

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA  
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ ABOU BEKR BELKAID FACULTÉ DE TECHNOLOGIE  
**DÉPARTEMENT DE GÉNIE MÉCANIQUE**

*Mémoire de Master*  
**Spécialité : Génie Mécanique**  
**Option : Maintenance Industrielle**

Présenté par : BELABED Youssouf

## THÈME

**ÉTUDE DE LA DÉGRADATION DES ORGANES  
CRITIQUE DU BROYEUR CRU AU NIVEAU DU  
COMPLEXE « S.C.I.B.S » BENI-SAF**

Soutenu : le Mois de Juin 2015

Devant le jury :

Encadreur	: KERBOUA Bachir	Professeur	UABB-Tlemcen
Président	: MANGOUCI Ahmed	MAA	UABB-Tlemcen
Examineur	: GUEZEN Samir	MCB	UABB-Tlemcen
Examineur	: BELKAID Mohamed	MAA	UABB-Tlemcen
Invité	: BELKADI Mohamed	Directeur Technique	S.C.I.B.S
Invité	: BENALAL Abdelkrim	Responsable maintenance	S.C.I.B.S
Invité	: BENSAFI Mourad	Ingénieur	S.C.I.B.S
Invité	: BENSAFI Smain	Ingénieur	S.C.I.B.S
Invité	: ALAM Mohammed	Ingénieur	S.C.I.B.S

Année universitaire : 2014-2015

## REMERCIEMENTS

*Je remercie ALLAH Le Tout Puissant de m'avoir donné le courage, la volonté et la patience de mener à terme ce présent travail.*

*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 **BENALAL Abdelkrim**, 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 remerciements vont également à la société « S.C.I.B.S », pour avoir accepté de me recevoir en stage pratique. Ainsi que les cadres de la cimenterie qui m'ont aidé de près ou de loin à l'aboutissement de ce travail particulièrement les ingénieurs du département préventif monsieur **LAOUEDJ Houari** et **SEGHIOWER Mohamed**.*

*Mes plus vifs remerciements s'adressent à Monsieur **MANGOUCI Ahmed**, enseignant au département de mécanique, de m'avoir fait l'honneur d'accepter la présidence de ce jury. QUE Messieurs **GUEZEN Samir** et **Belkaïd Mohamed**, 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, mes sœurs, et toute la famille Belabed.*

*A tous les enseignants du département de Génie Mécanique.*

*A mes amis*

*A tous mes amis de la promotion maintenance industrielle (2014-2015) sans préciser leurs noms.*

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

*BELABED Youssouf*

## RÉSUMÉ

Ce projet de fin étude traite le problème d'optimisation de la fonction maintenance. Il a pour objectif de cerner les différents équipements du processus de fabrication tout en cherchant celles qui présentent les défaillances les plus critiques. Par la suite il consiste à identifier les organes élémentaires de ces équipements.

Nous avons utilisé les lois de la fiabilité et les méthodes d'analyse (AMDEC et ABC) pour focaliser les efforts sur les défaillances des équipements qui causent la majorité des effets nuisibles à la maintenance, à la production et à la qualité. On a fait suivi notre travail par une application de la loi de "Weibull". Afin de déterminer la durée de vie d'organe critique, par un méthodes graphique et analytique 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.

**Mots clés :** Diagnostic, Fiabilité, Défaillance, Maintenance industrielle, Weibull

## ABSTRACT

This final project study addresses the problem of maintenance optimization function. It aims to identify the different equipment in the manufacturing process while seeking those with the most critical failures. Thereafter it is to identify the elementary components of this equipment.

We used the laws of reliability and methods of analysis ( FMEA and ABC ) to focus efforts on equipment failures that cause the majority of adverse effects to maintenance , production and quality . It was followed our work by applying "Weibull" model. To determine the life of critical organ, by a graphic and numerical methods for determining the fault parameters, which are used for evaluating the rate of degradation of the equipment and determine the type of maintenance required.

**Keywords:** Diagnosis, Reliability, failure, Industrial Maintenance, Weibull

## ملخص

تتناول هذه الدراسة النهائية للمشروع التخرج المشكلة من تحسين وظيفة إدارة الصيانة . انها تهدف الى التعرف على معدات مختلفة في عملية التصنيع في الوقت الذي تسعى إلى تحديد المعدات التي لديها الفشل الأكثر أهمية . بعد ذلك هو تحديد العناصر الأساسية لهذه المعدات.

استخدمنا قوانين الموثوقية و طرق التحليل (AMDEC و ABC) لتركيز الجهود على فشل المعدات التي تسبب معظم الآثار السلبية لصيانة والإنتاج و الجودة. وأعقب ذلك عملنا بتطبيق قانون " Weibull " . لتحديد عمر العضو المدروس ، من خلال أساليب بيانية و تحليلية لتحديد معالم الفشل ، والتي تستخدم لتقييم معدل تدهور المعدات و تحديد نوع الصيانة المطلوبة .

**كلمات البحث :** التشخيص، النجاعة، الفشل، الصيانة الصناعية.

## TABLE DES MATIÈRES

<b>REMERCIEMENTS</b> .....	I
<b>DÉDICACE</b> .....	II
<b>RÉSUMÉ</b> .....	III
<b>TABLE DES MATIÈRES</b> .....	IV
<b>LISTE DES FIGURES</b> .....	XI
<b>LISTE DES TABLEAUX</b> .....	XIV
<b>LISTE DES SYMBOLES</b> .....	XV
<b>INTRODUCTION GÉNÉRALE</b> .....	1

### CHAPITRE 1 - PRÉSENTATION ET SITUATION DE L'ENTREPRISE

<b>1.1. Introduction</b> .....	3
<b>1.2. Présentation de la cimenterie de BENI-SAF</b> .....	3
<b>1.3. Organisation de la cimenterie</b> .....	4
1.3.1. Direction générale.....	4
1.3.2. Direction de finance et comptabilité (D.F.C).....	4
1.3.3. Direction des ressources humaines (D.R.H).....	5
1.3.4. Direction de production.....	5
1.3.5. Direction technique.....	5
<b>1.4. Fabrication du ciment</b> .....	6
1.4.1. Constituants.....	7
1.4.2. Processus de fabrication du ciment.....	7
1.4.2.1. Extraction de la matière première.....	8
1.4.2.2. Concassage.....	9
1.4.2.3. Pré-homogénéisation.....	9
1.4.2.4. Broyage du cru.....	11
a) Broyeur Bi-rotateur.....	11

b) Séparateur dynamique .....	12
c) Séparateur statique.....	12
d) Elévateur à godet .....	13
e) Electro filtre .....	14
f) Silos d'homogénéisation .....	14
1.4.2.5. Cuisson.....	15
a) Préchauffeur à cyclones voie sèche .....	15
b) Four rotatif.....	15
c) Refroidisseur.....	16
d) Ventilateur .....	16
e) Filtre à manche .....	17
1.4.2.6. Broyage du ciment .....	17
a) Broyeur .....	17
b) Séparateur dynamique .....	18
c) Electro filtre .....	18
1.4.2.7. Ensachage et expédition.....	18
<b>1.5. Conclusion.....</b>	<b>19</b>

## CHAPITRE 2 - MAINTENANCE ET FIABILITÉ DES ÉQUIPEMENTS INDUSTRIELS

<b>2.1. Introduction.....</b>	<b>21</b>
<b>2.2. Description de la maintenance.....</b>	<b>21</b>
2.2.1. Définitions .....	21
2.2.2. Objectifs de la maintenance .....	21
2.2.3. Stratégie de la maintenance .....	22
<b>2.3. Service maintenance .....</b>	<b>22</b>
2.3.1. Fonctions du service maintenance .....	22
2.3.1.1. Fonction étude .....	22

2.3.1.2. Fonction préparation .....	22
2.3.1.3. Fonction ordonnancement.....	23
2.3.1.4.Fonction réalisation.....	23
2.3.1.5. Fonction gestion.....	23
2.3.2. Domaines d'action du service maintenance .....	23
2.3.3. Organisation du service maintenance .....	23
2.3.3.1. Maintenance centralisée.....	24
2.3.3.2. Maintenance décentralisée.....	24
2.3.5. Management de la maintenance.....	24
<b>2.4. Concepts de la maintenance.....</b>	<b>24</b>
2.4.1. Événements de l'origine de l'action .....	24
2.4.2. Méthodes de la maintenance.....	25
2.4.2.1. Maintenance corrective.....	25
2.4.2.2. Maintenance préventive.....	26
a) Maintenance préventive systématique.....	26
b) Maintenance préventive conditionnelle.....	26
2.4.3. Opérations de maintenance .....	28
2.4.3.1. Opérations de maintenance corrective.....	28
2.4.3.2. Opérations de maintenance préventive.....	28
<b>2.5. Les cinq niveaux de maintenance .....</b>	<b>29</b>
<b>2.6. Méthodes d'optimisation de la maintenance .....</b>	<b>30</b>
2.6.1. Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effet et de leur Criticité (AMDEC).....	30
2.6.1.1 Objectifs de l'A.M.D.E.C " moyen de production ".....	32
2.6.1.2 Criticité des conséquences.....	32
2.6.1.3. Méthodologie.....	33
2.6.1.4. Principe de base.....	33
2.6.1.5. L'analyse fonctionnelle.....	33

2.6.1.6. L'analyse des défaillances.....	35
2.6.2. Diagramme de « Pareto ».....	37
2.6.2.1. Présentation.....	37
2.6.2.2. Fonction.....	37
2.6.2.2. Construction du diagramme de « Pareto » .....	37
2.6.2.3. Analyse des résultats.....	38
2.6.3. Optimisation de la Maintenance basée sur la Fiabilité (OMF).....	39
<b>2.7. Gestion de la maintenance assisté par ordinateur (GMAO).....</b>	<b>40</b>
2.7.1. Les différents modules de GMAO.....	40
<b>2.8. Conclusion.....</b>	<b>41</b>
<b>CHAPITRE 3 - ÉTUDE ET ANALYSE DES LOIS DE LA FIABILITÉ</b>	
<b>3.1. Introduction.....</b>	<b>43</b>
<b>3.2. Définition .....</b>	<b>43</b>
3.3. Fiabilité et qualité .....	43
<b>3.4. Notions liés à la fiabilité.....</b>	<b>43</b>
3.4.1. Fonction fiabilité ou fonction de survie .....	44
3.4.2. Taux de défaillance instantané .....	44
3.4.3. Temps moyen de bon fonctionnement.....	45
<b>3.5. Lois de probabilités en fiabilité.....</b>	<b>46</b>
3.5.1. Loi exponentielle .....	46
3.5.2. La loi normale (Laplace-Gauss) .....	47
3.5.3. Analyse de la fiabilité à partir du modèle de "Weibull" .....	48
<b>3.6. Conclusion.....</b>	<b>49</b>
<b>CHAPITRE 4 – ÉTUDE DE FONCTIONNEMENT DU BROÛEUR BI-ROTATEUR</b>	
<b>4.1. Introduction.....</b>	<b>51</b>
<b>4.2. Généralités sur le broyage.....</b>	<b>51</b>

