussi assurer les opérations d'exploitation au coût global optimal.

Aujourd'hui la maîtrise de la disponibilité des biens, des matériels et des équipements industriels, permet à l'industrie d'agir sur la régularité de la production, sur les coûts de fabrication, sur la compétitivité et sur le succès commercial. Pour vendre plus et mieux, il s'agit non plus seulement de proposer un meilleur mode de conduite de l'installation mais de garantir à l'exploitant un mode d'intervention rapide, une mise en place de détection et de diagnostic de défaillances, en un mot, il faut assurer une maintenance de qualité permettant d'atteindre la production optimum.

2.2. Description de la maintenance

2.2.1. Définitions

La fonction maintenance est définie par la norme AFNOR NF-X-60-010, comme celle qui consisterait à maitre en œuvre tous les moyens disponibles pour maintenir les machines en bon état de fonctionnement, jusqu'au moment où elles doivent être retirées du service

L'AFNOR définit la maintenance «Comme étant ; l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié et en mesure d'assurer un service déterminé dans un temps déterminé »

Le terme maintenir renferme la notion de prévention sur un système en fonctionnement, tandis que rétablir supporte la notion de correction après défaillance [6].

➤ Le projet "CEN" (Comité Européen de Normalisation) définit la maintenance 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 ». On remarque l'apparition d'un nouveau concept ; le projet européen ajoute une idée intéressante : les actions de la maintenance se rapportent au cycle de vie des matériels, ce qui implique une vision à moyen et à long terme de la stratégie de maintenance [6].

2.2.2. Objectifs de la maintenance

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

- la disponibilité et la durée de vie du bien
- la sécurité des hommes et des biens
- la qualité des produits
- la protection de l'environnement
- l'optimisation des coûts de maintenance

La politique de la maintenance conduit, en particulier, à faire des choix entre la maintenance corrective et préventive (systématique ou conditionnelle) [5].

2.2.3. Stratégie de la maintenance

La stratégie de la maintenance est une méthode de management utilisée en vue d'atteindre les objectifs de la maintenance. Les choix de la stratégie de la maintenance permettent d'atteindre un certain nombre d'objectifs de maintenance

- Développer, adapter ou mettre en place des méthodes de maintenance
- Elaborer et optimiser les gammes de maintenance
- Organiser les équipes de maintenance
- Internaliser et/ou externaliser partiellement ou totalement les tâches de maintenance
- Définir, gérer et optimiser les stocks des pièces de rechange et des consommables

▪ Etudier l'impact économique (temps de retour sur l'investissement) de la modernisation ou de l'amélioration de l'outil de production en matière de productivité et de maintenabilité [5].

2.5. Service maintenance

2.3.1 Fonctions du service maintenance

Les fonctions du service maintenance présentés dans le tableau 2.1

Le sfon ction sde la maintenance	Etude
	Préparation
	Ordonnancement
	Réalisation
	Gestion

Tableau 2.1. Fonctions du service maintenances

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

Voici la liste des différentes tâches dont un service maintenance peut avoir la responsabilité

- 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
- L'entretien général des bâtiments administratifs ou industriels, des espaces verts, des véhicules,... ce qui prouve le bien-fondé d'une formation polyvalente

2.3.3. Place du service maintenance dans l'entreprise

Les installations et les équipements tendent à se détériorer dans le temps sous l'action de causes multiples : usures, 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 [7], voir figure 2.1

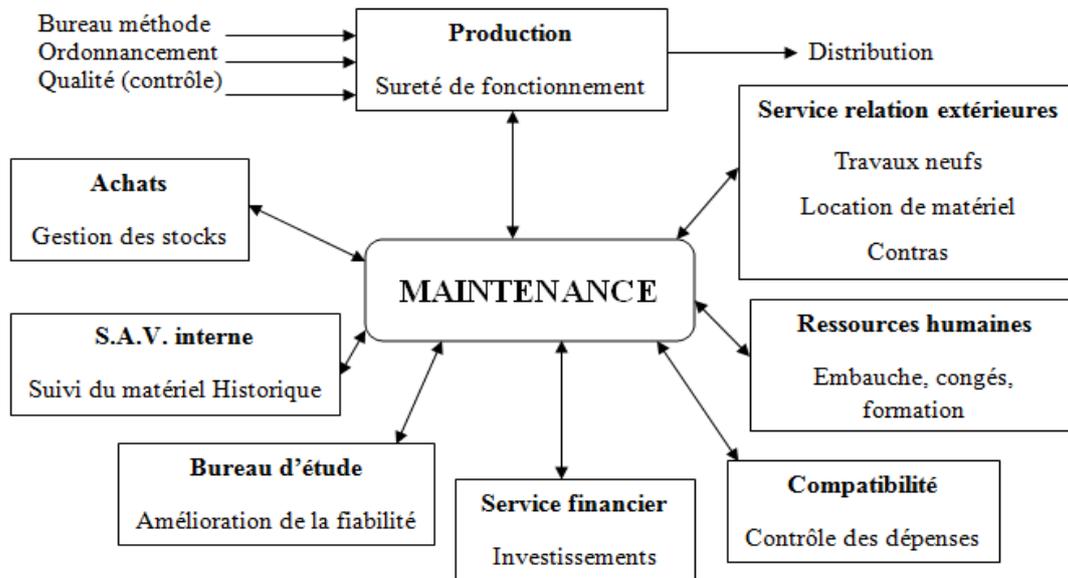


Figure 2.1. Place du service maintenance dans l'entreprise [7]

2.3.4. Organisation du service maintenance

Deux types d'organisation peuvent être mises en place selon la spécificité et la taille de l'entreprise [7].

2.3.4.1. 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

2.3.4.2. 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
- Définir les frais réels de maintenance par poste de travail.

2.3.5. 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 compacte [8].

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.

2.3.6. Management de la maintenance

Le management de la maintenance est à la charge d'une (ou plusieurs) personne(s) désignée(s) dont les responsabilités et les autorités doivent être définies. Les objectifs de la maintenance sont :

- Définir les profils d'emploi nécessaires à l'accomplissement de la mission de la fonction maintenance
- Permettre d'assurer les tâches de la maintenance avec un optimum d'efficacité
- S'assurer que les règles de la sécurité sont connues et mises en œuvre
- Etre conforme aux exigences réglementaires.

2.6. Concepts de la maintenance

L'analyse des différentes formes de maintenance repose sur quatre concepts

2.4.1. Événements de l'origine de l'action

- La référence à un échéancier
- La subordination à un type d'événements prédéterminés (autodiagnostic, information d'un capteur, mesure d'une usure...)
- L'apparition d'une défaillance [8].

2.4.2. 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 le bon choix des critères de la maintenance, il faut connaître le fonctionnement et les caractéristiques des matériels, leur comportement en exploitation, les conditions d’application de chaque méthode, les coûts de maintenance et les coûts de perte de production.

D’après les normes AFNOR X600 10 et X 600 11, on peut distinguer deux grandes formes de maintenance « Corrective et Préventive », voir figure 2.2.

2.4.2.1. Maintenance corrective

La maintenance corrective appelée parfois curative a pour objet de redonner au matériel des qualités perdues, nécessaires à son utilisation.

La maintenance corrective est « la maintenance exécutée après détection d’une panne et elle est destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise ». Cette maintenance est utilisée lorsque l’indisponibilité du système n’a pas de conséquences majeures ou quand les contraintes de sécurité sont faibles [8].

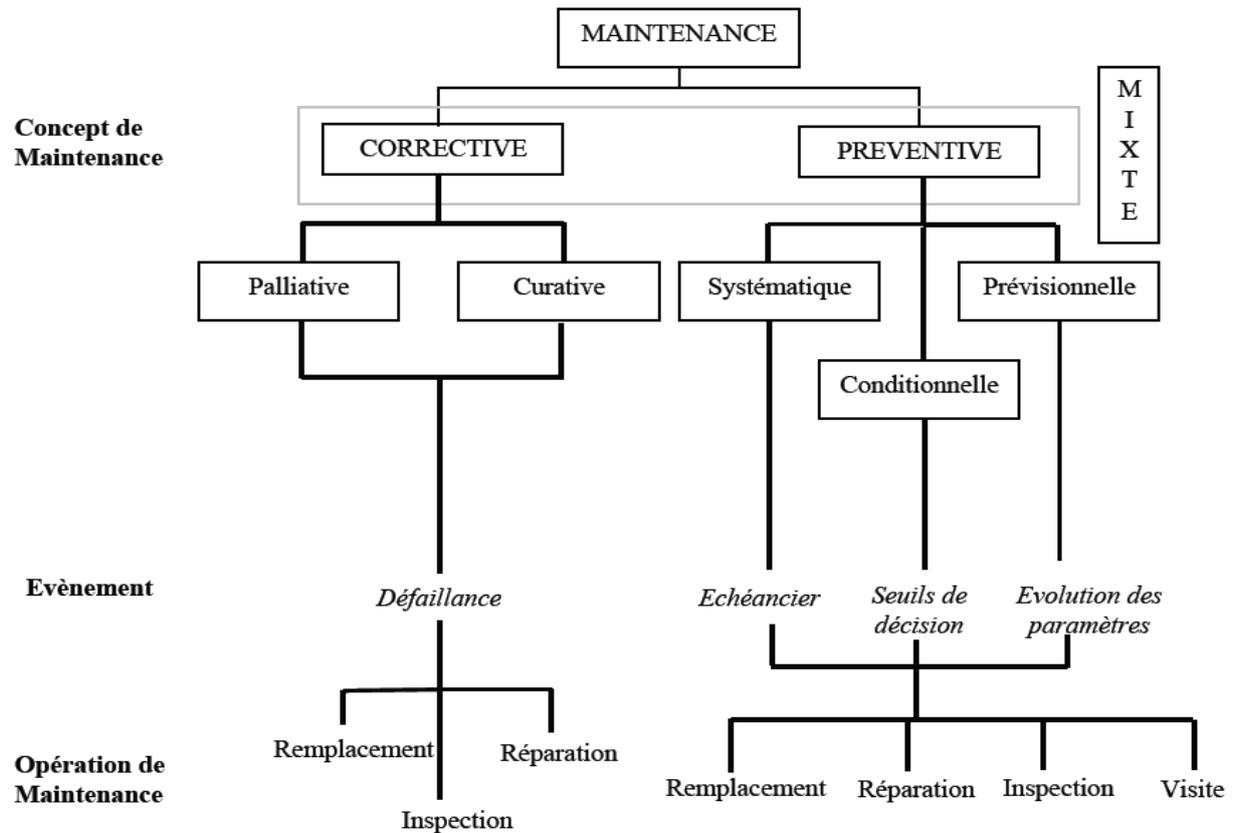


Figure 2.2. Méthodes de la maintenance [8]

2.4.2.2. Maintenance préventive

Maintenance effectuée selon des critères prédéterminés, dont l'objectif est de réduire la probabilité de défaillance d'un bien ou la dégradation d'un service rendu. Elle doit permettre d'éviter les 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.

Buts de la maintenance préventive :

- Augmenter la durée de vie des matériels
- Diminuer la probabilité des défaillances en service
- Diminuer les temps d'arrêt en cas de révision ou de panne
- Prévenir et prévoir les interventions coûteuses de maintenance corrective
- Permettre de décider la maintenance corrective dans des bonnes conditions
- Éviter les consommations anormales d'énergie, de lubrifiant, de pièces détachées, etc.
- Améliorer les conditions de travail du personnel de production.
- Diminuer le budget de maintenance.
- Supprimer les causes d'accidents graves.

2.4.2.2.1. Maintenance préventive systématique

C'est la maintenance préventive effectuée sans contrôle préalable de l'état du bien conformément à un échéancier établi selon le temps, le nombre de cycles de fonctionnement, le nombre de pièces produites ou un nombre prédéterminé d'usages pour certains équipements (révisions périodiques) ou organes sensibles (graissage, étalonnage, etc..).

La maintenance systématique se traduit par l'exécution sur un équipement à dates planifiées d'interventions dont l'importance peut s'échelonner depuis le simple remplacement de quelques pièces jusqu'à la révision générale.

- Remise à niveau d'une ligne de production par arrêt annuel
- Révision générale d'un équipement
- Echange standard d'un sous-ensemble ou d'un composant sensible (filtre, joint, durite, balais d'un moteur CC, etc...)
- Lubrification

Les travaux révèlent alors un caractère systématique (contrairement à ce qui se passe dans la maintenance conditionnelle), ce qui suppose une parfaite connaissance du comportement de l'équipement, de ses modes et de sa vitesse de dégradation [8].

2.4.2.2.2. Maintenance préventive conditionnelle

a. Définition

C'est la « maintenance préventive subordonnée à un type d'événement prédéterminé (autodiagnostic, information d'un capteur, mesure, etc.) ou à l'analyse de l'évolution surveillée de paramètres significatifs de la dégradation et de la baisse des performances d'une entité ». Cette surveillance de la dégradation permet de fixer un seuil d'alarme avant un seuil d'admissibilité (Figure 2.3). 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 [5].

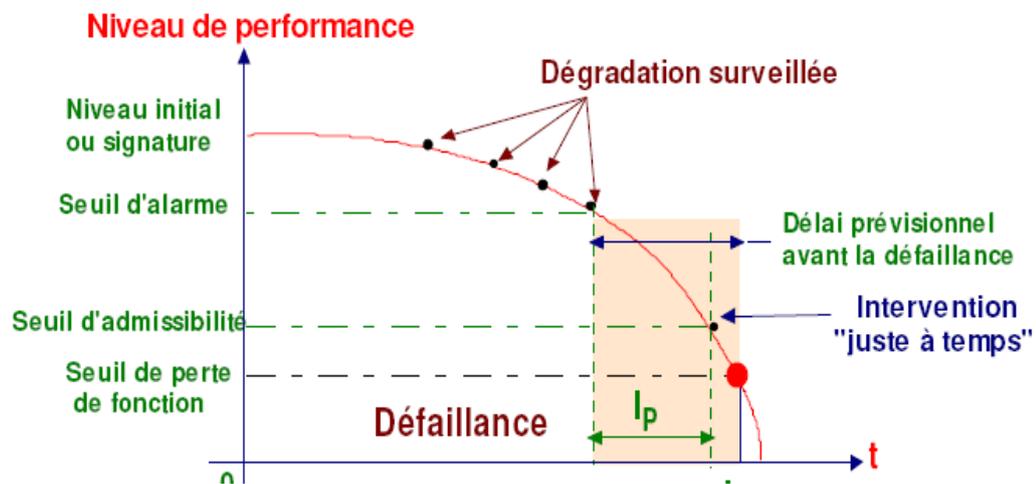


Figure 2.3. Principe de la maintenance conditionnelle [8]

Elle se traduit par une surveillance des points sensibles de l'équipement, cette surveillance étant exercée au cours des visites préventives. Ces visites soigneusement préparées, permettent d'enregistrer différents paramètres : degré d'usure, jeu mécanique, température, pression, débit, niveau vibratoire, pollution ou tout autre paramètre qui puisse refléter l'état de l'équipement. Le niveau de performance initial, quelque soit le paramètre surveillé, s'appelle aussi « signature » de l'équipement : c'est la référence de bon fonctionnement de celui-ci pour le point sensible surveillé. Les mesures peuvent être :

- Visuelles (examen de l'usure à l'aide d'une cote, observation d'un jeu mécanique, d'une courroie détendue, etc...)
- Réalisées à partir d'appareil de mesures (voltmètre, oscilloscope, analyseur de spectre, radiographie, comptage de particules, etc...)