4.2.1. Circuit Matière de broyage .....	52
4.2.2. Théorie de broyage .....	53
<b>4.3. Description de broyeur Bi-rotateur.....</b>	<b>53</b>
<b>4.4. Etude les éléments constitutifs du broyeur Bi-rotateur .....</b>	<b>54</b>
4.4.1. Virole .....	54
4.4.2. Corps broyant (boulets) .....	55
4.4.2.1. Charge de corps broyant .....	55
4.4.2.2. Qualité des charges broyant.....	55
4.4.2.3. Taux d'usure.....	56
4.4.3. Equipement de blindages .....	56
4.4.3.1. Plaques de levage.....	57
4.4.3.2. Blindages de relevage .....	57
4.4.3.3. Blindages classant.....	57
4.4.3.4. Blindages d'entrée .....	58
4.4.3.5. Montages des plaques de blindage .....	60
4.4.3.6. Durée de vie des blindages .....	60
4.4.4. Paliers porteurs .....	60
4.4.5. Cloisons de transfert .....	61
4.4.5.1. Cloison intermédiaire.....	61
4.4.5.2. Cloison de décharge centrale .....	62
4.4.5.3. Grilles et les lumières de la cloison .....	63
4.4.5.4. Durée de vie des grilles de la cloison .....	63
4.4.6. Groupe d'entraînement .....	64
4.4.6.1. Couronne et pignons .....	64
1) Couronne à denture droite .....	64
2) Pignons .....	64
4.4.6.2. Groupes de commande .....	64

1) Moteur principal TNB 800L 6.....	65
2) Moteur de virage JSNF 180L 4 .....	65
3) Réducteur principal H2H 328.....	65
4) Réducteur de virage H3H 27.2 .....	65
5) Accouplement FLEXACIER (43 TL 2, 70 TL 2) .....	65
6) Coupleur hydraulique XR 370.....	66
7) Dispositif d'encliquetage.....	66
8) Dispositif de sécurité en dévirage.....	66
<b>4.5. Conclusion .....</b>	<b>66</b>
 <b>CHAPITRE 5 - ANALYSE DE LA FIABILITÉ DES ÉQUIPEMENTS DU BROÏEUR BI-ROTATEUR</b>	
<b>5.1. Introduction.....</b>	<b>68</b>
<b>5.2. Analyse par la méthode PARETO .....</b>	<b>68</b>
5.2.1. Découpage de l'entreprise S.C.I.B.S .....	68
5.2.2. Construction du diagramme de Pareto des ateliers.....	69
5.2.2.1. Par le coût indirect.....	69
5.2.2.2. Par le coût direct .....	70
5.2.3. Découpage de l'atelier broyage du cru .....	71
<b>5.3. Analyse par la méthode « AMDEC ».....</b>	<b>73</b>
5.3.1. Décomposition fonctionnelle de Broyeur du Cru .....	73
5.3.2. Définition des critères d'analyse de l'AMDEC .....	74
5.3.2.1. Calcul de la criticité .....	75
5.3.2.2. Classement de criticité.....	75
5.3.2.3. Grille de cotation .....	75
5.3.3. Application au broyeur du cru .....	75
5.3.4. Classement les résultants de criticité .....	79
<b>5.4. Application du modèle de Weibull sur la défaillance des boulons de fixation .....</b>	<b>79</b>

5.4.1. Préparations des données historiques .....	79
5.4.2. Détermination des paramètres de Weibull.....	79
5.4.2.1. Méthode graphique .....	79
5.4.2.2. Méthode numérique .....	82
5.4.3. Analyse et discussion des résultats .....	88
<b>5.5. Conclusion .....</b>	<b>89</b>
<b>CONCLUSION GÉNÉRALE.....</b>	<b>90</b>

**LISTE DES FIGURES**

	Page
<b>Figure 1.1</b> Cimenterie du BENI-SAF.....	4
<b>Figure 1.2</b> Organigramme de S.C.I.B.F.....	6
<b>Figure 1.3</b> Composants du ciment.....	7
<b>Figure 1.4</b> Processus de fabrication du ciment.....	8
<b>Figure 1.5</b> Extraction de la matière première.....	8
<b>Figure 1.6</b> Concassage .....	9
<b>Figure 1.7</b> Stacker .....	10
<b>Figure 1.8</b> Roue-pelle .....	10
<b>Figure 1.9</b> Broyeur cru.....	11
<b>Figure 1.10</b> Séparateur dynamique .....	12
<b>Figure 1.11</b> Séparateur statique .....	13
<b>Figure 1.12</b> Elévateur à godet .....	13
<b>Figure 1.13</b> Electro filtre .....	14
<b>Figure 1.14</b> Différentes étapes de la cuisson.....	15
<b>Figure 1.15</b> Four rotatif.....	16
<b>Figure 1.16</b> Filtre à manche.....	17
<b>Figure 1.17</b> Broyeur à ciment.....	18
<b>Figure 1.18</b> Silos de stockage.....	19
<b>Figure 2.1</b> Méthodes de la maintenance et les opérations de la maintenance.....	25
<b>Figure 2.2</b> Principe de la maintenance conditionnelle .....	27
<b>Figure 2.3</b> Différents type d'AMDEC fiabilité .....	31
<b>Figure 2.4</b> l'analyse descendante.....	34

<b>Figure 2.5</b> Méthode de la pieuvre.....	34
<b>Figure 2.6</b> diagrammes de flux.....	35
<b>Figure 2.7</b> l'arborescence.....	35
<b>Figure 2.8</b> Identification partielle des facteurs influençant la fiabilité.....	36
<b>Figure 2.9</b> Courbe ABC.....	38
<b>Figure 2.10</b> Méthode OMF.....	39
<b>Figure 3.1</b> La fiabilité décroissante avec le temps .....	44
<b>Figure 3.2</b> Évolution du taux de défaillance en courbe « baignoire » .....	45
<b>Figure 3.3</b> Représentation graphique de la loi exponentielle : Échelle linéaire.....	47
<b>Figure 3.4</b> Représentation graphique de la loi exponentielle : Échelle semi-logarithmique...47	
<b>Figure 3.5</b> Principales propriétés de la distribution de Weibull .....	49
<b>Figure 4.1</b> Circuit fermé (broyeur, séparateur à cyclones, avec séparateur statique)... ..	52
<b>Figure 4.2</b> Broyeur Bi-rotateur à décharge périphérique centrale .....	53
<b>Figure 4.3</b> Virole de broyeur Bi-rotateur .....	54
<b>Figure 4.4</b> Corps broyant .....	55
<b>Figure 4.5</b> Zone morte dans le 1 <sup>er</sup> compartiment .....	57
<b>Figure 4.6</b> Effet de la force centrifuge .....	58
<b>Figure 4.7</b> Croquis d'une plaque boulonnée .....	60
<b>Figure 4.8</b> Cloison intermédiaire .....	61
<b>Figure 4.9</b> Cloison de décharge centrale .....	62
<b>Figure 4.10</b> Lumières des grilles de cloison .....	63
<b>Figure 4.11</b> Accouplement FLEXACIER.....	65
<b>Figure 4.12</b> Coupleur hydraulique.....	66
<b>Figure 5.1</b> Découpage de l'entreprise S.C.I.B.S.....	68

<b>Figure 5.2</b> Diagramme de Pareto des coûts indirects (l'indisponibilité des ateliers).....	70
<b>Figure 5.3</b> Diagramme de Pareto des coûts directs des ateliers.....	71
<b>Figure 5.4</b> Découpage de l'atelier broyage cru.....	71
<b>Figure 5.5</b> Diagramme de Pareto des équipements de l'atelier broyage du cru.....	73
<b>Figure 5.6</b> Décomposition fonctionnelle du Broyeur Cru.....	74
<b>Figure 5.7</b> Détermination graphique des paramètres de Weibull.....	81
<b>Figure 5.8.</b> Droite de Weibull du système de fixation.....	82
<b>Figure 5.9.</b> Courbe de Weibull : ( <i>Weibull 2.07.9</i> ).....	82
<b>Figure 5.10.</b> Courbe de fiabilité $R(t)$ et la courbe de répartition $F(t)$ .....	84
<b>Figure 5.11.</b> Courbe de fiabilité $R(t)$ ( <i>Weibull 2.07.9</i> ).....	84
<b>Figure 5.12.</b> Courbe de répartition $F(t)$ ( <i>Weibull 2.07.9</i> ).....	85
<b>Figure 5.13.</b> Taux de défaillance $\lambda(t)$ .....	85
<b>Figure 5.14.</b> Taux de défaillance $\lambda(t)$ ( <i>Weibull 2.07.9</i> ).....	86
<b>Figure 5.15.</b> Comparaison Taux de défaillance $\lambda(t)$ avec le modèle Weibull.....	86
<b>Figure 5.16.</b> Densité de probabilité de défaillance $f(t)$ .....	87
<b>Figure 5.17.</b> Densité de probabilité de défaillance $f(t)$ Weibull ( <i>Weibull 2.07.9</i> ).....	87
<b>Figure 5.18.</b> Comparaison de la densité $f(t)$ avec le modèle Weibull.....	88
<b>Histogramme 5.1</b> Classement les résultants de criticité.....	79

LISTE DES TABLEAUX

	Page
<b>Tableau 4.1</b> Charge de corps broyant .....	55
<b>Tableau 4.2</b> Avantages et les inconvénients de ces différents boulets .....	55
<b>Tableau 4.3</b> Taux d'usure .....	56
<b>Tableau 4.4</b> Equipements de blindages .....	57
<b>Tableau 4.5</b> Durée de vie des blindages .....	60
<b>Tableau 4.6</b> Durée de vie des grilles .....	63
<b>Tableau 5.1</b> Tableau de classement des ateliers par coût indirect.....	69
<b>Tableau 5.2</b> Tableau de classement des ateliers par coût direct.....	70
<b>Tableau 5.3</b> Tableau de classement des équipements de l'atelier broyage du cru.....	72
<b>Tableau 5.4</b> Analyse des modes de défaillance et de leur criticité.....	74
<b>Tableau 5.5</b> Echelle de Criticité « C ».....	75
<b>Tableau 5.6</b> Grille de cotation.....	76
<b>Tableau 5.7</b> Analyse du groupe de commande.....	76
<b>Tableau 5.8</b> Analyse du Paliers porteurs.....	77
<b>Tableau 5.9</b> Analyse du couronne et pignons d'attaque.....	77
<b>Tableau 5.10</b> Analyse du tube broyeur.....	78
<b>Tableau 5.11</b> Préparation des données historiques.....	82
<b>Tableau 5.12</b> Tableau des résultats.....	83
<b>Tableau 5.13</b> Comparaison des paramètres de Weibull.....	88

## LISTE DES SYMBOLES

AMDEC	Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis
MTBF	Mean Time Between Failures (Moyenne des temps de bon fonctionnement)[heurs]
OMF	Optimisation de la Maintenance par la Fiabilité
MBF	Maintenance Basée sur la Fiabilité
TPM	Maintenance Productive Totale
MTRR	Mean Time To Repair (Moyenne des Temps Techniques de Réparation)[heurs]
MTTA	Mean Time of To Arrival (Moyenne des Temps Techniques d'Arrêt) [heurs]
TBF	Temps de bon fonctionnement avant la première défaillance. [heurs]
GMAO	Gestion de maintenance assistée par ordinateur
$\lambda(t)$	Taux de défaillance. [%]
$\mu(t)$	Taux de réparation. [%]
$N(t)$	Nombre des survivants à l'instant t
$F(t)$	Fonction de répartition [%]
$N$	Nombre d'éléments défaillants
$R(t)$	Fiabilité au temps (t) [%]
$E(t)$	Espérance mathématique
$P_b$	Probabilité [%]
$T$	variable aléatoire caractérisant l'instant de défaillance du dispositif [heurs]
$\sigma$	Ecart-type
$\mu$	Densité de probabilité d'une loi normale de moyenne
$t$	Temps (h)

$\beta$	Paramètre de forme de "Weibull"
$\eta$	Paramètre d'échelle de "Weibull"
$\gamma$	Paramètre de position de "Weibull"
$\Gamma$	La fonction Gama
G	indice de la gravité
F	indice de la fréquence
D	indice de la détection
C	indice de la criticité
HB	Dureté Brinell [N/mm <sup>2</sup> ]
HRC	Dureté Rockwell [N/mm <sup>2</sup> ]

# **INTRODUCTION GÉNÉRALE**

### INTRODUCTION GÉNÉRALE

Actuellement la maintenance industrielle à une grande importance dans les entreprises productives, qui a pour vocation d'assurer le bon fonctionnement des équipements de production. Qui est liée à l'incessant développement technologique, à la nécessité de réduire les coûts de production, elle est en constante évolution. Elle n'a plus aujourd'hui comme seul objectif de réparer l'équipement de production mais aussi de prévoir et éviter les dysfonctionnements. Ainsi la recherche d'améliorations des systèmes de production.

Comme l'outil de production comporte plusieurs processus et activités, on ne peut pas leurs réserver tous la même attention. il convient donc d'identifier ceux qui sont critiques sur lesquels il faut agir en priorité. Dans ce projet de fin études, nous proposons des méthodes d'élaboration d'un plan de maintenance basée sur la théorie de la fiabilité (détermination des MTBF, taux de défaillance, les périodes d'interventions), puis l'élaboration d'une méthode pour améliorer la durée de vie de système a étude et enfin la proposition des amélioratives sur ce dispositif.

Dans le premier chapitre, nous nous attèlerons à une brève présentation de l'entreprise « S.C.I.B.S » en termes d'organisation de l'entreprise, de la nature de ses produits et de l'agencement de son processus de fabrication.

Dans le deuxième et le troisième chapitres, 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 quatrième chapitre, nous étudions le broyeur Bi-rotateur de la zone de broyage-cru notée (BC) on analyser les différentes fonctions. Et une description enrichie par des schémas des différents composants formants le système.

Dans le cinquième chapitre, nous avons entamé le problème de maintenance selon une approche probabiliste et statistique. Le logiciel de la gestion de la maintenance assistée par ordinateur (GMAO) de l'entreprise est exploité afin de mettre en évidence le problème de maintenance.

**CHAPITRE 1**

**PRÉSENTATION ET SITUATION DE**

**L'ENTREPRISE**

## CHAPITRE 1 PRÉSENTATION ET SITUATION DE L'ENTREPRISE

*On présentera dans ce chapitre l'entreprise de la cimenterie de BENI-SAF (S.C.I.B.S) et on donne une vision globale sur l'entreprise. On présentera dans la première partie l'entreprise et son organisation actuelle. Dans la deuxième partie, on présentera le processus de la fabrication du ciment.*

### **1.1. Introduction**

Le terme « ciment » est issu du latin *coementum* qui signifie mortier. Ce sens étymologique a donc été à peu près conservé ; il s'est toutefois restreint aux seuls liants dits hydrauliques (parce qu'ils sont capables de durcir sous l'eau), dont le durcissement est dû aux réactions chimiques d'hydratation des silicates et des aluminates de chaux.

Le ciment est généralement fabriqué en cuisant vers 1450°C des mélanges de calcaire et d'argile. On obtient alors des nodules durs, appelés clinkers ; c'est en broyant très finement ceux-ci, additionnés d'un peu de gypse, qu'on produit le ciment Portland. D'autres types de ciment peuvent être obtenus en mélangeant ce clinker broyé avec des constituants, broyés également, qui présentent des propriétés hydrauliques ou pouzzolanes : ce sont soit des laitiers de hauts fourneaux granulés, soit des cendres volantes ou encore des pouzzolanes, naturelles ou artificielles [5].

### **1.2. Présentation de la cimenterie de BENI-SAF**

Dans le cadre de son plan d'investissement, l'entreprise « E.R.C.O » a confié en 1974 à l'entreprise CLE (Creusot-Loire) la réalisation de la cimenterie de BENI-SAF, qui devient opérationnelle qu'à partir 1978. Elle était sous la direction générale de l'entreprise mère S.N.M.C (Société Nationale des Matériaux de Construction) située à Alger.

La cimenterie est implantée à 4 km à l'EST de BENI-SAF, à une altitude de 185 m. Elle est devenue une entreprise autonome en février 1979. Les deux gisements de calcaire et argile sont situés au sud de BENI-SAF à une superficie de 42 Hectares dont 20 Hectares bâtis. L'usine est pratiquement implantée sur deux niveaux :

- Le premier niveau regroupe les équipements de production de ciment.
- deuxième niveau 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 BENI-SAF a une capacité nominale de production de 3400 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 la matière [1].



Figure 1.1 Cimenterie du BENI-SAF<sup>1</sup>

### 1.3. Organisation de la cimenterie

L'organisation du complexe de cimenterie de BENI-SAF (S.C.I.B.S) rassemble quatre directions

#### 1.3.1. Direction générale

Elle est chargée de la gestion, l'organisation et la coordination entre les directions du complexe, elle est Gérée par un Président directeur général (PDG).

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

Elle est chargée de la gestion financière, de l'établissement du paiement et de la comptabilité. Elle comprend les départements suivants

- Département de finance et comptabilité
- Département commercial.
- Département approvisionnement.

<sup>1</sup> photo prise par S.C.I.B.S

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

Elle est chargée de la gestion d'administration, gestion de carrière du personnel et l'application de la réglementation. Elle comprend les services suivants :

- Service du personnel.
- Service des moyens généraux.
- Service social.
- Service formation.

### **1.3.4. Direction de production**

Chargée de la gestion de production, Elle comprend les départements suivants

- Département contrôle qualité.
- Département PLC et instrumentation.
- Département fabrication et expédition.
- Département matière première.

### **1.3.5. Direction technique**

Elle résout les problèmes de la maintenance en appliquons les différents type de maintenance, elle comprend les départements suivants

- Département maintenance.
- Département entretien mécanique.
- Département sécurité industrielle.
- Département électrique.
- Département préventif.

#### **a) Département maintenance**

Elle assure l'exécution des travaux de maintenance au niveau des ateliers de la cimenterie, en assurant les ensembles des opérations de maintenance corrective et préventif.

#### **b) Département entretien mécanique**

Elle est concernée par l'entretien des équipements de support tel que les engins, utilités, etc.

#### **c) Département bureau préventif**

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

Il comprend les services suivants

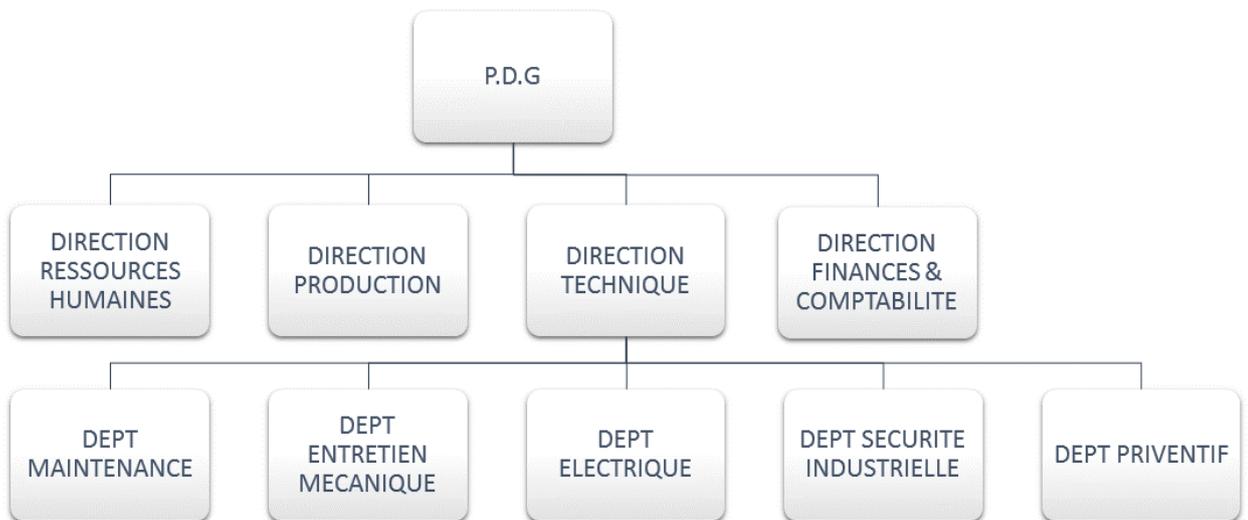
- Service magasin général
- Service visite
- Service méthodes
- Service étude et réalisation

L'atelier de mécanique est lié directement au service d'études, il est chargé d'exécution des ordres de travail dans deux sections usinage, chaudronnerie. Le département bureau de méthode réalise les rapports de visite et les fiches d'incidents.