- Visualisables grâce à des capteurs pré-réglés (témoin de plaquette de frein sur une voiture, témoin de température, etc...)

On ne décide des travaux de remise en état (changement de pièces, réparation, réglages) que si les paramètres contrôlés mettent en évidence une défaillance.

La décision « volontaire » d'intervention est donc liée au résultat des visites préventives qui sont réalisées de façon systématique et en fonction d'un planning. La maintenance préventive conditionnelle permet donc de « retarder » et de planifier les interventions [8].

b. But de la maintenance conditionnelle

Il s'agit de respecter les conditions suivantes

- D'éliminer ou de limiter le risque de panne, l'intervention ayant lieu avant que la dégradation n'atteigne un caractère critique
- De maintenir la production à un niveau acceptable, tant en quantités fabriquées qu'en qualité du produit
- De diminuer les temps d'arrêt, par la limitation du nombre des pannes, par une meilleure préparation des interventions (efficacité) et par une utilisation des créneaux horaires ne perturbant pas la production (ordonnancement)
- De réduire les dépenses d'entretien en intervenant à un stade précoce des dégradations, évitant ainsi des remises en état très coûteuses
- D'intervenir dans les meilleures conditions possibles, sans urgence, au moment choisi, avec la préparation adéquate
- De ralentir le vieillissement

La maintenance conditionnelle nécessite de connaître les points faibles des machines afin de les surveiller à bon escient. Elle devra aboutir à du « concret » si nécessaire (arrêt de la machine, échange d'une pièce parfois importante). Elle devra être prévue dès la conception de la machine, afin d'intégrer les capteurs nécessaires à la surveillance. L'exemple classique sur une automobile est le témoin de température ou le témoin de niveau d'huile. Mais, attention aux fausses informations, car un capteur peut lui aussi être soumis à une défaillance.

c. Formes de la maintenance conditionnelle

Selon la périodicité des mesures, on distinguera :

- **Surveillance périodique** : l'intervalle du temps Δt est fixé en fonction de la vitesse estimée de dégradation ; elle permet de détecter l'apparition de défauts à évolution lente. La période peut aller de deux semaines à six mois selon l'importance et le coût des équipements en cause
- **Surveillance continue** : les capteurs délivrent de manière continue une information, donc dans ce cas $\Delta t \rightarrow 0$. A la limite, on est capable de suivre sur écran ou sur traceur la loi de dégradation du matériel. Elle permet donc de suivre des défauts à évolution rapide. L'intervention préventive est alors signalée par une alarme. Cette alarme peut interrompre l'équipement si nécessaire (pour cause de sécurité par exemple). C'est certainement la forme la plus moderne de la maintenance. On y retrouve bien sûr, l'aspect maintenance conditionnelle et aussi la notion de surveillance auxquels on va associer le pouvoir de décision et d'ordonnement.

2.4.3. Opérations de maintenance

2.4.3.1. Opérations de maintenance corrective

2.4.3.1.1. 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 (maintenance palliative) 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 [8].

2.4.3.1.2. 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.

Remarque : la réparation correspond à une action définitive. L'équipement réparé doit assurer les performances pour lesquelles il a été conçu

2.4.3.2. Opérations de maintenance préventive

2.4.3.2.1. Inspections

Activités de surveillance consistant à relever périodiquement des anomalies et exécuter des réglages simples ne nécessitant pas d'outillage spécifique, ni d'arrêt de l'outil de production ou des équipements.

2.4.3.2.2. Visites

Opérations de surveillance qui, dans le cadre de la maintenance préventive systématique, s'opèrent selon une périodicité déterminée. Ces interventions correspondent à une liste d'opérations définies préalablement qui peuvent entraîner des démontages d'organes et une immobilisation du matériel. Une visite peut entraîner une action de maintenance corrective.

2.4.3.2.3. Contrôles

Vérifications de conformité par rapport à des données préétablies suivies d'un jugement. Le contrôle peut :

- Comporter une activité d'information
- Inclure une décision : acceptation, rejet, ajournement
- Déboucher comme les visites sur des opérations de maintenance corrective.

2.4.3.2.4. Opérations de surveillance

Sont nécessaires pour maîtriser l'évolution de l'état réel du bien (contrôles, visites, inspections). Elles sont effectuées de manière continue ou à des intervalles prédéterminés ou calculées sur le temps ou le nombre d'unités d'usage.

2.6. Cinq niveaux de maintenance

La maintenance et l'exploitation d'un matériel s'exercent à travers de nombreuses opérations représentées par cinq niveaux de maintenance [8].

2.5.1. Premier niveau

Réglages simples prévus par le constructeur au moyen d'éléments accessibles sans aucun démontage, ouverture de l'équipement ou échanges d'éléments consommables accessibles en toute sécurité, tels que voyants, certains fusibles, etc. Ce type d'intervention peut être effectué pendant l'exploitation du matériel, sur place, sans outillage et à l'aide des instructions d'utilisation. Le stock des pièces consommables nécessaires est très faible.

2.5.2. Deuxième niveau

Dépannages par échange standard des éléments prévus à cet effet, c'est une opération mineures de maintenance préventive, telles que graissage ou contrôle de bon fonctionnement. Ce type d'intervention peut être effectué par un technicien habilité, de qualification moyenne, sur place, avec l'outillage défini par les instructions de maintenance. On peut se procurer les pièces de rechange nécessaires sans délai et à proximité immédiate du lieu d'exploitation.

2.5.3. Troisième niveau

Identification et diagnostic des pannes, réparations par échange des composants ou d'éléments fonctionnels, réparations mécaniques, et toutes opérations courantes de maintenance préventive. Ce type d'intervention peut être effectué par un technicien spécialisé, sur place ou dans le local de maintenance, à l'aide de l'outillage prévu par les instructions de maintenance ainsi, que par des appareils de mesure et de réglage, éventuellement, par des bancs d'essais et de contrôle des équipements. Opération qui s'effectue en utilisant l'ensemble de la documentation nécessaire à la maintenance, ainsi que les pièces approvisionnées par le magasin.

2.5.4. Quatrième niveau

Tous les travaux importants de maintenance corrective ou préventive à l'exception de la rénovation. Ce niveau comprend également le réglage des appareils de mesure utilisés. Ce type d'intervention peut être effectué par une équipe comprenant un encadrement technique très spécialisé, dans un atelier spécialisé doté d'un outillage général (moyens mécaniques, de câblage, de nettoyage, etc.) et éventuellement des bancs de mesure et des étalons de travail nécessaires, en utilisant les documentations générales ou particulières.

2.5.5. Cinquième niveau

Rénovation, reconstruction ou exécution des réparations importantes confiées à un atelier central ou à une unité extérieure. Par définition, ce type de travail est donc effectué par le

constructeur, ou par les services maintenance, en utilisant des moyens définis par le constructeur.

2.7. Méthodes d'optimisation de la maintenance

Dans le contexte actuel d'ouverture des marchés, les entreprises doivent améliorer leur produit et donc leur productivité. « Produire plus et moins cher », avoir une meilleure disponibilité des moyens de production. Or la maintenance doit comprendre une maintenance mieux ciblée, qui augmente la disponibilité et une maintenance mieux maîtrisée, qui donne moins de dépenses [17]. Au vu de l'importance du processus de maintenance et de son impact sur les performances des installations, des méthodes d'optimisation ont été développées permettant d'aider les responsables de la maintenance à construire ou à modifier les stratégies, telle que la méthode AMDEC, la méthode Ishikawa (ou le diagramme Causes Effets), Le diagramme de Pareto, méthode des 5S... [10].

2.6.1 Méthode AMDEC

Le mot « AMDEC » signifie l'analyse des modes de défaillances de leurs effets et de leur criticité. C'est une Technique d'analyse préventive permettant d'identifier et de traiter les causes potentielles des défauts et de défaillance avant qu'ils ne surviennent. AMDEC est une méthode rigoureuse de travail en groupe, très efficace grâce à la mise en commun de l'expérience et des connaissances de chaque participant, à condition toutefois que le responsable soit suffisamment expérimenté [9]. On distingue :

- **AMDEC Produit**, pour vérifier le produit et la conformité développée par rapport aux exigences du client
- **AMDEC Processus**, pour valider la fiabilité du processus de fabrication
- **AMDEC Moyen**, pour vérifier la fiabilité des équipements.

Le principe consiste à recenser toutes les causes potentielles de chaque mode de défaillance et d'évaluer la criticité, qui résulte d'une triple cotation quantifiée :

- "**G**" : Gravité ou sévérité de l'effet du défaut ou de la défaillance
- "**F**" : Occurrence ou fréquence d'apparition de la défaillance
- "**D**" : Détection : probabilité de non détection de la défaillance

L'indice de la criticité est obtenu par le produit des trois notes : $C = G * F * D$

❖ Remarque :

Plus la criticité est importante, plus le mode de défaillance considéré est préoccupant. Lorsque la criticité dépasse la limite prédéfinie par le groupe, ce dernier recherche les actions d'amélioration possible pour la ramener à un niveau acceptable en analysant :

- La gravité (exemple : la gravité d'une fuite de carburant sera diminuée par la mise en place d'un bassin de rétention),
- L'occurrence (exemple : en augmentant la fiabilité d'un composant, par la maintenance préventive ...),
- La non-détection (exemple : en mettant en place des outils de contrôle et de surveillance, en formant les contrôleurs...).

2.6.2. Diagramme de « Pareto »**2.6.2.1. Présentation**

Le diagramme de « Pareto », également connu sous le nom de la loi des (80/20) est une méthode d'optimisation et de résolution des problèmes très connues dans le milieu industriel. De façon générale, on s'aperçoit que dans la plupart des situations, 80% des dépenses sont entraînées par 20% des défaillances. Rapporté à la maintenance, cela signifie que 80% des arrêts d'équipements vont être causés par seulement 20% des pannes référencées. Seulement, pour arriver à de telles conclusions, une analyse préliminaire est nécessaire, chose que nous allons détailler dans la suite à travers un exemple pratique.

2.6.2.2. Construction du diagramme de « Pareto »

La construction du diagramme de Pareto va se faire en plusieurs étapes :

- Le recensement de la récurrence des défaillances en fonction des causes
- On liste l'ensemble des causes des défaillances, et on associe le nombre de pannes qui en sont les conséquences.
- On classe ensuite par ordre décroissant de récurrence les causes des défaillances.
- On réalise le cumul des causes des défaillances, puis on ramène cela en pourcentage du total des défaillances, de façon à faire apparaître les causes les plus importants.
- On sélectionne les causes principales qui sont à l'origine de 80% des pannes matériels [11].

2.6.2.3. Analyse des résultats

Le travail d'analyse des causes peut s'avérer très utile afin de se focaliser sur les sources de pannes. On établira cependant un historique fiable et complet à partir duquel on pourra extraire des chiffres justes de façon à ne pas se tromper dans la suite de la résolution des pannes.

2.8. Description de la fiabilité

2.8.1. Définition

La fiabilité citée par la norme AFNOR qui est la caractéristique d'un dispositif, exprimée par la probabilité que ce dispositif accomplisse une fonction requise dans des conditions d'utilisation données et pour une période déterminée [5]. Elle est définie par :

- **Probabilité** : c'est le rapport :

$$\frac{\text{nombre de cas favorables}}{\text{nombre de cas possibles}} < 1$$

On notera $R(t)$ la probabilité de bon fonctionnement à l'instant (t) . Le symbole "R" a pour origine le mot anglais (reliability). On notera $F(t)$ la fonction définie par $F(t)=1-R(t)$, c'est la probabilité complémentaire (ou événement contraire). $F(t)$ est la probabilité de défaillance cumulative à l'instant (t) [13].

2.7.2. Fiabilité et qualité

Ces notions sont indissociables. Si la qualité est prise dans son sens général de « satisfaction » du besoin des utilisateurs, il est évident que la fiabilité est un élément de la satisfaction de l'utilisateur. La fiabilité c'est la probabilité de bon fonctionnement.

Si la qualité est prise dans le sens « qualité initiale », nous pourrions dire que la qualité initiale garantit la conformité d'un produit à ses spécifications, alors que la fiabilité mesure son aptitude à demeurer conforme le long de sa vie utile. La fiabilité est l'extension de la qualité initiale dans le temps. Il n'y a pas de bonne fiabilité sans bonne qualité [14].

2.7.3. Expressions mathématiques de la fiabilité

2.7.3.1 Fonction de distribution et de répartition

- Notion de variable aléatoire

On appelle variable aléatoire "T" une variable telle qu'à chaque valeur (t) de "T" on puisse associer une probabilité "f (t)". Une variable aléatoire peut être :

- Continue : intervalle de temps entre deux défaillances consécutives.
- Discrète : nombre de défaillances d'un composant lié à un intervalle de temps.
- Cas général d'une variable aléatoire continue

Soit une loi de probabilité relative à une variable aléatoire continue (t). Elle est caractérisée par sa fonction de répartition "F(t)" telle que :

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = \lim_{dt \rightarrow 0} \frac{\text{prob}(t < T < t+dt)}{dt} \quad (2.1)$$

La fonction de répartition "F(t)" représente la probabilité qu'un événement (une défaillance) survient à l'instant (t) dans l'intervalle [0,t] ; tel que $F(t)=P(T < t)$ [14], voir figure 2.4

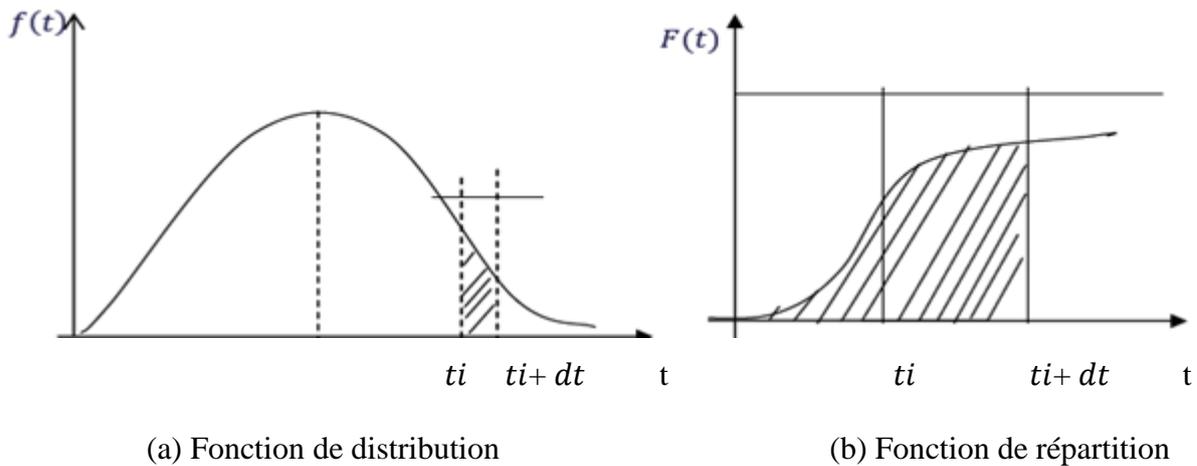


Figure 2.4. Courbes des fonctions de probabilité

Si la variable aléatoire est continue

$$f(t) dt = \text{prob} [t < T < t + dt] \quad (2.2)$$

f(t) est une densité de probabilité.

$$F(t) = \int_{-\infty}^{ti} f(t) dt = \text{prob}(T < ti) \quad (2.3)$$

Si la variable aléatoire est discrète

$$F(tn) = \sum_{i=1}^n f(ti) = \text{prob}(t < tn) \quad (2.4)$$

- **Application à la fiabilité**

Un dispositif mis en marche pour la première fois à (to) tombera en panne à un instant non connu à priori "t" qui est une variable aléatoire de la fonction de répartition "F(t)".

- $F(t)$ est la probabilité d'une défaillance avant l'instant (t_i).
- $R(t)$ est la probabilité de bon fonctionnement à (t_i)
- $R(t)$ et $F(t)$ sont des probabilités complémentaires

$$R(t)+F(t)= 1 \text{ ou } \int_0^t f(t)dt + \int_t^{+\infty} f(t)dt = 1 \quad (2.5)$$

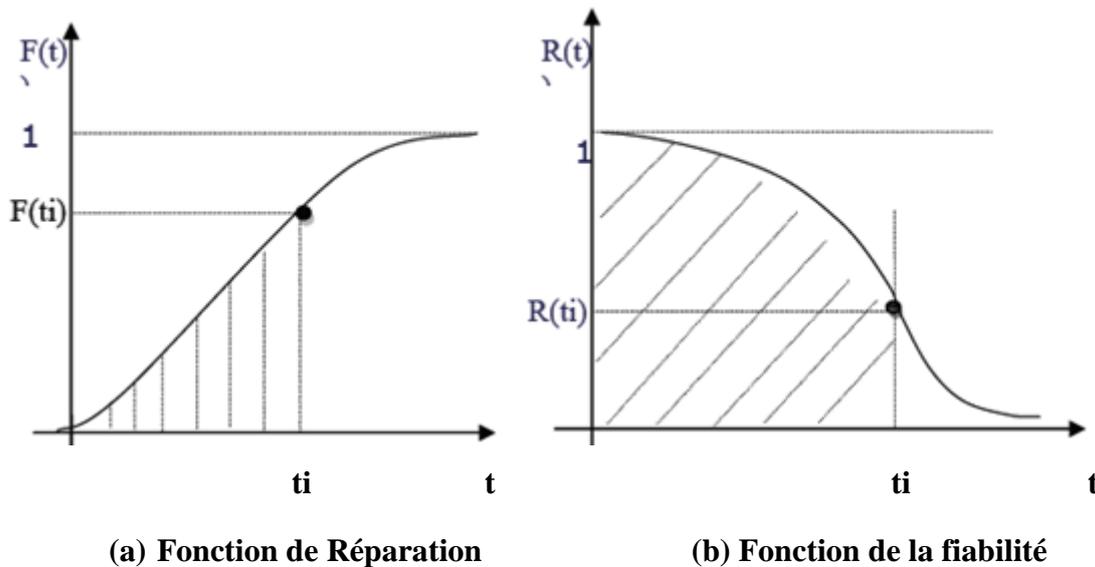


Figure 2.5. Courbes paramétriques de la fiabilité

2.7.4. Estimation de la fiabilité

On a vu précédemment que la fiabilité (probabilité de bon fonctionnement) [14], s'exprimait généralement par la fonction " $R(t)$ ". La probabilité de défaillance est désignée par " $F(t)$ ". Le temps (t) doit être choisi comme l'unité d'œuvre la plus représentative de la durée de sollicitation du composant (dispositif). Soit " N_0 " le nombre de dispositifs fonctionnant à (t_0) et $N(t)$ le nombre de dispositifs fonctionnant à l'instant (t), on définit :

2.7.4.1. La fiabilité du composant

La fiabilité du composant est caractériser par

- $N(t+ dt)$ le nombre de dispositifs (composants) fonctionnant à l'instant ($t+ dt$).
- $N(t)/N_0$ est un estimateur de fiabilité $R(t)$ avec $N(t)-N(t+ dt)=\Delta N > 0$

A l'instant ($t+ dt$) il reste $N(t+ dt)-N(t)= - \Delta N$ (dispositifs)

Si (dt) tend vers zéro, l'estimateur tend vers une limite qui est le taux de défaillance instantané :

$$\lambda(t)dt = -\frac{dN}{N(t)} \quad (2.6)$$

$\lambda(t) dt$ est une probabilité conditionnelle de défaillance sur l'intervalle $(t, t+dt)$ car elle ne s'applique qu'aux survivants à l'instant (t) . Appliquons le théorème des probabilités conditionnelles. Alors la probabilité (d'avoir une panne entre t et dt) est égale probabilité de survie à t . ($\lambda(t).dt$)

$$(P(t \leq T \leq t+dt) = P(T \geq t) \lambda(t) dt = f(t).dt = R(t).\lambda(t).dt \quad (2.7)$$

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.8)$$

2.7.5.2. Le taux de défaillance à l'instant (t)

Le taux d'avarie (λ) représente la proportion de composants, ramenée à l'unité de temps qui, ayant survécu jusqu'à un instant (t) arbitraire, et ne seront plus en vie à l'instant $(t+dt)$.

Le taux d'avarie (λ) est la proportion de composants qui deviennent défectueux durant l'unité de temps. Il s'obtient expérimentalement soit à partir d'essais de fiabilité, soit à partir de l'historique.

$$\lambda(t) = \frac{N(t+dt) - N(t)}{N(t+dt)} \quad (2.9)$$

2.7.4.3. Allures typiques du taux de défaillance (λ)

L'allure générale de variation du taux de défaillance $\lambda(t)$ d'un équipement le long de sa durée de vie est représentée par la figure (2.6). Cette géométrie de courbe a un caractère « universel ».

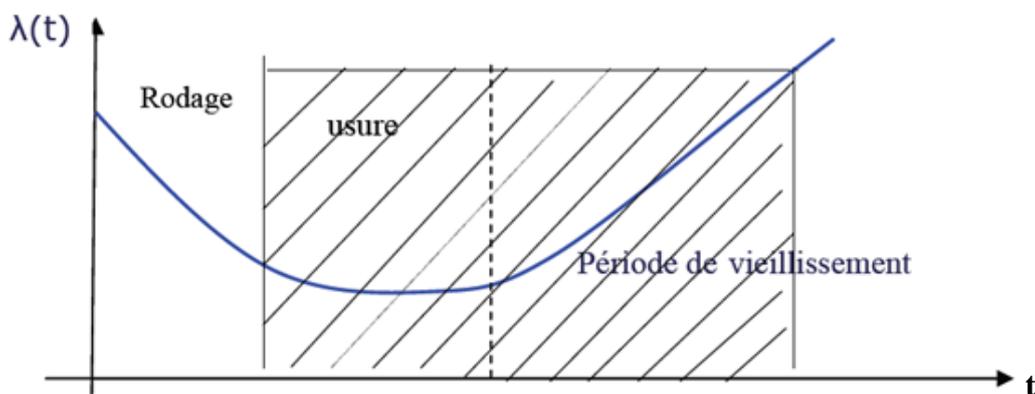


Figure 2.6. Courbe en baignoire du taux de défaillance [14]

- Zone (1). Période de jeunesse (rodage).

Le taux de défaillance décroît relativement vite après élimination des composants de qualité médiocre ou mal montés.

- Zone (2). Période de maturité (pleine activité).

Le taux de défaillance est constant. C'est la période de vie utile

- Zone (3). Période de vieillesse ou d'usure.

Les défaillances sont dues à l'âge ou à l'usure des composants, $\lambda(t)$ croît avec le temps du fait de la dégradation du matériel (usures mécaniques, fatigue, etc...).

2.7.5. Lois de probabilités usuelles en fiabilité

Nous présentons dans ce paragraphe les lois de fiabilité les plus couramment utilisés.

2.7.5.1. Loi exponentielle

C'est une loi qui ne dépend que d'un seul paramètre (le taux de défaillance $\lambda(t)$) ; elle s'applique d'une manière générale aux matériels qui subissent des défaillances brutales, ou à des systèmes complexes composés de plusieurs éléments dont les lois de fiabilité élémentaire sont différentes [15].

Durant la vie utile, le taux de défaillance (λ) est constant, voir figure 2.7

- La fiabilité est solution de : $R(t) = \exp(-\lambda t)$
- Densité de probabilité : $f(t) = \lambda \exp(-\lambda t)$
- Fonction de répartition : $F(t) = 1 - \exp(-\lambda t)$

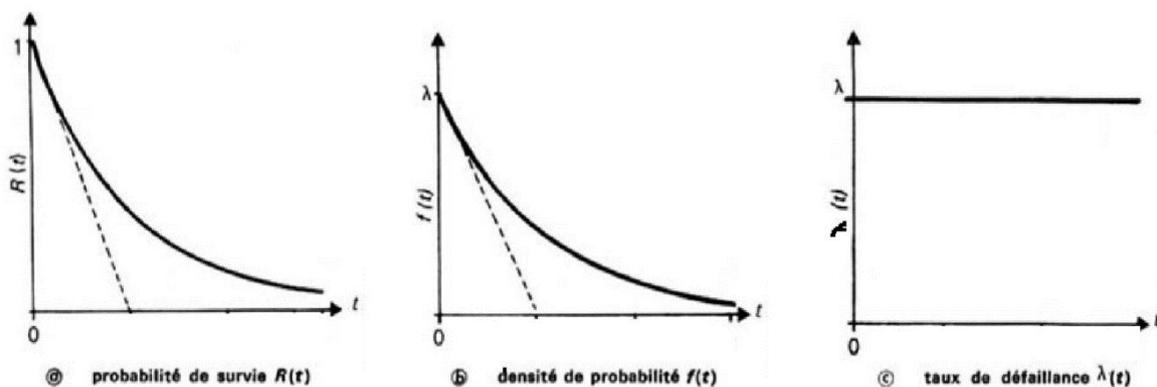


Figure 2.7. Principales propriétés de la distribution exponentielle [15].

2.7.5.2. Loi de « Weibull »

La loi de Weibull est utilisée en fiabilité, en particulier dans le domaine de la mécanique. Cette loi a l'avantage d'être très souple et de pouvoir s'ajuster à différents résultats d'expérimentations. La loi de Weibull est une loi continue à trois paramètres :

- Le paramètre de position γ qui représente le décalage pouvant exister entre le début de l'observation (date à laquelle on commence à observer un échantillon) et le début du processus que l'on observe (date à laquelle s'est manifesté pour la première fois le processus observé) [15].
- Le paramètre d'échelle η qui, comme son nom l'indique, nous renseigne sur l'étendue de la distribution.
- Le paramètre de forme β qui est associé à la cinétique du processus observé, voir figure 2.8.

- Densité de probabilité

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \exp\left(-\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta} \quad (2.10)$$

- Fiabilité

$$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta}\right] \quad (2.11)$$

- Fonction de répartition

$$F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta}\right] \quad (2.12)$$

- Taux de défaillance

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (2.13)$$

- Moyenne des temps de bon fonctionnement

$$MUT = \gamma + \eta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (2.14)$$

- Variance

$$\sigma^2 = \eta^2 \left[\Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \right] \quad (2.15)$$

Le paramètre de position γ étant souvent nul, on se ramène à

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \exp\left(-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right) \quad (2.16)$$

$$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right] \quad (2.17)$$

$$F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right] \quad (2.18)$$

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (2.19)$$

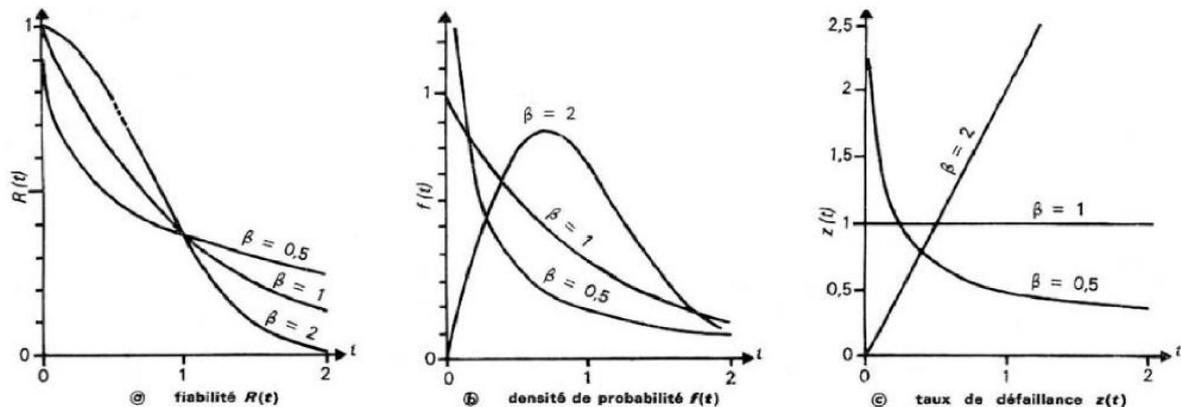


Figure 2.8. Principales propriétés de la distribution de Weibull [15]

2.8. Conclusion

L'analyse de la fiabilité dans le domaine de la maintenance est un outil très important pour caractériser le comportement d'un équipement ou d'un dispositif dans les différentes phases de sa vie. En maintenance, l'analyse de la fiabilité apporte des réponses à plusieurs questions :

- L'optimisation des périodes d'interventions systématiques.
- L'optimisation de la gestion de la pièce de rechange.
- L'évaluation exacte des MTTR et MTBF d'un équipement pour le mieux gérer suivant l'indicateur de disponibilité.
- La MBF (maintenance basée sur la fiabilité).

CHAPITRE 3

ETUDES DE CAS AU NIVEAU DE L'ATELIER DE BROYAGE

CHAPITRE 3 ÉTUDES DE CAS AU NIVEAU DE L'ATELIER DE BROYAGE

3.1. Introduction

Un bon fonctionnement est demandé, en particulier, pour les équipements stratégiques, au niveau de la cimenterie. Dans cette partie nous allons utiliser les résultats d'exploitation de l'équipement en fonctionnement. En pratique on utilise souvent des bases de données connues, mais il est préférable, quand cela est possible, de recueillir les données d'expériences au près des fabricants des composants que l'on utilise [16], Cependant ces données sont difficiles à obtenir pour des composants mécaniques. Les constructeurs ne s'efforcent pas de les collecter de façon systématique les données, du fait qu'il est difficile de trouver une métrique de sûreté de fonctionnement. Dans le cas où elles existeraient, elles sont conservées confidentiellement [16]. Dans la majorité des recueils, les données de fiabilité sont fournies sous forme de taux des défaillances ou sous forme de durée de vie moyenne, ou de probabilité d'équipements.