Le service de méthode établit 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 S.C.I.B.S

#### 1.4. Fabrication du ciment

La fabrication du ciment implique, la mise en œuvre de deux matières premières essentielles au moins, il s'agit du calcaire et de l'argile, et parfois quand la nécessité le demande on fait appel à des matières de correction telle que le sable et le minerai de fer.

### 1.4.1. Constituants

Le ciment de BENI-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 [3].

➤ 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 [3].

➤ 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 [3].

➤ Additif

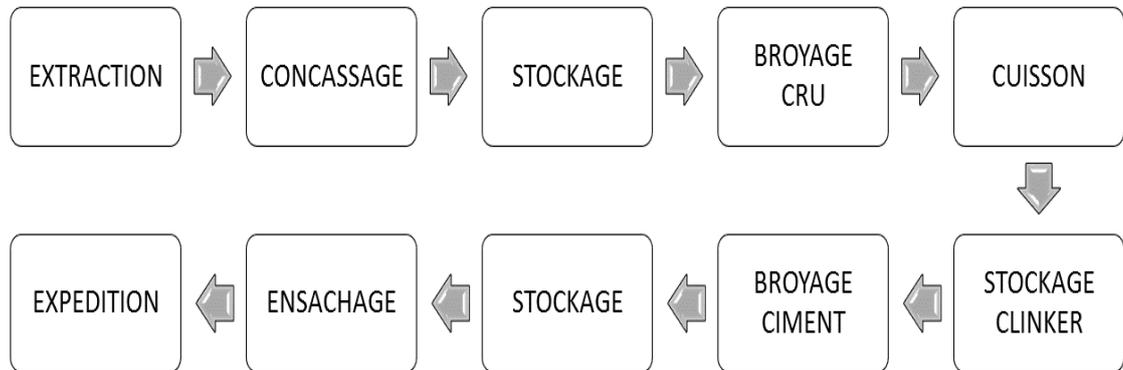
Un adjuvant ou agent de mouture destiné à favoriser le broyage du ciment est ajouté au cours du broyage du ciment. Les composants du ciment sont représentés dans la figure 1.3



Figure 1.3 Composants du ciment

**1.4.2. Processus de fabrication du ciment**

Le ciment est obtenu suite à plusieurs opérations illustrées comme suit :



**Figure 1.4** *Processus de fabrication du ciment*

**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 1.5** *Extraction de la matière première*

### 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) [3].



**Figure 1.6** Concassage

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].

### 1.4.2.3. Pré-homogénéisation

Le mélange concassé est déversé en couche parallèle par un Stacker (Figure 1.7) pour constituer un tas de 30 000 à 35 000 tonnes. Une roue-pelle (Figure 1.8) 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 [3].



**Figure 1.7** *Stacker* [4]

Le système « Stacker » caractérisé par [2]

- 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



**Figure 1.8** *Roue-pelle* [4]

Le système « Roue-pelle » caractérisé par [2]

- Débit : 350 t/h
- Diamètre de la roue : 3 750 mm
- Nombre de godets c'est 8, capacité d'un godet : 160 dm<sup>3</sup>

- Vitesse de rotation : 6 tr/mn
- Hauteur d'élévation : 4 000 mm
- Vitesse de la courroie : 2.1 m/s

#### 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.

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 [1]

##### a) *Broyeur Bi-rotateur*

Le broyeur cru est un élément essentiel dans l'atelier de broyage cru nous allons le voir en détail dans les prochains chapitres, c'est un système caractérisé par [2]

- Diamètre intérieur de la virole : 5 000 mm
- Nombre de compartiments : 03 chambres (1 pour 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
- Puissance installée : deux moteurs de 1650 KW chacun
- Vitesse de rotation : 14.2 tr/mn.
- Débit 270 t /h



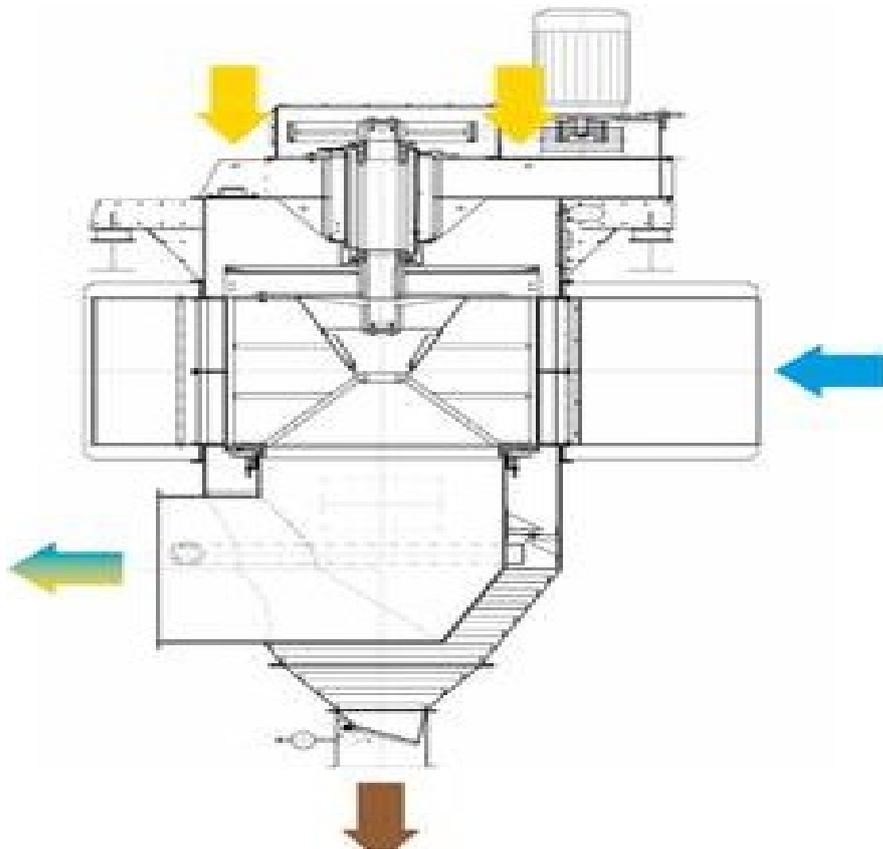
**Figure 1.9** *Broyeur cru*

**b) Séparateur dynamique**

Le séparateur dynamique applique à la fois le principe de la séparation centrifuge. La matière à séparer est introduite dans la goulotte d'alimentation ou elle tombe par gravité dans le cône d'alimentation et sur le plateau de distribution, le plateau est une pièce tournante qui engendre la force centrifuge [5].

Le séparateur dynamique est caractérisé par [3]

- 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**

Il se compose généralement d'une chambre cylindrique ou conique, munie de dispositifs d'introduction tangentielle, en un ou plusieurs points, du gaz chargé de matières particulaires ; le gaz s'échappe par une ouverture cylindrique centrale, au sommet [5].

Le séparateur statique est caractérisé par [3]

- 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 mm<sup>3</sup> / h

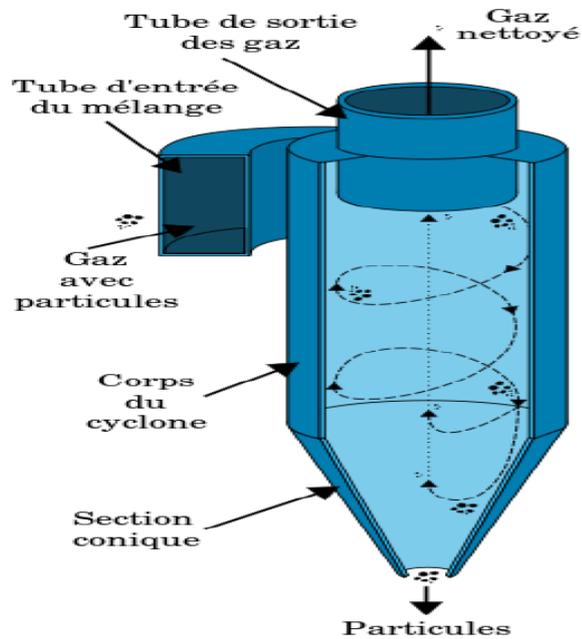


Figure 1.11 Séparateur statique [3]

d) *Élévateur à godet*

L'élévateur à godet est un système de transport des matières caractérisé par un débit de 2 x 600 t/h

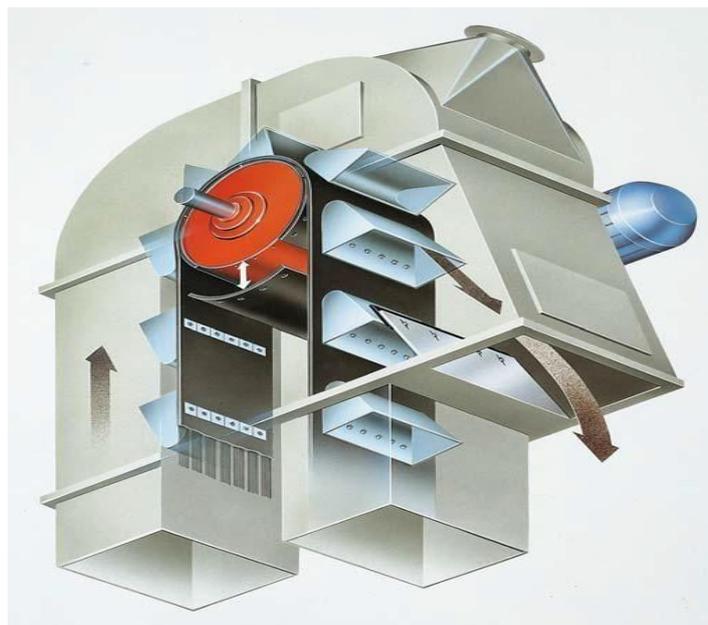


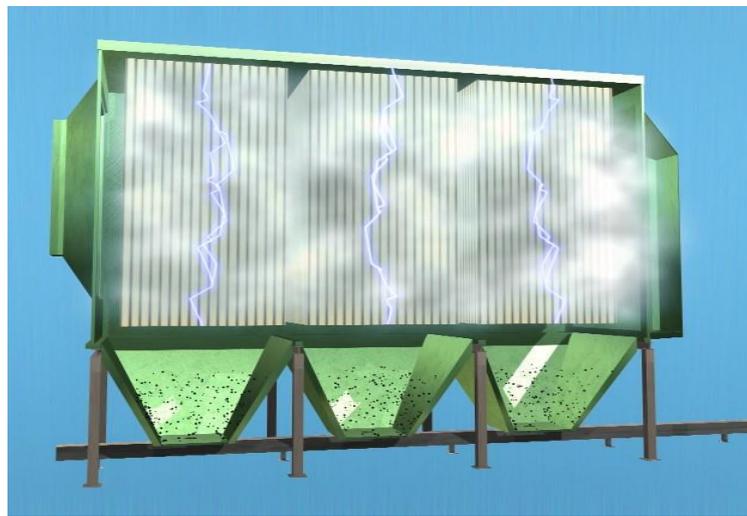
Figure 1.12 Élévateur à godet [3]

e) *Électro filtre*

Électro filtre est constituée des plaques métalliques verticales de grande dimension entre lesquelles circulent les fumées chargées en poussières, les plaques sont alternativement reliées à une source électrique continue. Le champ qui est en résulte exerce sur les poussières chargées électriquement une force qui les précipite sur les plaques réceptrices ou elles viennent s'accumuler. Des marteaux frappent régulièrement les plaques pour décoller [3].