Un équipement étant composé d'un grand nombre d'organes, le "MTBF" de l'équipement donne une signification sur la disponibilité de l'équipement, et il dépend de la connaissance de la fiabilité de ses composants, ce qui permet de définir une politique de maintenance. La fiabilité doit être déterminée pour chaque composant constituant l'intégralité de l'équipement. L'exploitation des données historiques doit tenir compte :

- ✓ Du nombre des équipements étudiés, de leurs conditions de travail et des temps d'utilisation respectifs.
- ✓ Du nombre des composants installés par équipement.
- ✓ Du temps de fonctionnement de chaque composant par rapport au temps de marche de l'équipement.
- ✓ De la politique de la maintenance appliquée à ces équipements

Dans le cas de plusieurs équipements installés, il faudrait en toute logique vérifier que les conditions d'utilisation et les temps de sollicitation sont identiques.

3.2. Sélection de l'atelier stratégique

3.2.1. Découpage de l'entreprise

Le découpage en un ou plusieurs ateliers de travail est donc propre à chaque entreprise, au regard de son activité de travail. Donc, il n'y a pas de modèle standard. Pour illustrer comment peuvent se définir les ateliers au niveau de l'entreprise, la cimenterie de Béni Saf (S.C.I.P.C) propose le découpage présenté selon la figure 3.1.

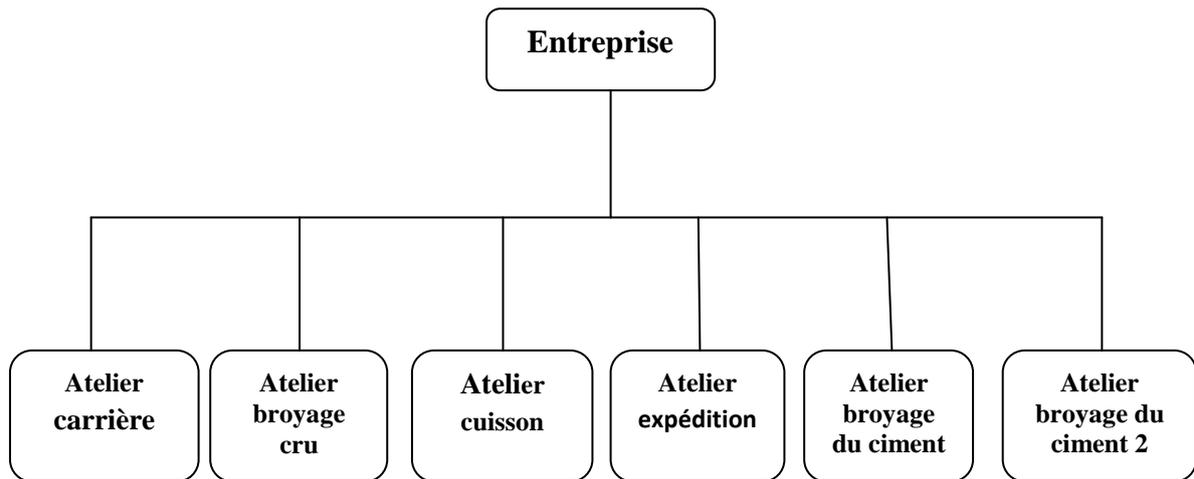


Figure 3.1. Découpage de l'entreprise

La mise en œuvre d'une politique de maintenance préventive nécessite l'identification des ateliers critiques qui doivent donc être traités en priorité [17]. La méthode d'analyse a posteriori qui produit des résultats à partir des données (historiques) ce fait à partir du diagramme de Pareto qui nous permet de sélectionner les équipements critiques.

3.2.2. Principe de la méthode de Pareto

Le diagramme de Pareto est un histogramme dont les équipements les plus critiques sont conventionnellement classés dans la zone A. Cet outil d'analyse permet de sélectionner et de retenir celles qui sont les plus importantes, et d'en décider les actions à mener [18].

3.2.3. Construction du diagramme de Pareto

Dans notre étude le nombre des ateliers analysés est égal à six. On construit un tableau dans lequel les ateliers sont classés par ordre décroissant du nombre de pannes et la durée d'intervention, voir tableau 3.1.

Equipements	Fréquence (N)	Durée total « h »	$N \times \bar{T}$	% cumulé
Broyage du cru	171	1030	176130	47.87
Expédition	100	828	82800	70.37
Cuisson	74	599	44326	82.41
Broyage du ciment 2	60	494	29640	90.46
Broyage du ciment 1	56	451	25256	97.32
Carrière	70	139.35	9754.5	100
			367906.5	

Tableau 3.1. Tableau de classement des ateliers

En utilisant le diagramme de Pareto présenté dans la figure 3.2 pour sélectionner l'atelier à prendre en considération dans notre étude. On trace le diagramme des fréquences cumulées auquel on superpose la droite du seuil (par exemple à 80%).

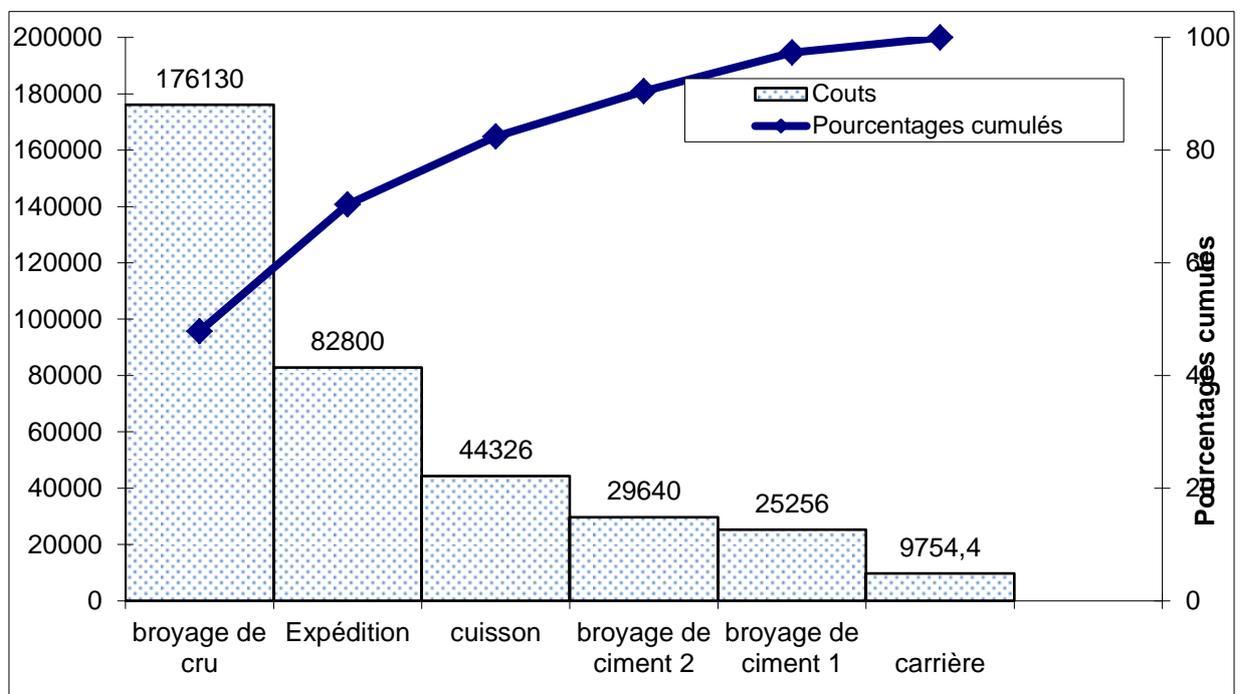


Figure 3.2. Diagramme de PARETO

Interprétation

Le diagramme permet de classer les ateliers par ordre de priorité. Il montre que l'atelier de broyage du cru et expédition sont responsables de 80% des pannes, ce qui rendra prioritaire les actions envers ces ateliers.

3.3. Sélection de l'équipement critique

3.3.1. Découpage de l'atelier broyage cru

Le découpage de l'entreprise sera suivi par un second qui permet de descendre au niveau de l'organe critique [17]. La figure 3.3 représente le découpage de l'atelier broyage cru.

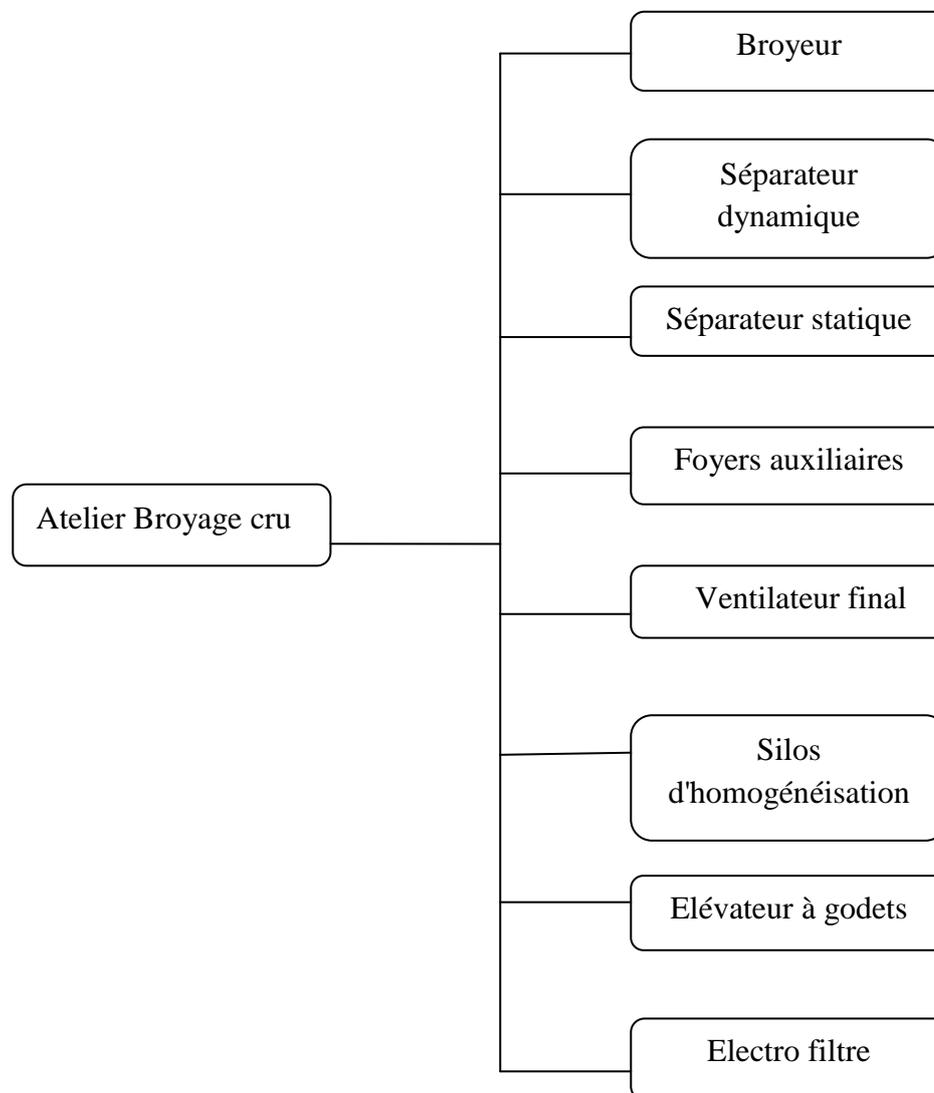


Figure 3.3. Découpage de l'atelier broyage de cru

3.3.2. Construction du diagramme de Pareto

Dans cette partie nous allons utiliser les résultats d'exploitation des équipements afin d'appliquer réellement la théorie déjà citée auparavant, en particulier celle de la fiabilité. Les données pour cette application sont relevées à partir des dossiers historiques machines de l'atelier broyage de cru. On construit un tableau 3.2 dans lequel les données des équipements sont classées par ordre décroissant.

On constate par cette analyse basée sur l'outil d'optimisation des équipements en exploitation que la méthode appliquée permet de bien définir les priorités d'action afin de mieux choisir le type de la maintenance à appliquer pour optimiser le suivi de la dégradation et éviter les défaillances catastrophiques très coûteuses à l'entreprise.

Equipements	Fréquence (N)	Temps de panne	$N \times \bar{T}$	% cumulé
Séparateur dynamique	56	400	22400	61.112
Broyeur	32	212	6784	79.62
Séparateur statique	24	180	4320	91.405
Foyers auxiliaires	18	76	1358	95.109
Ventilateur final	12	61	732	97.106
silos d'homogénéisation	14	45	630	98.824
Elevateur à godet	10	30	300	99.642
Electro filtre	5	26	130	100
			36654	

Tableau 3.2. Classement des équipements

La figure 3.4 permet de sélectionner l'équipement critique à prendre en considération dans notre étude afin de limiter les défaillances imprévues au niveau de cet atelier.

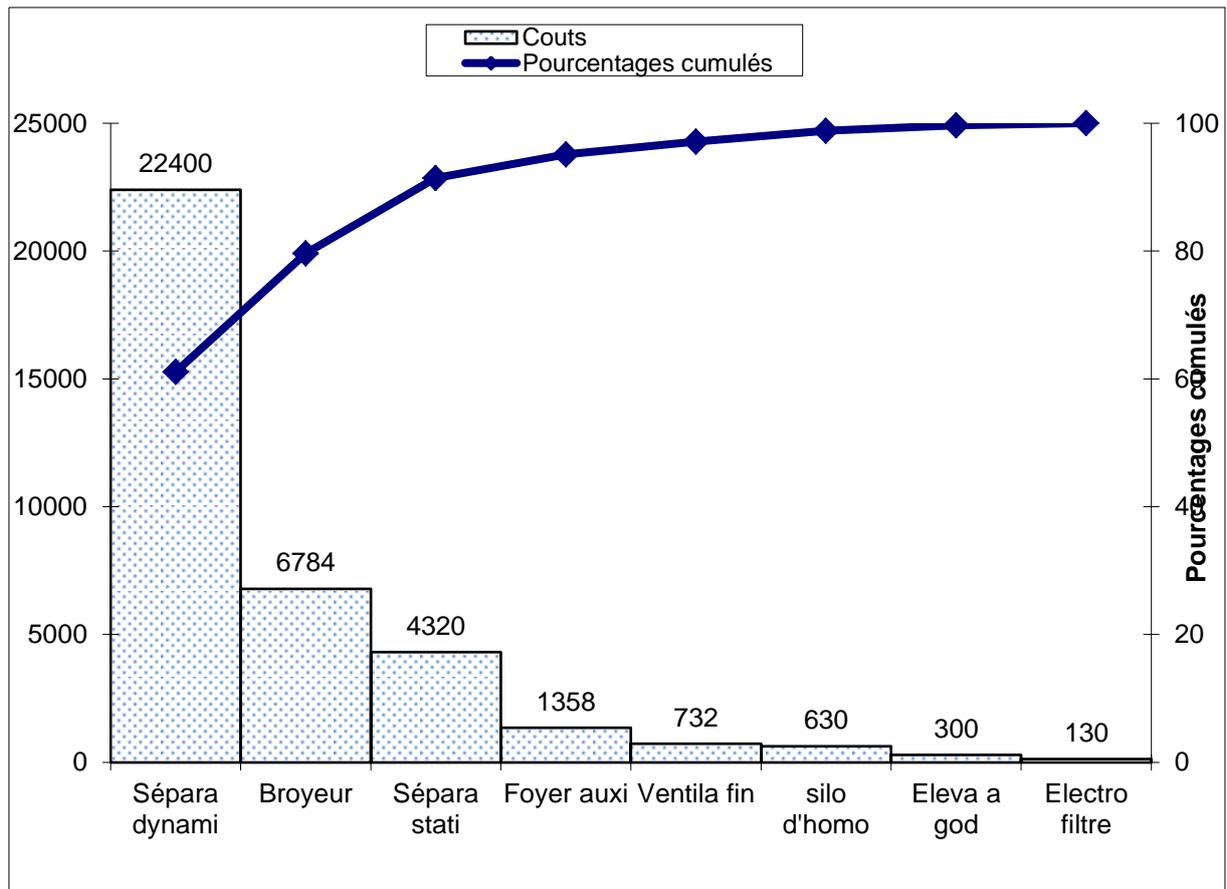


Figure 3.4. Diagramme de PARETO

Interprétation

Le diagramme montre que le séparateur dynamique est responsable de 80% des pannes, ce qui rendra prioritaire les actions de maintenance envers cet équipement sensible. Pour cela on utilise la méthode développée en analyse de fiabilité et qui est connue sous le nom « AMDEC » [19]. C'est une méthode de réflexion créative qui repose sur la décomposition fonctionnelle du système en éléments simples jusqu'au niveau des composants les plus élémentaires.