L'électro filtre est un système caractérisé par

- Surface collectrice développée : 5 200 m<sup>2</sup>
- Taux de poussière à la sortie 50 mg / nm<sup>3</sup>



**Figure 1.13** *Électro filtre* [3]

f) *Silos d'homogénéisation*

L'usine dispose de deux silos d'homogénéisation en béton, d'une capacité totale de 20000 tonnes. La base de chaque silo est constituée de plusieurs secteurs formés d'une surface poreuse à travers laquelle de l'air comprimé est soufflé alternativement dans chacun des secteurs permettant l'homogénéisation de la couche extraite et le lissage des écarts de composition de l'alimentation [3].

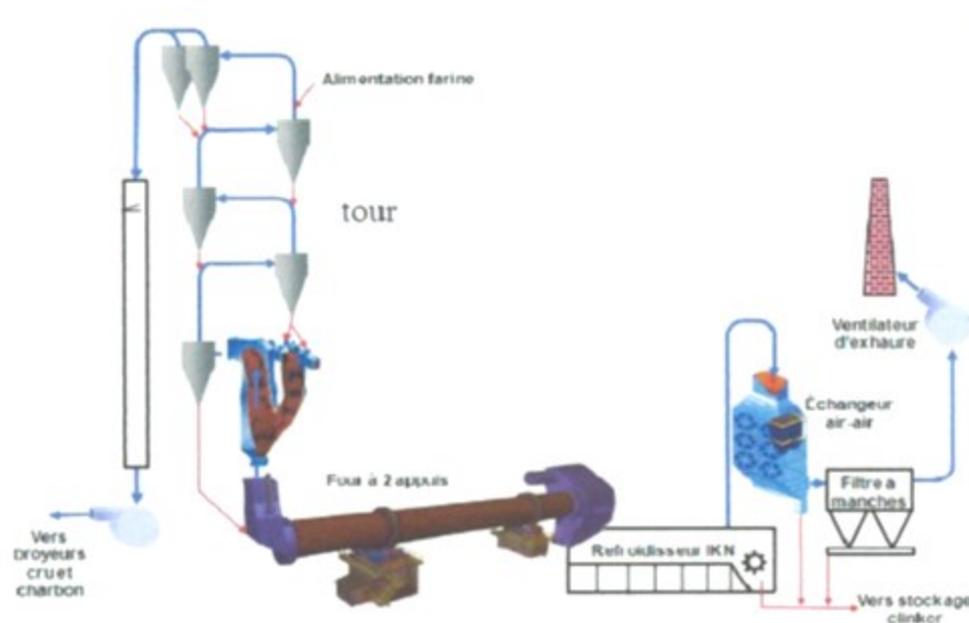
Elles sont caractérisées par [3]

- 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 [3]

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 du calcium pour donner la chaux (CaO) avec dégagement du gaz carbonique (CO<sub>2</sub>). 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 à cyclones voie sèche

Les objectifs attendus du fonctionnement de la tour de préchauffage sont de préparer la farine crue pour la phase cuisson et d'améliorer l'échange calorifique gaz-matière pour obtenir une consommation calorifique basse et un rendement spécifique supérieur. Le préchauffeur est un système comprenant quatre étages appelés cyclons [5].

**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 [3]

- 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 / m<sup>3</sup>)



**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 m<sup>2</sup>
- 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 mm<sup>3</sup>/h
- Excédent (air exhaure) : 255 000 mm<sup>3</sup>/h

#### d) Ventilateur

Le système utilise deux ventilateurs d'exhaure. Leurs caractéristiques sont comme suit [1]

- Débit d'air 155 000 mm<sup>3</sup>/h
- Vitesse de rotation : 965 tr/mn
- Diamètre de la turbine : 2 250 mm
- Puissance du moteur : 450 KW

#### e) Filtre à manche

Le filtre à manche est un équipement qui fait partie de système de filtration, mais il est l'un de moyen le plus performance de séparer les poussières [1]. Voir la figure 1.16.



**Figure 1.16** Filtre à manche

#### 1.4.2.6. Broyage du ciment

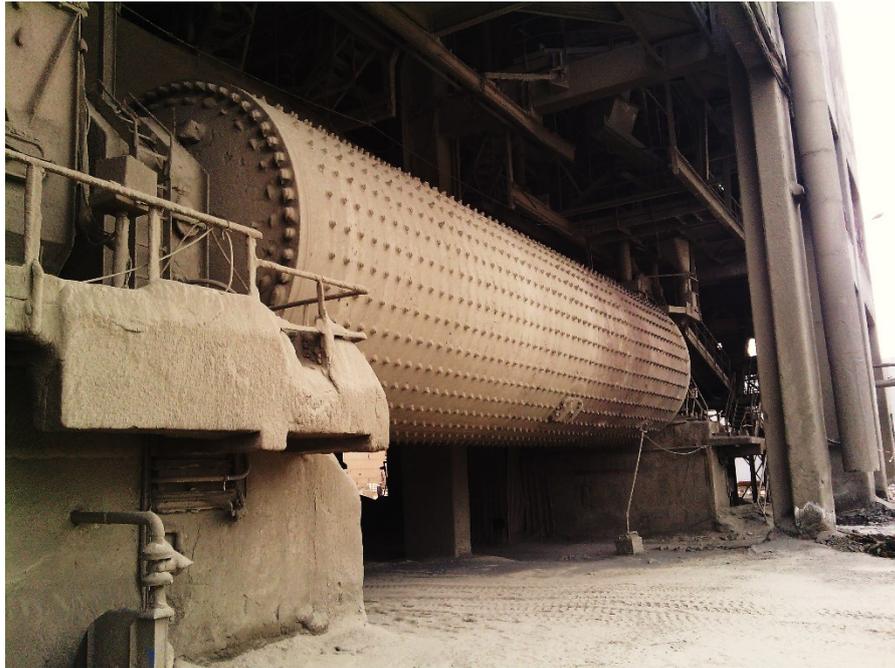
Cette zone comporte deux broyeurs, un séparateur et un électro filtre. Le broyage du ciment (Figure 1.17) est assuré par deux broyeurs à boulet (débit 90 t/h) en circuit fermé d'une puissance de 3 400 KW, équipé de séparateurs dynamiques, ces derniers sont alimentés par des élévateurs à godets de 400 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 [1]

#### a) Broyeur

Le broyeur est caractérisé par [1]

- Diamètre : 4 m
- Nombre de compartiments : 02

- Longueur utile de la 1ère chambre : 4 250 mm
- Longueur utile de la 2ème chambre : 9 750 mm
- Charge de corps broyant de la 1ère chambre : 67 tonnes
- Charge de corps broyant de la 2ème chambre : 155 tonnes
- Vitesse de rotation : 15.7 tr/mn
- Puissance installée du broyeur : 3 200 KW
- Type de réducteur : Planétaire



**Figure 1.17** *Broyeur à ciment*

*b) Séparateur dynamique*

Le séparateur dynamique est caractérisé par [1]

- 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 [1]

- Un électro filtre à deux champs par broyeur
- Débit du gaz traité : 33 000 m<sup>3</sup>/h
- Ventilateur après filtre d'une puissance de : 75 KW

#### 1.4.2.7. *Ensachage et expédition*

À la sortie du broyeur à ciment, le produit ciment est transporté vers des silos de stockage (figure 1.18) à partir desquels il est expédié soit en sacs, soit en vrac constitue 50% de la production, par camions ou par voie ferrée.



**Figure 1.18** Silos de stockage

### 1.5. Conclusion

La « S.C.I.B.S » a un pôle économique important dans la région (plus de cinq cent travailleurs, un milliard et demi de centimes de bénéfice par jour,...). Elle marche à pas solide vers sa modernisation par l'incorporation des nouveaux systèmes à un rendement élevé qui conserve l'énergie, et bien l'investissement dans l'aspect humain par des formations périodique.

**CHAPITRE 2**

**MAINTENANCE DES ÉQUIPEMENTS**

**INDUSTRIELS**

## CHAPITRE 2 MAINTENANCE DES ÉQUIPEMENTS INDUSTRIELS

### 2.1. Introduction

La maintenance consiste à conserver ou à remettre un bien en état de bon fonctionnement. Dans ce sens, les entreprises font appel aux services de maintenance. Ces services organisent les moyens humains et matériels pour accomplir leur fonction de maintenance [18].

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 optimale [6].

### 2.2. Description de la maintenance

#### 2.2.1. Définitions

Ce n'est pas seulement réparer ou dépanner au moindre coût ou remettre en état dans les plus brefs délais. Ce n'est pas non plus maintenir les installations en marche à tout prix ou assurer une sécurité de fonctionnement élevée, coûte que coûte, pour atteindre une disponibilité maximale mais non rentable. La maintenance commence dès la conception du matériel : il faut qu'il soit apte à être entretenu (notion de maintenabilité) et apte à produire avec une utilisation aisée et une sécurité maximale. Pendant toute la durée vie de production, la maintenance surveille le matériel, suit ses dégradations et le remet à niveau avec un contrôle des performances, une surveillance des coûts et une disponibilité, en recherchant les solutions les plus simples. A la fin de vie du matériel, la maintenance propose d'abord une diminution des performances compatible avec les possibilités du matériel et son renouvellement [9].

Il est possible aussi de condenser tout ceci dans la définition de l'AFNOR (Association Française de Normalisation) :

**«La maintenance est l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié en mesure d'assurer un service déterminé avec un coût optimal.**

#### 2.2.2. Objectifs de la maintenance

Selon la politique de maintenance de l'entreprise, les objectifs de la maintenance seront [6]:

- ❖ 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).

### ***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 [6]

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

## **2.3. Service maintenance**

### ***2.3.1. Fonctions du service maintenance***

Les fonctions du service maintenance comprennent étude, préparation, ordonnancement, réalisation et la gestion.

#### ***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,..., etc.

### **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. Organisation du service maintenance**

Deux types d'organisation peuvent être mises en place selon la spécificité et la taille de l'entreprise [9].