3.4. Sélection des organes critiques

3.4.1. Description du séparateur

Les séparateurs comme leurs noms l'indiquent sont des éléments servant à séparer, une fois à la sortie du broyeur, les grosses particules de ciment, qui retournent encore au broyeur, des plus fines qui sont acheminées vers le stockage [1].

3.4.1.1. Principe de fonctionnement du séparateur

La matière venant du broyeur par le circuit de manutention, tombe par gravité dans une goulotte axiale jusqu'au plateau rotatif de distribution qui la disperse, sous l'effet de la force centrifuge, dans la chambre de séparation. Les grains les plus grossiers tombent par gravité dans le cône des rejets, alors que les particules fines sont entraînées par le courant d'air ascendant créé par le ventilateur interne, se décantant ensuite dans le cône extérieur des fines. Un réglage plus fin peut se faire manuellement par avancée ou retrait des secteurs horizontaux constituant le diaphragme de réglage de la qualité. Le ventilateur interne, les palettes et le plateau de distribution sont entraînés à vitesse fixe par le même arbre, voir figure 3.5 [2].

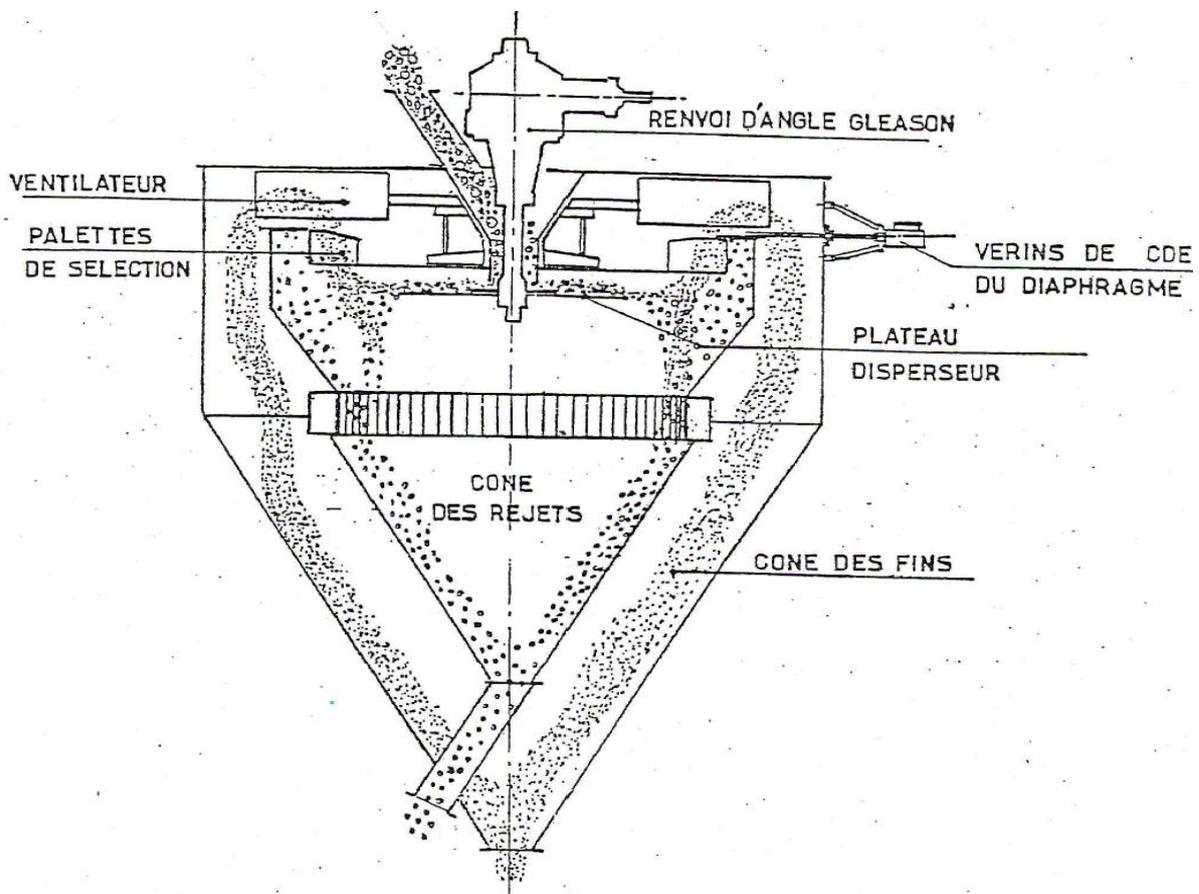


Figure 3.5. Principe de fonctionnement du séparateur [1]

3.4.1.2. Caractéristiques principales du séparateur

Le séparateur dynamique est caractérisé par les dimensions :

- Diamètre du cône de sortie de particules fines: 609.6 mm
- Diamètre de l'enveloppe extérieur : 7315 mm
- Vitesse de rotation du plateau : 154 tr/mn

- Débit nominal du séparateur en produit fin : 6480 t/j
- Puissance absorbée : environ 450 kW

3.4.2. Choix des organes

Afin de sélectionner l'organe ou dispositif à étudier ; on va utiliser la méthode « AMDEC » [19] (Analyse des modes de défaillance, leurs effets et leurs criticités). Cette méthode de la fiabilité, n'est pas la seule d'après la norme NFX60-510. Elle est développée à partir de la méthode « l'AMDE » qui a été publiée en décembre 1986, elle a été définie comme un moyen d'identifier les modes de défaillances en vue de les éliminer ou de minimiser leurs conséquences. Dans le domaine industriel, on utilise ces méthodes à cause du système de notation et le calcul de la criticité qui sont plus rigoureux dans le suivi des équipements, ils sont basés sur un traitement numérique.

3.4.3. Décomposition fonctionnelle du séparateur

La décomposition fonctionnelle a pour but d'identifier la fonction de chaque élément étudié pour prévoir les modes de défaillance possibles voir figure 3.6.

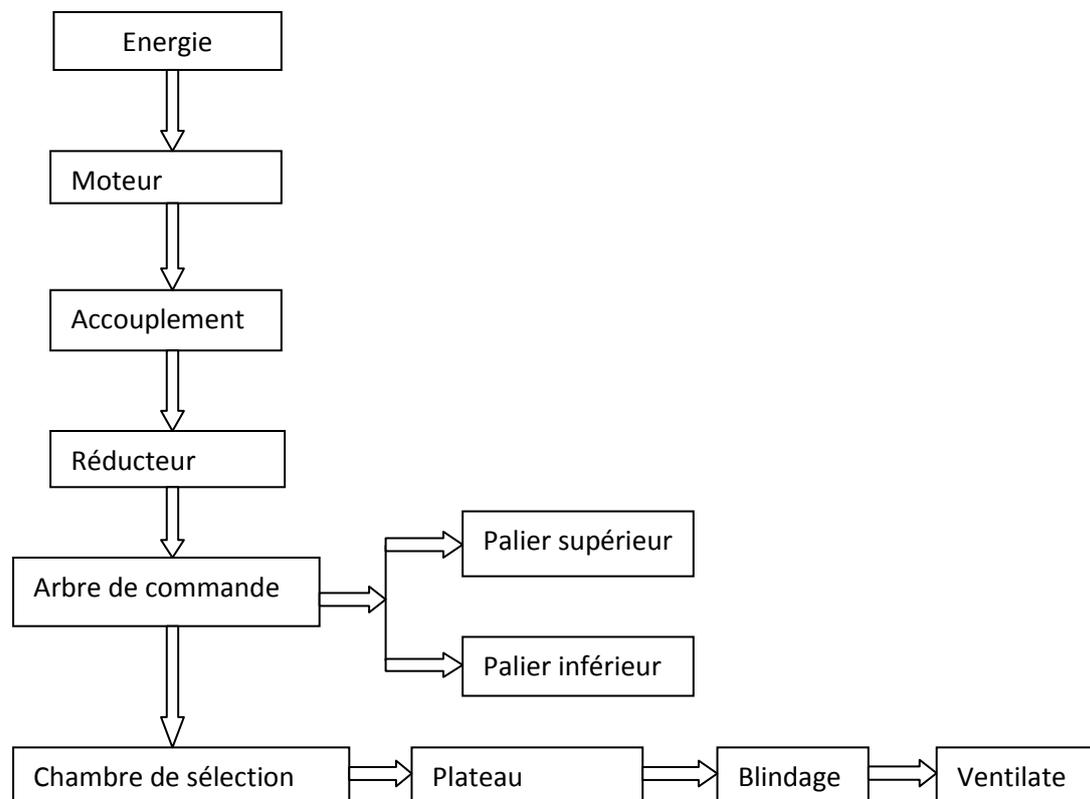


Figure 3.6. Décomposition fonctionnelle du séparateur dynamique

3.4.4. Grille de cotation

Après la décomposition fonctionnelle de l'équipement nous allons procéder à l'analyse et à la cotation des défaillances au niveau de chaque sous-ensemble. Les défaillances sont cotées suivant les valeurs des critères définis dans la grille de cotation [19].

3.4.4.1. Cotation de la gravité (G)

Relatif aux conséquences provoquées par l'apparition du mode de défaillance en termes des indices suivants :

- Qualité des pièces produites.
- Sécurité des hommes ou des biens.
- Temps d'intervention qui correspond au temps actif de maintenance corrective (diagnostic+réparation ou échange+remise en service). La gravité G est le plus souvent cotée de un (1) jusqu'à cinq (5), voir tableau 3.3.

Niveau de la gravité G		Définitions
Gravité mineure	1	Défaillance mineure : - Arrêt de production à 2 minutes - Aucune dégradation notable du matériel.
Gravité significatif	2	Défaillance significatif : - Arrêt de production de 2 à 20 minutes. - Remise en état de courte durée ou petite réparation sur place nécessaire. - Déclassement du produit.
Gravité moyenne	3	Défaillance moyenne : - Arrêt de production de 20 à 60 minutes. - Chargement du matériel défectueux nécessaire. - Retouche du produit nécessaire ou rebat.
Gravité majeure	4	Défaillance majeure : - Arrêt de production de 1 à 2 heures - Intervention importante sur sous ensemble.
Gravité catastrophique	5	Défaillance catastrophique : - Arrêt de production supérieur à 2 heures. - Intervention lourde nécessitant des moyens couteux. - Problème de sécurité du personnel ou l'environnement.

Tableau 3.3. Grille de cotation de la gravité

3.4.4.2. Cotation de la fréquence (F)

Relatif à la fréquence d'apparition de la défaillance, cette fréquence exprime la probabilité combinée d'apparition du mode de défaillance par l'apparition de la cause de la défaillance. La fréquence F allant de un (1) jusqu'à quatre (4), voir tableau 3.4.

Niveau de la fréquence F		Définitions
Fréquence très faible	1	Défaillance rare : moins d'une défaillance par année.
Fréquence faible	2	Défaillance possible : moins d'une défaillance par trimestre.
Fréquence moyenne	3	Défaillance fréquente : moins d'une défaillance par semaine.
Fréquence forte	4	Défaillance très fréquente : plusieurs défaillances par semaine.

Tableau 3.4. Grille de cotation de la fréquence

3.4.4.3. Cotation de la détection (D)

Elle est relative à la possibilité de détecter la défaillance avant qu'elle ne se produise, voir tableau 3.5

Niveau de détection D		Définitions
Détection évidente	1	Défaillance détectable à 100% : - Détection à coup sûr de la cause de défaillance. - Signe avant la dégradation.
Détection possible	2	Défaillance détectable : - Signe avant la défaillance.
Détection difficile	3	Défaillance difficile : - Signe avant la défaillance, qui est difficile de détecter.
Détection impossible	4	Défaillance indétectable : - Aucun signe avant la défaillance.

Tableau 3.5. Grille de cotation de la détection.

3.4.5. Méthode d'analyse

L'analyse « AMDEC » du séparateur dynamique permet de déterminer l'élément critique de l'équipement, voir tableau 3.6.

Éléments	Fonction	Défaillances	Causes	F	G	D	C
Dentures du réducteur	Transmettre le couple moteur par engrènement	Usure /Cassure	Mauvaise lubrification ; Choc ; Fatigue.	2	3	4	24
Roulements du réducteur	Guider en rotation l'arbre réducteur	Usure /cassure	Manque d'étanchéité ; Couple excessif ; Mauvais montage.	1	3	4	12
Accouplement	Transmettre le couple moteur	Usure de la liaison avec clavette	Rainure usée ; clavette lâché ou matée ou cisailé	1	2	4	8
Arbre de commande	Transmettre le mouvement de rotation au plateau	cassure	Surcharge ; Mauvais montage ; Qualité matériau	1	4	4	16
		Usure au niveau des portées de roulement	Manchon de roulement desserré.	1	3	4	12
		usure de la liaison avec la clavette	usée; Clavette lâcher ou matée	1	3	4	12
Roulements de l'arbre de commande	Guider l'arbre en rotation	Usure/cassure	Mauvaise lubrification ; Mauvaise étanchéité ; Fatigue	3	4	4	48
Blindage de la chambre de sélection	Protéger le plateau contre l'abrasion	Usure	Usure par fatigue	2	4	4	32
Plateau	Créer un tourbillon au niveau de la chambre pour séparer la matière	Usure	Matière abrasive	1	2	4	8
ventilateur	Evacuer les particules fines	Pales cassée	Usure par corrosion	1	3	2	6

Tableau 3.6. Analyse et cotation du séparateur

3.4.6. Courbe de criticité

Après avoir calculé les criticités des différents organes du séparateur, on trace la courbe de criticité qui nous permet de détecter l'organe le plus défaillant (l'organe qui a la plus grande criticité), et ainsi, on peut savoir les actions à appliquer pour diminuer le niveau de criticité des composants de séparateur, voir la figure 3.7.

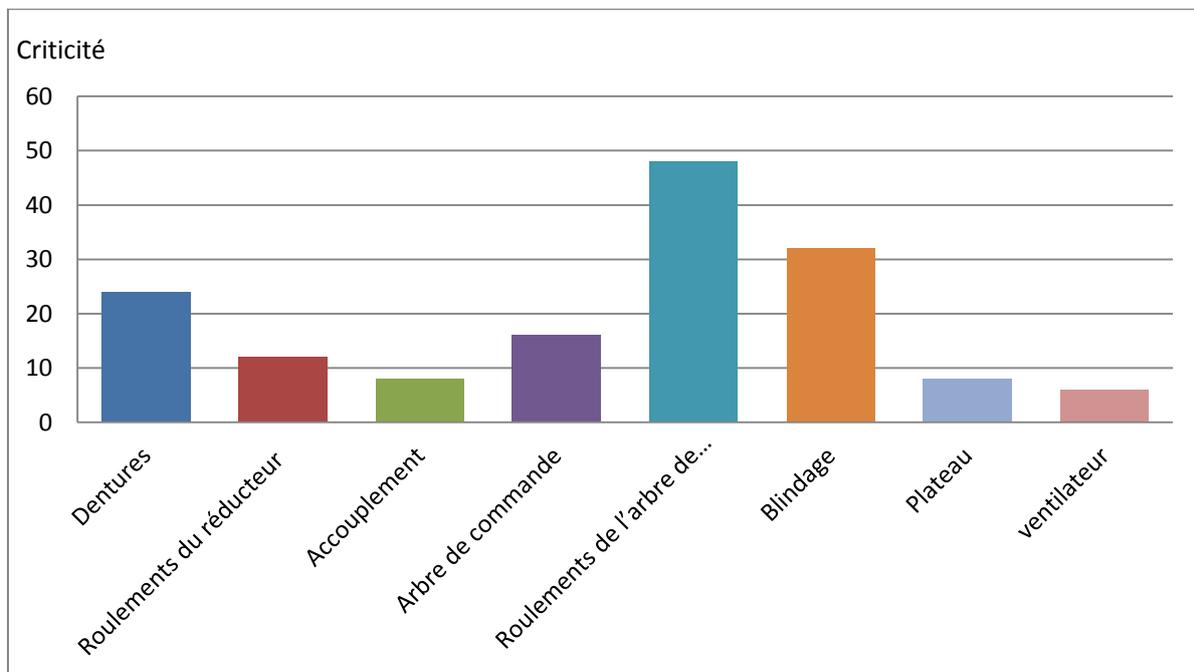


Figure 3.7. Histogramme de la criticité.

Résultat : Les organes possédants la plus grande criticité sont les roulements de l'arbre de commande.

3.5. Sélection du roulement critique

3.5.1. Description de l'arbre de commande

L'arbre de commande est le responsable de l'entraînement du ventilateur interne, les palettes et le plateau de distribution. La figure 3.8 représente les trois (3) roulements du l'arbre de commande [2].

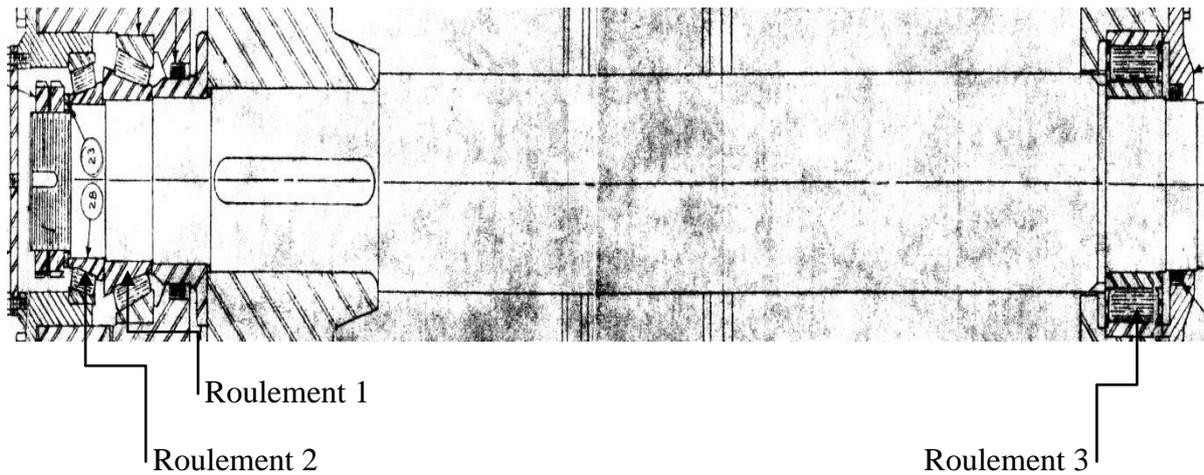


Figure 3.8. Schémas de l'arbre de commande [2]

- Roulement (1) : roulement KB (à rouleaux coniques) TIMKEN 94700-94113
- Roulement (2) : roulement KB (à rouleaux coniques) TIMKEN HH80249-HH840210
- Roulement (3) : roulement RU (à rouleaux cylindriques) HYATT A 5240-TS

3.5.2. Choix du roulement

Afin de sélectionner le roulement critique, on va calculer le pourcentage de défaillance de chaque roulement, voir tableau 3.7.

roulement	Nombre de défaillance	Pourcentage de défaillance (%)
TIMKEN 94700-94113	16	59.25
TIMKEN HH80249-HH840210	7	25.92
HYATT A 5240-TS	4	14.81

Tableau 3.7. Classement des roulements par défaillance

Après avoir calculé le pourcentage des différents roulements de l'arbre de commande, on trace un secteur de pourcentage qui nous permet de détecter le roulement le plus défaillant, pour déterminer les paramètres de fiabilité du roulement sélectionnés, voir la figure 3.9.

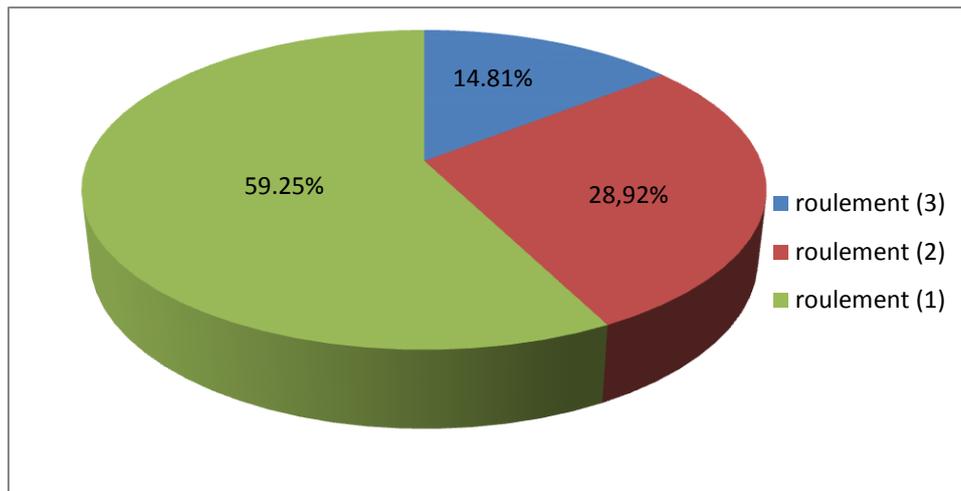


Figure 3.9. Pourcentage de défaillance des roulements

Résultat : Le roulement le plus nombre de défaillance c'est le roulement (1) TIMKEN 94700 94113 (KB)

3.5.3. Description du roulement TIMKEN 94700-94113

C'est un roulement à rouleaux coniques à simple rangée (KB), Il est constitue d'un cône et d'une cuvette. Il est en général monte par paire, voir figure 3.10 [20].

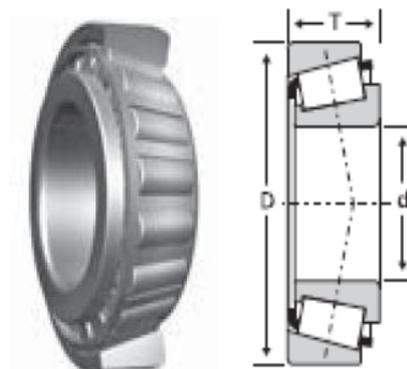


Figure 3.10. Roulement TIMKEN 94700-94113 [20].

Les dimensions du roulement sont représentées dans le tableau 3.8

Catégorie	Roulements à rouleaux coniques
marques	TIMKEN roulements
diamètre intérieur (d)	177.8 mm
diamètre extérieur (D)	288.925 mm
épaisseur (T)	63.5 mm

Tableau 3.8. Dimension du roulement [20].

3.6. Détermination des paramètres de fiabilité de l'organe sélectionné

3.6.1. Préparation des données historiques

Dans le tableau ci-dessus, sont portées dans un ordre croissant de TBF (Temps de bon fonctionnement). on calcul alors les probabilités de défaillances estimées par les fréquences $F(t)$, voir tableau 3.9.

Ordre i	TBF	F estimée	R estimée
1	288	0,05	0,95
2	360	0,11	0,89
3	504	0,18	0,82
4	720	0,24	0,76
5	840	0,31	0,69
6	936	0,37	0,63
7	984	0,44	0,56
8	1152	0,50	0,50
9	1272	0,56	0,44
10	1416	0,63	0,37
11	1488	0,69	0,31
12	1560	0,76	0,24
13	1656	0,82	0,18
14	1728	0,89	0,11
15	1824	0,95	0,05

Tableau 3.9. Préparation des données historiques

3.5.2. Détermination des paramètres de Weibull par la méthode graphique

Sur le papier d'Allan fonctionnel de Weibull, on présente l'ensemble de nœuds $M_i(t_i, F(t_i))$, où t_i représente le temps (ici c'est les TBF) et $F(t_i)$ est la fréquence estimée par les rangs moyens. On remarque de la suite que les nuages des points peuvent être ajustés par une droite D_1 . On trace alors la droite $D_1 // D_2$ et qui passe par l'origine du repère (X, Y) . Cette deuxième droite permet de relever sur le papier fonctionnel de Weibull les deux autres paramètres, voir figure 3.10 [17].

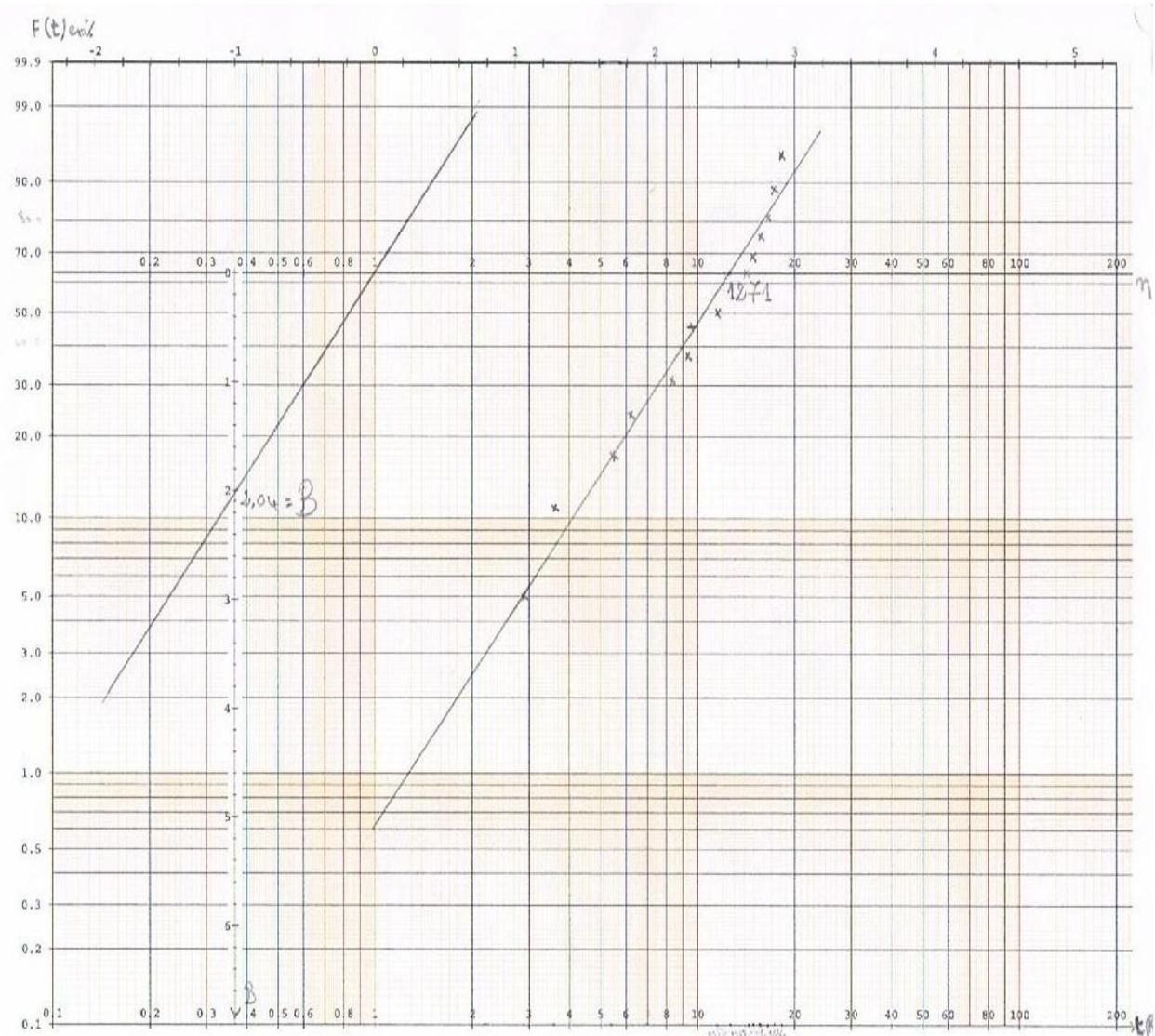


Figure 3.10. Détermination graphique des paramètres de fiabilité

On déduit alors les paramètres de la fiabilité

$$\beta \approx 2.04$$

$$\eta \approx 1271 \text{ h}$$

$$\text{MTBF} = 1122.5 \text{ heures}$$

$$\text{Ecart type } \sigma = 588.4 \text{ heures}$$

3.5.3. Détermination des paramètres de Weibull par la méthode numérique

Le calcul numérique par code de calcul nous donne les valeurs des paramètres de la fiabilité: ($\beta = 2.0318$; $\eta = 1276$ heures). Les résultats sont très proches de celles trouvées graphiquement, voir figure 3.11