### **2.3.3.1. 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 [9]

- ❖ Facilité de planning
- ❖ Facilité de surveillance
- ❖ Magasins bien équipés
- ❖ Contrôle effectif de la main-d'œuvre

### **2.3.3.2. Maintenance décentralisée**

Chaque secteur d'activité a son atelier sectoriel de maintenance. Comme caractéristique de ce type d'organisation on trouve [9]

- ❖ Service rapide
- ❖ Connaissances spécialisées
- ❖ Une prise en charge de chaque installation
- ❖ Moins de paperasse
- ❖ Définir les frais réels de maintenance par poste de travail.

### **2.3.4. 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 [9]

- ❖ 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
- ❖ Être conforme aux exigences réglementaires.

## **2.4. Concepts de la maintenance**

L'analyse des différentes formes de maintenance repose sur quatre concepts [10]

### **2.4.1. Événements de l'origine de l'action**

- ❖ La référence à un échéancier
- ❖ La subordination à un type d'événement prédéterminé (autodiagnostic, information d'un capteur, mesure d'une usure...)

❖ L'apparition d'une défaillance.

### 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 la norme AFNOR X600 10 et la norme X 600 11, on peut distinguer deux grandes formes de maintenance « Corrective et Préventive », voir figure 2.1.

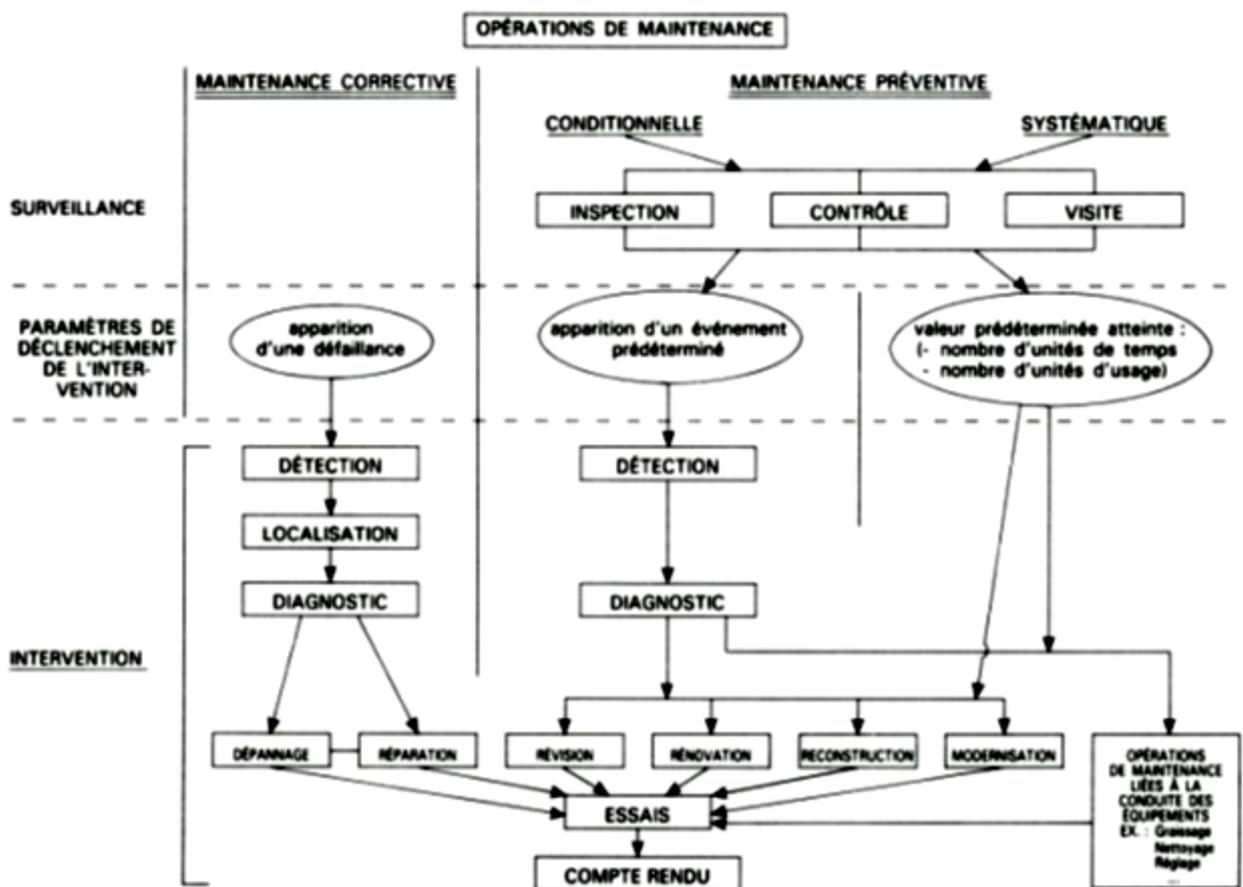


Figure 2.1 Méthodes de la maintenance et les opérations de la maintenance [10]

#### 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 [10].

#### **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 [10].

##### **a) 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 [10].

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 [10].

##### **b) Maintenance préventive conditionnelle**

- *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 2.2). 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 [6].

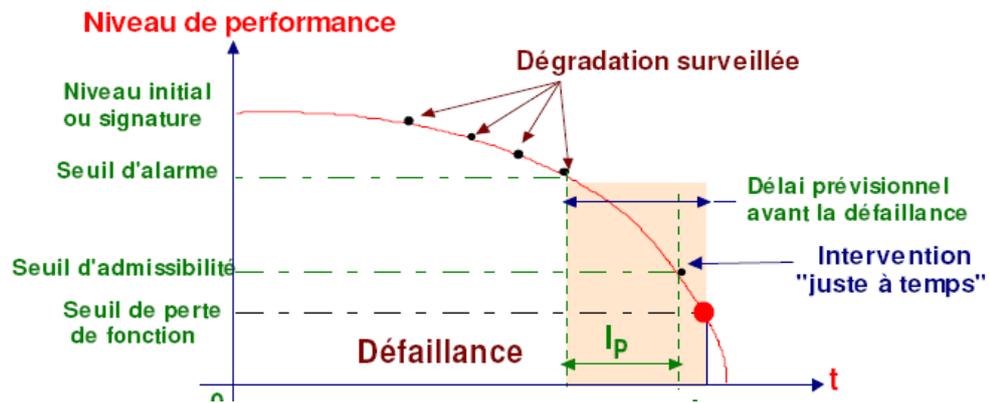


Figure 2.2 Principe de la maintenance conditionnelle [6]

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, quel que 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-régés (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 [10].

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.

### **2.4.3. Opérations de maintenance**

#### **2.4.3.1. Opérations de maintenance corrective**

##### *a) 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 [9].

##### *b) 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 [10].

**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**

Sont nécessaires pour maîtriser l'évolution de l'état réel du bien (inspections, visites, contrôles). Elles sont effectuées de manière continue ou à des intervalles prédéterminés ou calculées sur le temps ou le nombre d'unités d'usage [10].

*a) 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 [10].

*b) 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 [10].

*c) Contrôles*

Vérifications de conformité par rapport à des données préétablies suivies d'un jugement. Le contrôle peut [10]

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

**2.5. Les 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 [18]

**2.5.1. Premier niveau**

Comporte des réglages simples prévus par le constructeur au moyen d'organes accessibles sans aucun montage d'équipement ou échange d'équipements accessibles en toute sécurité. L'outillage nécessaire est un outillage léger et est défini dans les instructions d'utilisation.

**2.5.2. Deuxième niveau**

Comporte les opérations de dépannage par échange standard d'éléments prévus à cet effet ou d'opérations mineures de maintenance préventive. De l'outillage léger est nécessaire. Celui-ci est défini dans les instructions d'utilisation.

**2.5.3. Troisième niveau**

Nécessite une identification et un diagnostic des pannes. La réparation s'effectue toujours par un échange de composants fonctionnels et les réparations mécaniques à réaliser sont mineures.

L'outillage nécessaire est courant et prévu pour ce type d'intervention. De plus des appareils de mesure (banc d'essai, contrôle, etc.) sont nécessaires pour la remise en route correcte de l'équipement qui a nécessité l'intervention.

#### **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**

Comporte les travaux de rénovation, de reconstruction ou réparations importantes confiés à un atelier central. Les moyens nécessaires pour effectuer ce type d'intervention sont proches de ceux qui ont été utilisés lors de la fabrication de l'équipement par le constructeur.

### **2.6. 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 [11]. 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, etc.

#### **2.6.1. Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effet et de leur Criticité (AMDEC)**

L'AMDEC est une méthode d'analyse préventive qui recense et met en évidence les risques potentiels [16].

C'est un outil d'analyse qui permet de construire la qualité des produits fabriqués ou des services rendus et favorise la maîtrise de la fiabilité en vue d'abaisser le coût global.

Elle est régie par la norme AFNOR X 60-510. Cette méthode conçue pour l'aéronautique américaine en 1960: est devenue aujourd'hui, soit réglementaire dans les études de sûreté des

industries « à risque » (aérospatial, nucléaire, chimie), soit contractuelle (pour les fournisseurs automobile par exemple).

Établie en équipe, menée à différents niveaux d'avancement, elle permet de définir les priorités d'action par la confrontation des opinions [24]. Elle est applicable :

- à un produit : AMDEC produit,
- à un processus : AMDEC processus,
- à un système de production : AMDEC moyen de production.

Nous allons nous intéresser à l'**AMDEC moyen de production**.