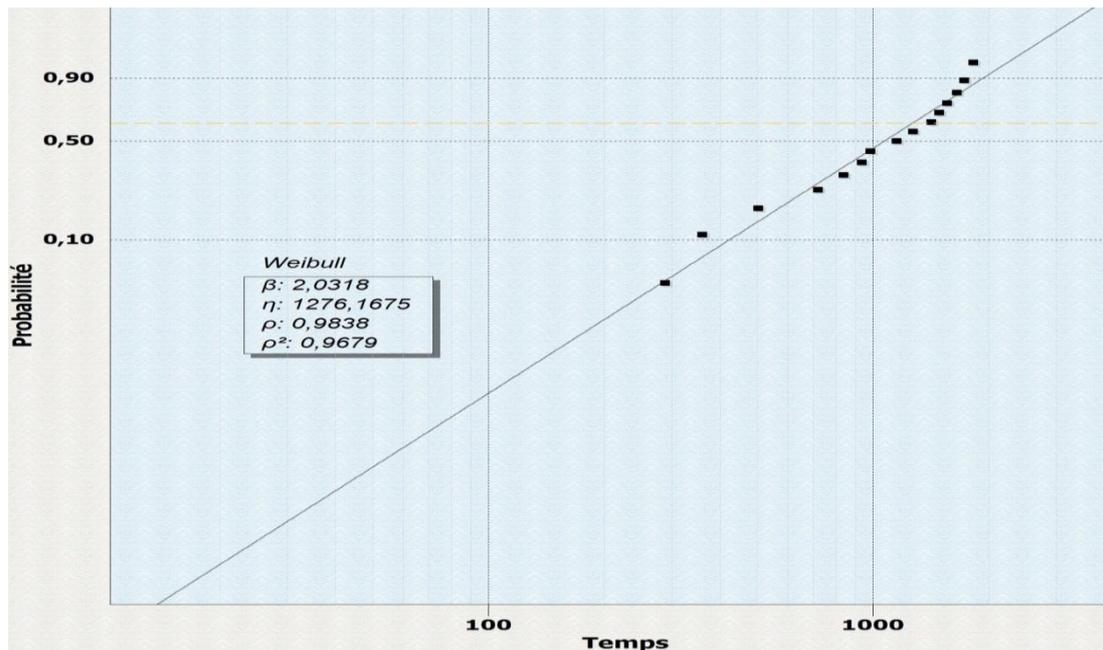


Figure 3.11. Droite de Weibull: code de calcul

3.5.4. Analyse des résultats

Ci-joint le tableau 3.10 récapitulatif et comparatif des résultats déterminés par calcul à l'aide de la loi de weibull.

$$R_{th} = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad ; \quad \lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad ; \quad f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$$

Ordre i	TBF	R th	F th	$\lambda(t)$	$f(t)$
1	288	0,95	0,05	0.342E-03	3.24E-04
2	360	0,92	0,08	0.43 E-03	3.95E-04
3	504	0,85	0,15	0.61E-03	5.81E-04
4	720	0,73	0,27	0.88E-03	6.42E-04
5	840	0,65	0,35	1.04E-03	6.76E-04
6	936	0,58	0,42	1.16E-03	6.72E-04
7	984	0,55	0,45	1.2E-03	6.6E-04
8	1152	0,44	0,56	1.44E-03	6.33E-04
9	1272	0,37	0,63	1.6E-03	5.92E-04
10	1416	0,29	0,71	1.79E-03	5.19E-04
11	1488	0,25	0,75	1.89E-03	4.72E-04
12	1560	0,22	0,78	1.98E-03	4.35E-04
13	1656	0,18	0,82	2.1E-03	3.78E-04
14	1728	0,15	0,85	2.2E-03	3.3E-04
15	1824	0,12	0,88	2.33E-03	2.79E-04

Tableau 3.10. Tableau des résultats

3.5.5. Résultats de la fiabilité

Les courbes des fiabilités sont représentées dans la figure 3.12

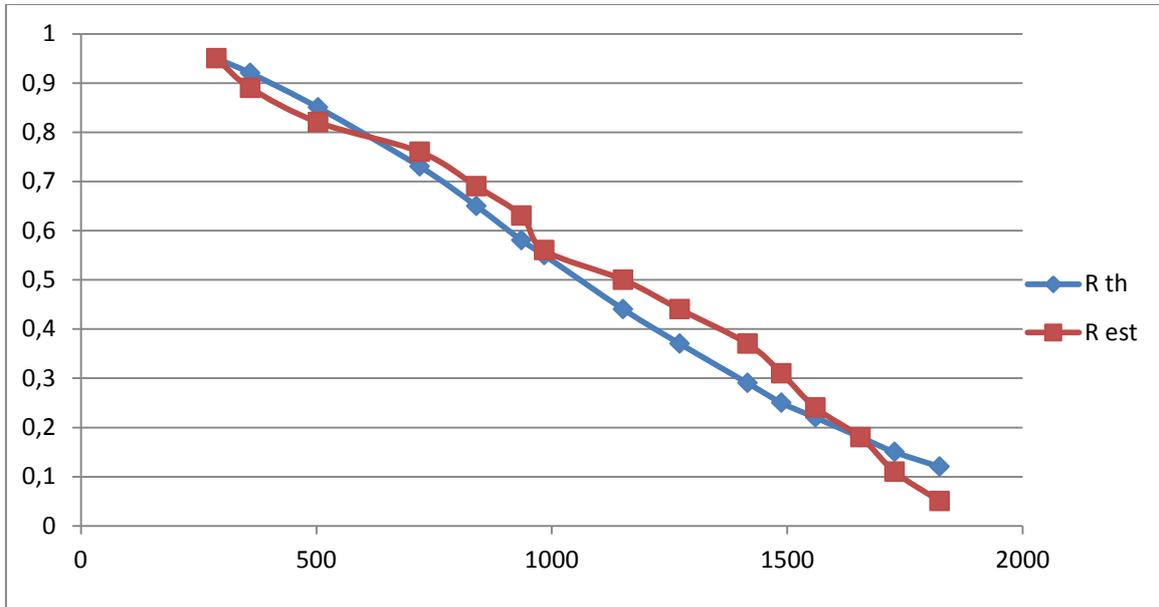


Figure 3.12. Courbes des fiabilités estimées et théorique du roulement

On remarque que les courbes de (R est et R th) sont très proches l'une de l'autre et donnent une bonne corrélation avec les courbes déterminées par le code de calcul, figure (3.13). Ceci nous a permis de valider notre travail de diagnostic et d'expertise sur l'élément le plus défaillant afin d'optimiser la maintenance sur cet équipement.

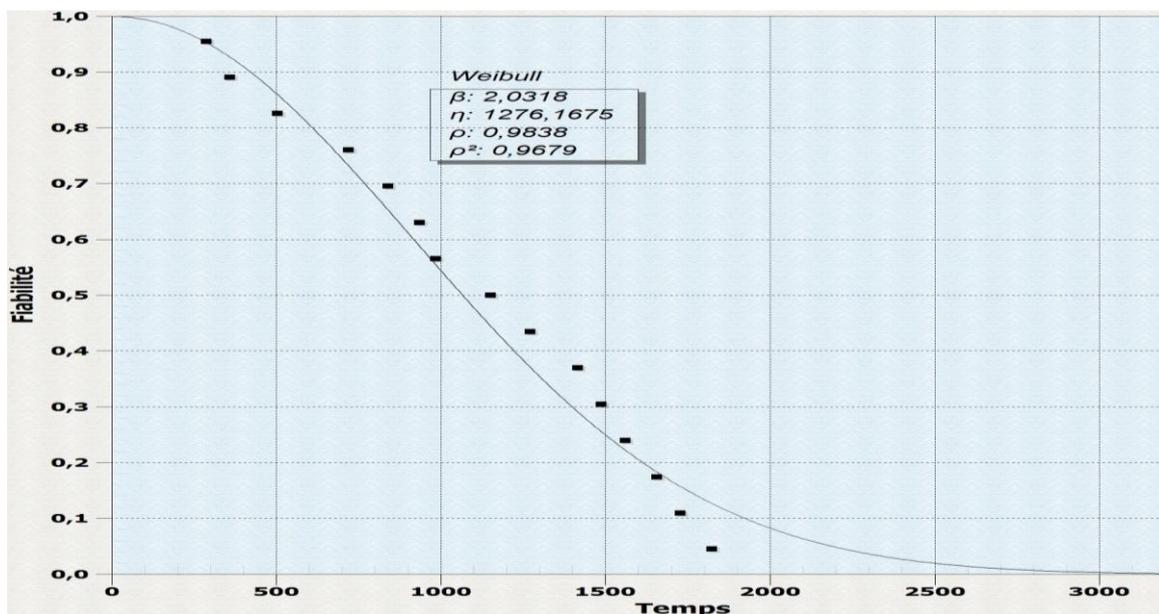


Figure 3.13. Courbe de fiabilité « code de calcul »

3.5.6. Résultats de la répartition

Les courbes de répartition sont représentées dans la figure 3.14.

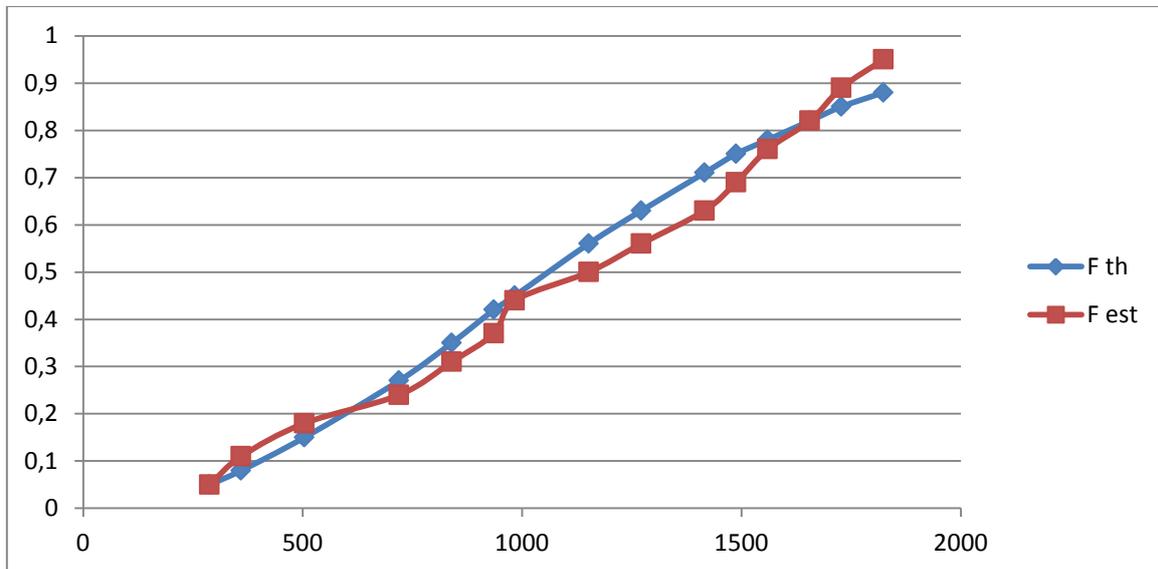


Figure 3.14. Courbes de répartition estimée et théorique du roulement

On remarque que les courbes de (F_{est} et F_{th}) sont très proches l'une de l'autre et elles donnent une bonne corrélation avec les courbes déterminées par le code de calcul, voir figure 3.15.

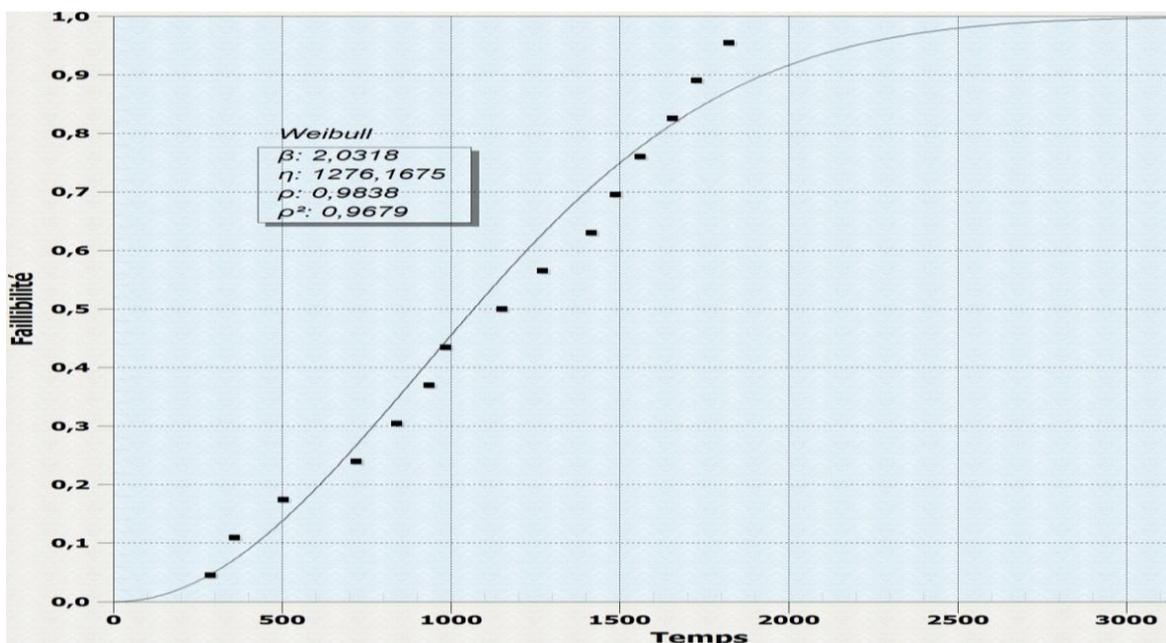


Figure 3.15. Courbe cumulative « code de calcul »

3.5.7. Résultats du taux de défaillance

La courbe du taux de défaillance est représentée dans la figure 3.16

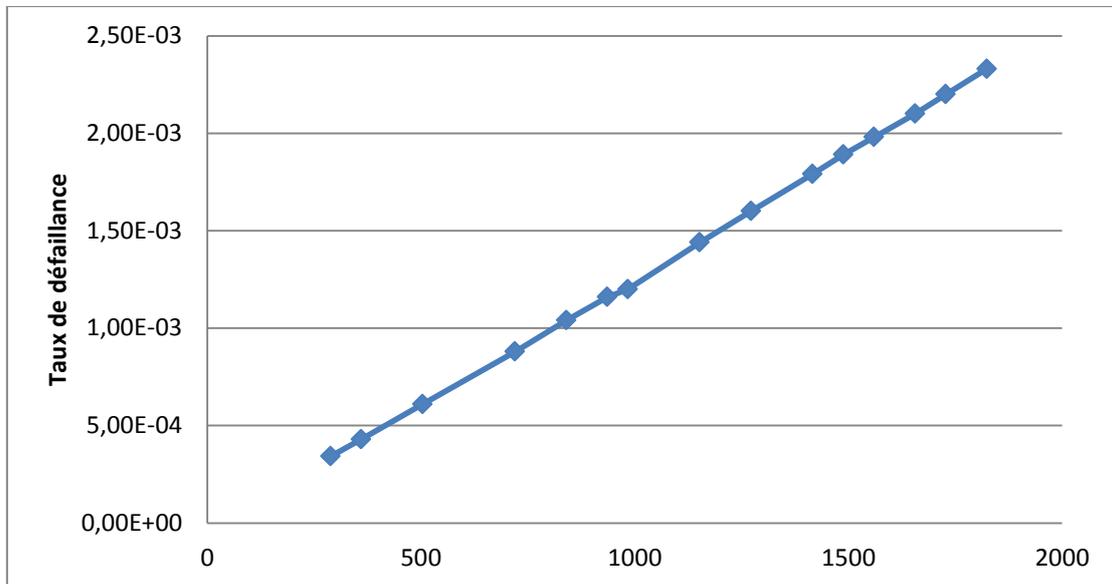


Figure 3.16. Taux de défaillance du roulement

Le taux de défaillance est bien représenté par un tronçon distinct sur les figures (3.16) et (3.17), et montre bien que l'organe étudié subit une défaillance, ce qui est confirmé par le paramètre de forme ($\beta=2.04$), ce qui nécessite au service de maintenance de prévoir un plan préventif pour d'améliorer la production au niveau de l'atelier de broyage cru qui fonctionne actuellement en difficulté.