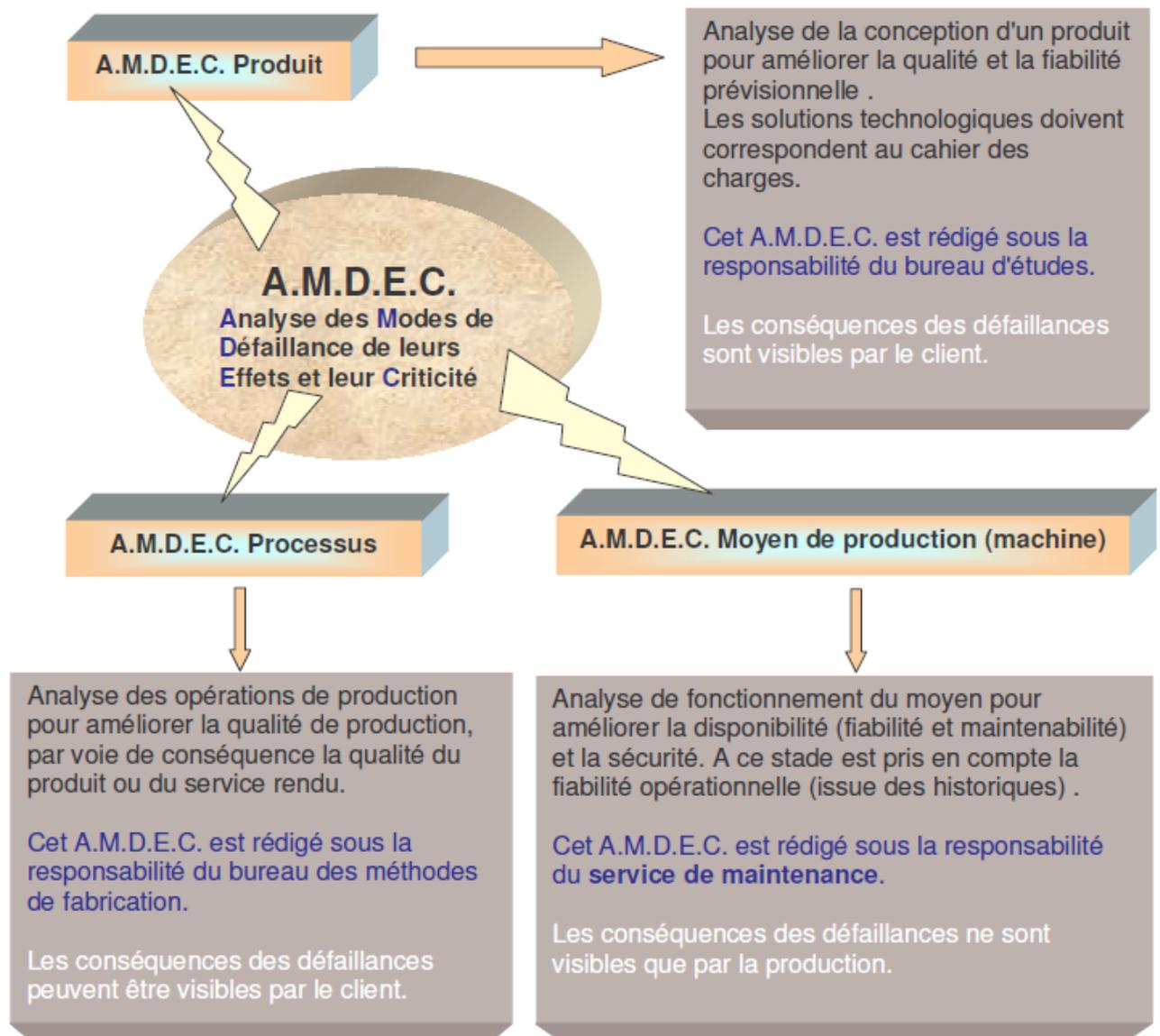


Figure 2.3 Différents type d'AMDEC [24]

### 2.6.1.1. Objectifs de l'A.M.D.E.C " moyen de production " [24]

L'AMDEC est une technique d'analyse prévisionnelle qui permet d'estimer les risques d'apparition de défaillance ainsi que les conséquences sur le bon fonctionnement du moyen de production, et d'engager les actions correctives nécessaires.

❖ L'objectif principal est l'obtention d'une disponibilité maximale.

Les objectifs intermédiaires sont les suivants :

- ✓ Analyser les conséquences des défaillances,
- ✓ Identifier les modes de défaillances,
- ✓ Préciser pour chaque mode de défaillance les moyens et les procédures de détection,
- ✓ Déterminer l'importance ou la criticité de chaque mode de défaillance,
- ✓ Classer les modes de défaillance,
- ✓ Établir des échelles de signification et de probabilité de défaillance.

### 2.6.1.2. Criticité des conséquences

La criticité est en fait la **gravité des conséquences** de la défaillance, déterminée par calcul.

- "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 :  $C = G * F * D$

#### a) La fréquence ou occurrence

Elle donne la périodicité l'apparition de la défaillance notée F ou O. sa valeur est donnée par l'historique des interventions sur l'équipement. A ce niveau on se pose la question : combien de fois la défaillance se manifeste-t-elle ? [16].

#### b) La gravité

C'est l'impact que cette défaillance a sur la production. Elle est notée G. Pour la déterminer on se pose les questions suivantes : la qualité est-elle bonne ?, quelle est la production perdue ?, quelle est la durée de l'intervention ?, quels sont les coûts directs et indirects engendrés par cette défaillance ? [16].

#### c) La détection

Notée D, elle représente la capacité de déceler la défaillance. La question posée est : quelle est la protection mise en place pour déceler la défaillance ? [16].

### 2.6.1.3. Méthodologie

La réalisation d'une AMDEC suppose le déroulement de la méthode comme suit [25]:

- ✓ La constitution d'un groupe de travail
- ✓ L'analyse fonctionnelle du procédé (ou de la machine)
- ✓ L'analyse des défaillances potentielles
- ✓ L'évaluation de ces défaillances et la détermination de leur criticité
- ✓ La définition et la planification des actions

La méthode est identique pour l'AMDEC procédé et l'AMDEC moyen de production.

### 2.6.1.4. Principe de base

L'AMDEC est une technique d'analyse exhaustive et rigoureuse de travail en groupe, très efficace par la mise en commun de l'expérience et de la compétence de chaque participant du groupe de travail. Cette méthode fait ressortir les actions préventives et correctives à mettre en place.

Le groupe de travail : 2 à 5 personnes, responsables et compétentes, ayant la connaissance du système à étudier et pouvant apporter les informations nécessaires à l'analyse. Selon l'étude ce sera [14]

- ✓ des hommes de maintenance,
- ✓ des hommes du service qualité,
- ✓ des hommes de la production,
- ✓ le bureau d'étude,
- ✓ des experts du domaine étudié.

### 2.6.1.5. L'analyse fonctionnelle

Le système dont on étudie les défaillances doit d'abord être "décortiqué".

A quoi sert-il ? Quelles fonctions doit-il remplir ? Comment fonctionne-t-il ?

L'analyse fonctionnelle doit répondre à ces questions, de façon rigoureuse.

Le système est analysé sous ses aspects :

- Externes : relations avec le milieu extérieur (qu'est ce qui rentre, qu'est ce qui sort, ...)
- Internes : analyse des flux et des activités au sein du procédé ou de la machine.

❖ Outils

a) L'analyse descendante

Tout problème peut être décomposé en sous-problèmes plus simples : on résout plusieurs petits problèmes plutôt qu'un gros [25].

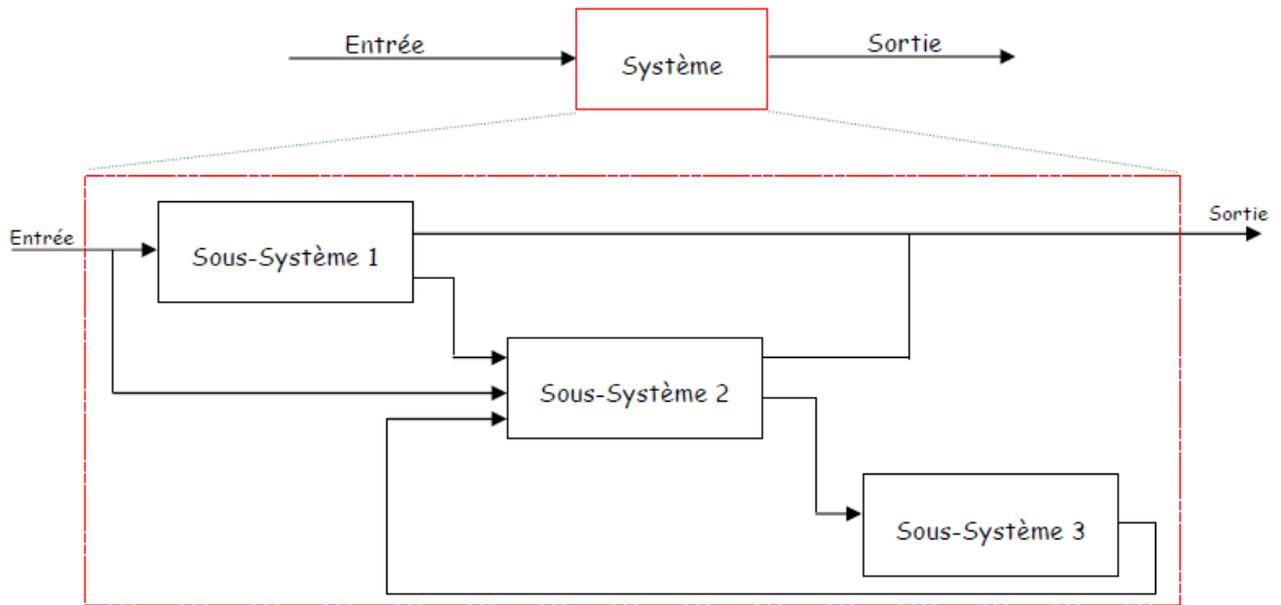


Figure 2.4 l'analyse descendante [25]

b) Méthode de la pieuvre

Elle est utilisée principalement pour décrire les relations du système avec le milieu extérieur [25].

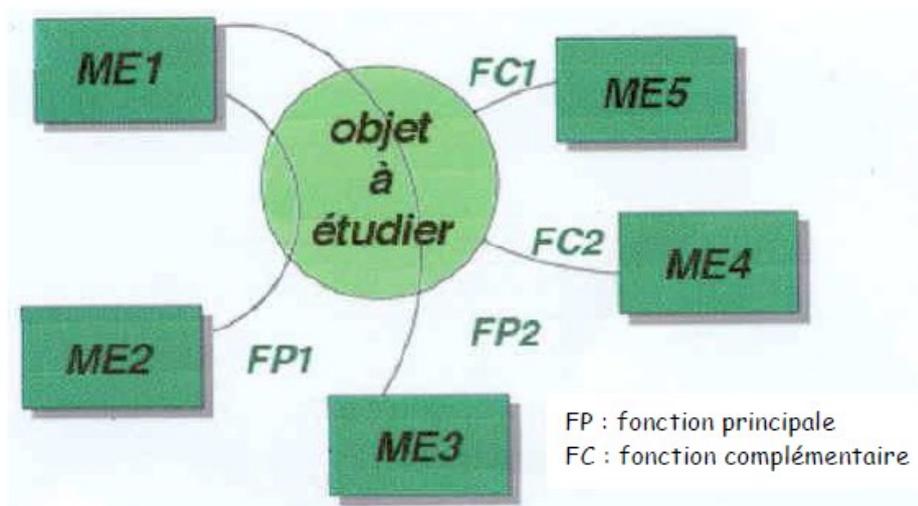


Figure 2.5 Méthode de la pieuvre [25]

c) Diagrammes de flux

Méthode plus appropriée pour l'analyse interne [25].