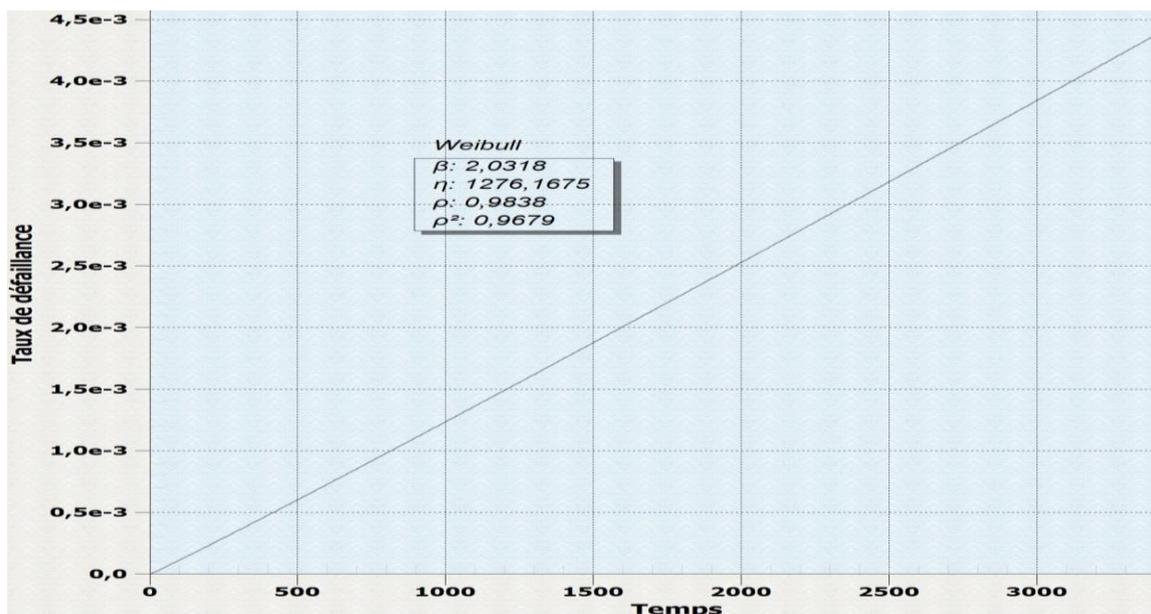


Figure 3.17. Taux de défaillance Weibull « code de calcul »

3.5.8. Résultats de la densité de défaillance

La courbe de la densité de probabilité de défaillance est représentée dans la figure 3.18

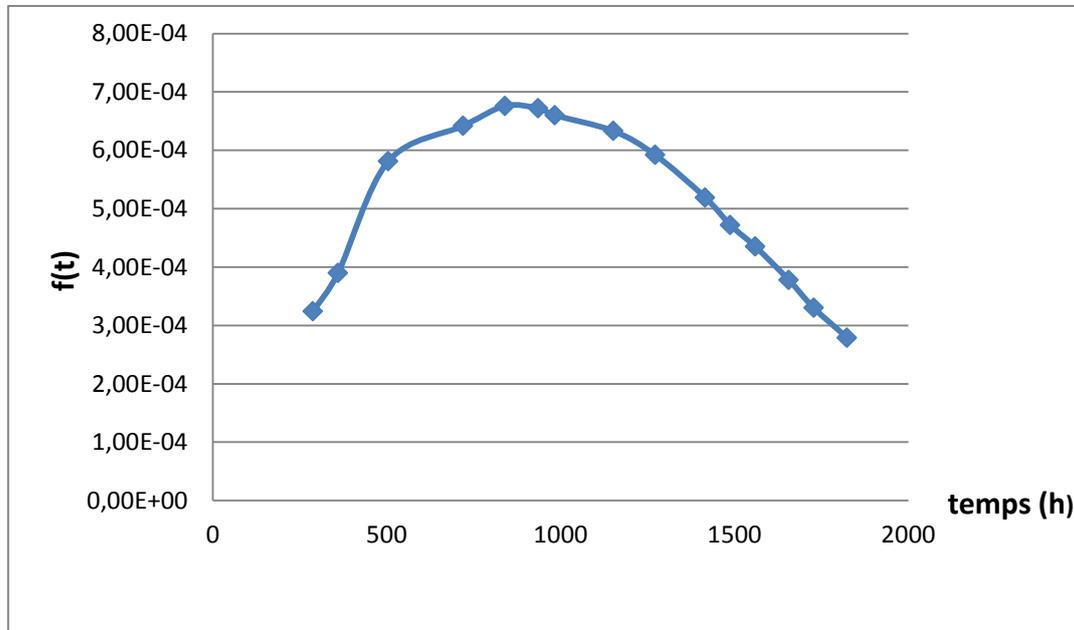


Figure 3.18. Densité de probabilité de défaillance du roulement

On remarque que la courbe de $f(t)$ de la figure 3.18 donne une bonne corrélation avec la courbe déterminée par le code de calcul, voir figure 3.19.

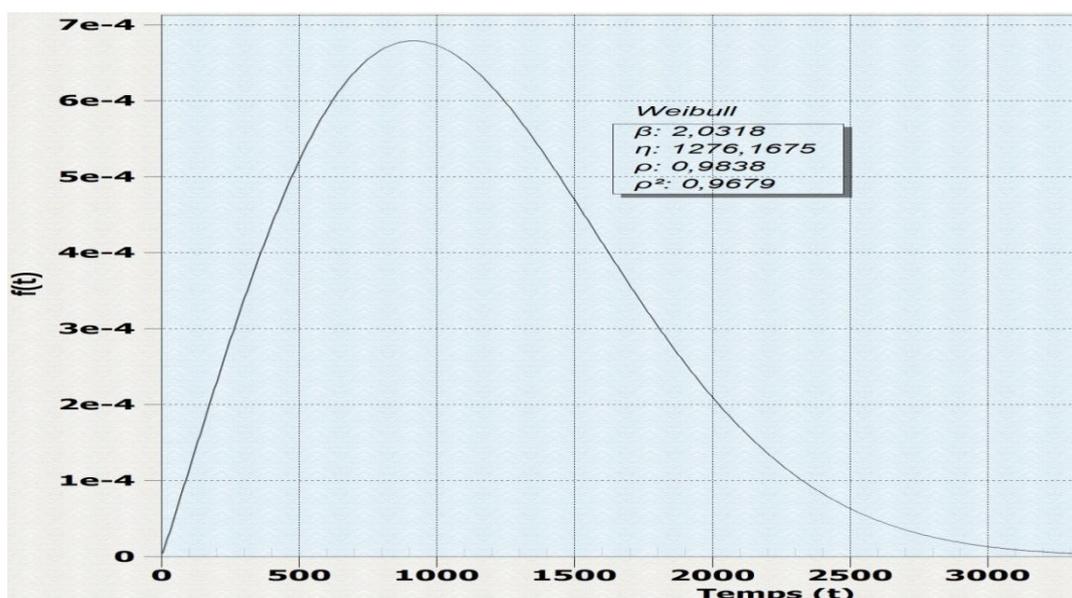


Figure 3.19. Courbe de la densité de probabilité « code de calcul »

3.6. Analyse des résultats trouvés

Au cours de notre étude nous avons constaté que :

- a. Le paramètre β est supérieur à un (1) ; le taux de défaillance est croissant en fonction de temps, donc le roulement est en période de vieillissement.
- b. $2 < \beta < 3$: Donc l'organe est en période de vieillissement par fatigue.
- c. La valeur du MTBF est autours de 1122 h alors que pour un roulement, elle doit être supérieure, selon les recommandations des constructeurs qui proposent une durée de vie nominale de 35000 heures.

- On a : $MTBF = T/N$

$$\Rightarrow T = MTBF \times N = 1122 \times 16 = 17952 \text{ heures}$$

- Avec, T : La durée entre la mise en service jusqu'à la dernière défaillance.
- Et, N : Le nombre de défaillance.
- Alors, on déduit que la durée de vie nominale du roulement est supérieure à la durée de service (T).
- Donc on déduit comme première hypothèse que le roulement est soumis à un sollicitation de fatigue.

3.7. Conclusion

Le travail décrit dans ce chapitre nous a permis d'analyser les types des défaillances pour le bon fonctionnement de la cimenterie. Le choix de notre étude s'est porté sur l'atelier de broyage du cru par la méthode de « PARETO ». En suite on a choisi le séparateur dynamique comme un équipement critique dans l'atelier par la même méthode.

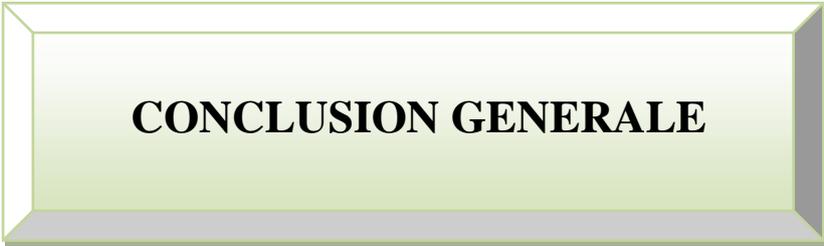
La mise en application de la fiabilité opérationnelle à partir d'un retour d'expérience est primordiale pour le choix d'une politique de la maintenance préventive ou curative. Grâce à la détermination des paramètres de fiabilité d'équipement sélectionné par la méthode d'analyse utilisée en fiabilité, à savoir la méthode « AMDEC », on a déterminé l'organe critique.

L'étude de fiabilité réalisée sur l'organe critique (roulement de l'arbre de commande) montre que nous sommes en face d'un organe en phase de vieillissement par fatigue modélisé par le modèle de Weibull de paramètres (2.04, 1122 h).

On prévoit comme premier résultat de faire un suivi par une maintenance conditionnelle et des visites afin de détecter l'indice de fatigue de ce roulement et prévoir sa défaillance.

Par ailleurs prévoir un système de recherche permanent des défaillances imprévues et de leur criticité et, de faire appel à des techniques prédictives et des inspections qui permettent de vérifier l'état du roulement.

La direction de maintenance au niveau de l'entreprise aura donc un outil très efficace pour le suivi des équipements de l'atelier et pour l'analyse de la fiabilité appliquée. L'avantage de la fiabilité opérationnelle à partir de retour d'expérience est la valeur du coût de d'étude qui est moins cher par rapport à la fiabilité expérimentale qui demande des laboratoires sophistiqués et un personnel hautement qualifié avec des équipements complexes.



CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Le travail présenté dans ce mémoire nous a permis de déterminer l'évaluation de la fiabilité des équipements industriels et leur optimisation par des diagnostics et des méthodes graphiques et numériques. Il n'y a pas des méthodes normalisées pour calculer la fiabilité des systèmes, le choix de la méthode à appliquer se fait en fonction des types d'équipement, de la grandeur des équipements, de la qualité exigée, des moyens disponibles et des données recueillies.

Dans notre travail, nous avons étudié les principales lois utilisées en fiabilité ainsi que les différentes méthodes pour déterminer les paramètres de dégradation qui caractérisent le degré de défaillance et, permettent de bien suivre l'état des équipements afin de choisir correctement le type de la maintenance à appliquer. Après une étude bibliographique, nous avons relevé quatre facteurs essentiels pour le calcul de la fiabilité.

1. Le taux de défaillance ; car le taux de défaillance est une fonction complexe dans chaque phase de la vie des équipements.
2. Le recueil des données de la fiabilité est souvent difficile : Il dépend essentiellement de l'organisation et la gestion de la maintenance.
3. Les défaillances qui ont des origines particulières et complexes.
4. La méthode d'analyse des défaillances dont les systèmes mécaniques sont de plus en plus compliqués et innovants.

On a déduit par la méthode de Pareto que le séparateur dynamique de l'atelier broyage cru est le plus sensible et influent directement sur les couts de la maintenance et sur la production en générale. Ensuite on a déduit par l'AMDEC que les roulements de l'arbre de commande sont les plus critiques.

En terme de perspective, nous envisageons la détermination des paramètres de fiabilité et la période optimale de maintenance préventive par un code de calcul évolué qui permet d'orienter directement le type de maintenance en fonction des données. Ainsi, on prévoit le traitement de beaucoup plus de données dans un délai très court et de mettre en place une maintenance prévisionnelle gérée par modélisation et simulation numérique.

Bibliographie

- [1] Manuel d'entretien de la société algérienne des ciments (S.C.I.B.S.), 1994, P 1025
- [2] Fiche technique de la société algérienne des ciments (S.C.I.B.S.), 1998
- [3] [Http: //www.scibs-dz.com](http://www.scibs-dz.com)
- [4] [Http: //www.nouvelleusine.com](http://www.nouvelleusine.com)
- [5] S. Fougeresse, Pratique de la maintenance industrielle par le coût global, 2000
- [6] Afnor 1998, fiabilité-maintenabilité-disponibilité, recueil des normes françaises, afnor 1998.
- [7] M. Aidi, gestion coopératives des objectifs de simulation de produits industriels ; Colloque IPI Autrans 22-23 janvier 2004.
- [8] S. Bassetto, S. Hubac, méthode employant les connaissances d'experts, Colloque C2EI Nancy 1-2 décembre 2004.
- [9] Le guide de l'AMDEC Machine, publications CETIM, 2003
- [10] L. Ould Mohamed, Méthodes de maintenance, Institut Supérieur d'Enseignement de Technologique de Rosso Sénégal, 2008/2009.
- [11] [Http://www.directive.fr/articles/BPR.html](http://www.directive.fr/articles/BPR.html)
- [12] P. Chapouille, les outils et méthodes de la gestion de la qualité, 2004.
- [13] F. Monch, Maintenance, méthode et Organisation, édition "Usine Nouvelle", Paris. 2004.
- [14] B. Guy Peret, La Fiabilité Industrielle, édition "Eyrolles", 1969.
- [15] P. Chapouille, Fiabilité et maintenabilité. Les techniques de l'ingénieur ; traité de l'entreprise industrielle, Edition Eyrolles 1999.
- [16] O. Tebbi, Estimation des lois de fiabilité en mécanique par les essais accélérés, Thèse de doctorat, École Doctorale, Angers, 2005
- [17] J. Bufferne, Fiabiliser les équipements industriels, édition Eyrolles, 2008
- [18] [Http://www.infres.enst.frpeoplesaglioessimQSI...eric.pdf](http://www.infres.enst.frpeoplesaglioessimQSI...eric.pdf).
- [19] J. Foucher, Pratique de l'AMDEC, édition Dunod, Paris, 2004
- [20] [Http://www.gil-automotive.com/archives/Cattimken.p](http://www.gil-automotive.com/archives/Cattimken.p)