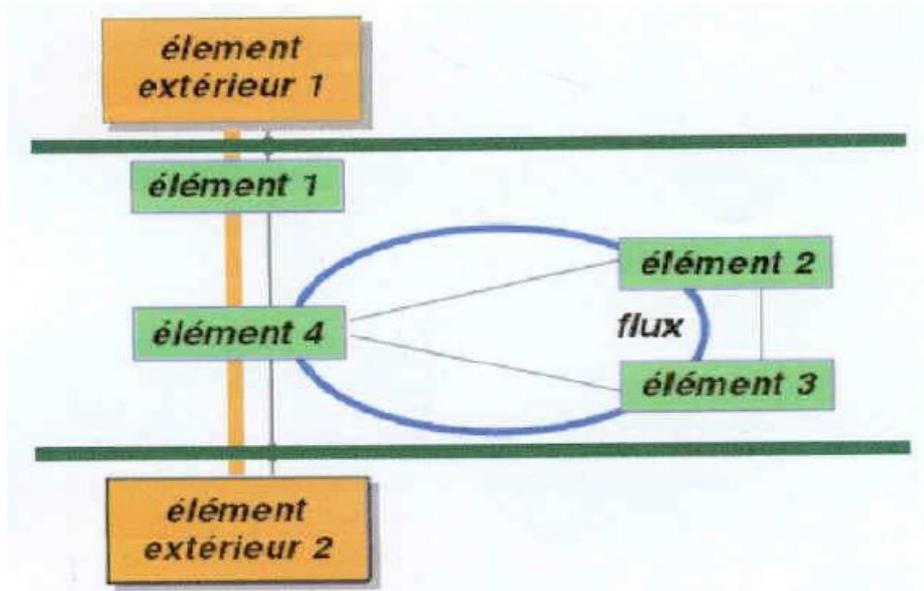


Figure 2.6 diagrammes de flux [25]

d) L'arborescence

Méthode utilisée pour décrire la structure matérielle d'une machine (analyse structurelle).

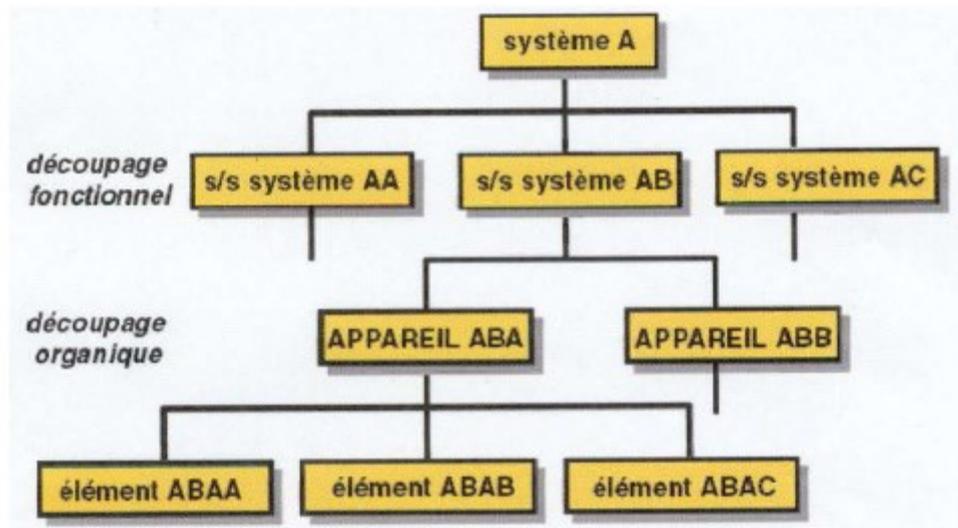


Figure 2.7 l'arborescence [25]

2.6.1.6. L'analyse des défaillances

Il s'agit d'identifier la cause, le mode de défaillance et effet sur le système.

a) Le mode de défaillance

Il concerne la fonction et exprime de quelle manière cette fonction ne fait plus ce qu'elle est sensée faire. L'analyse fonctionnelle recense les fonctions, l'AMDEC envisage pour chacune d'entre-elles sa façon (ou ses façons car il peut y en avoir plusieurs) de ne plus se comporter correctement [25].

### b) La cause

C'est l'anomalie qui conduit au mode de défaillance. La défaillance est un écart par rapport à la norme de fonctionnement.

Les causes trouvent leurs sources dans cinq grandes familles. On en fait l'inventaire dans des diagrammes dits "diagrammes de causes à effets" [25].

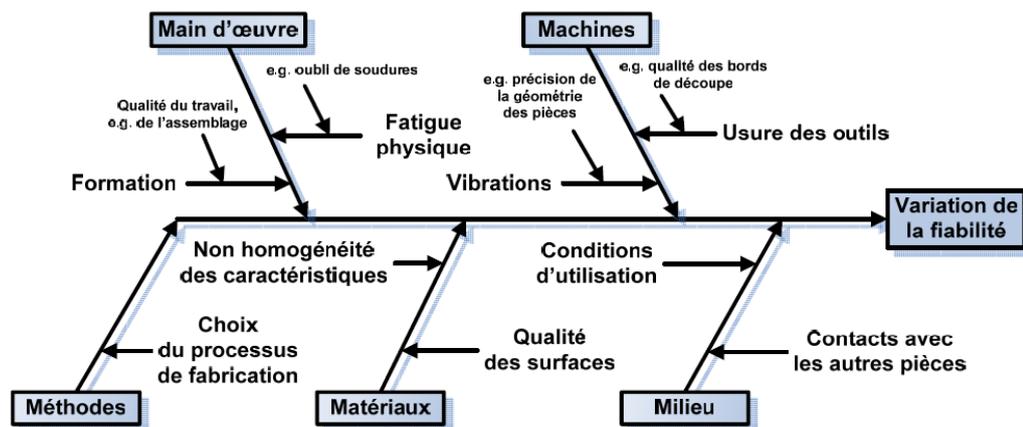


Figure 2.8 Identification partielle des facteurs influençant la fiabilité [16]

Chaque famille peut à son tour être décomposée en sous-famille. Un mode de défaillance peut résulter de la combinaison de plusieurs causes. Une cause peut être à l'origine de plusieurs modes de défaillances.

### c) L'effet [25]

L'effet concrétise la conséquence du mode de défaillance.

Il dépend du point de vue AMDEC que l'on adopte :

- Effets sur la qualité du produit (AMDEC procédé)
- Effets sur la productivité (AMDEC machine)
- Effets sur la sécurité (AMDEC sécurité)

Un effet peut lui-même devenir la cause d'un autre mode de défaillance.

## 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 [13].

❖ Exemple de répartition appliquée à la maintenance :

- 20 % des systèmes représentent 80 % des pannes.
- 20 % des interventions représentent 80 % des coûts de maintenance.
- 20 % des composants représentent 80 % de la valeur des stocks.

❖ Mise en application de la loi :

L'exploitation de cette loi permet de déterminer les éléments les plus pénalisants afin d'en diminuer leurs effets :

- Diminuer les coûts de maintenance.
- Améliorer la fiabilité des systèmes.
- Justifier la mise en place d'une politique de maintenance.

### 2.6.2.2. Fonction

Suggérer objectivement un choix, c'est-à-dire classer par ordre d'importance des éléments (produits, machines, pièces...) à partir d'une base de connaissance d'une période antérieure (historique de pannes par exemple). Les résultats se présentent sous la forme d'une courbe appelée courbe ABC dont l'exploitation permet de détecter les éléments les plus significatifs du problème à résoudre et de prendre les décisions permettant sa résolution [12].

### 2.6.2.3. Construction du diagramme de « Pareto »

L'étude suppose obligatoirement que l'on est :

- Un historique
- Des prévisions

Pour un secteur ou un système donné l'application de la loi de Pareto impose plusieurs étapes :

1) *Définition de l'objectif de l'étude et de ses limites.*

Ces éléments peuvent être :

- Des matériels.
- Des causes de pannes.
- Des natures de pannes...

2) *Choisir le critère de classement.*

Organiser le classement selon les critères de valeurs retenus (les coûts, les temps, les rebuts...).

3) *Construire un graphique.*

Ce graphe fera apparaître les constituants sur la situation étudié.

4) *Déterminer les zones ABC.*

Il s'agit de délimiter sur la courbe obtenue des zones à partir de l'allure de la courbe. En général la courbe possède deux cassures, ce qui permet de définir trois zones :

- La partie droite de la courbe OM détermine la zone A.
- La partie courbe MN détermine la zone B.
- La partie assimilée à une droite NP détermine la zone C.

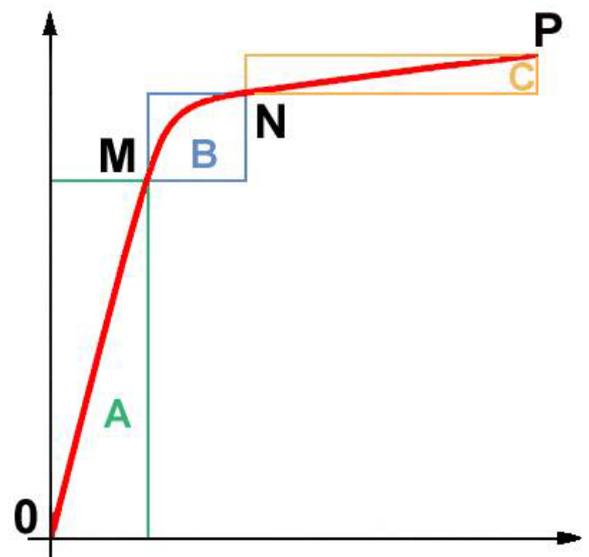


Figure 2.9 Courbe ABC [12]

#### 2.6.2.4. Analyse des résultats

L'étude porte dans un premier temps sur les éléments constituant la Zone A en priorité. Si les décisions et modifications apportées aux éléments de la zone A ne donnent pas satisfaction, on continuera l'étude sur les premiers éléments de la zone B jusqu'à satisfaction. Les éléments appartenant à la zone C peuvent être négligés, car ils ont peu d'influence sur le critère étudié.

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.

### 2.6.3. Optimisation de la Maintenance basée sur la Fiabilité (OMF)

La méthode d'Optimisation de la Maintenance basée sur la Fiabilité constitue une approche globale d'aide à la décision pour déterminer les actions de maintenance préventive permettant de maîtriser les coûts et le niveau requis de disponibilité d'une installation ou d'un système, et plus largement, pour garantir un niveau de sûreté de fonctionnement [26].

C'est une démarche rationnelle qui vise à limiter au mieux les conséquences des défaillances d'origine matérielle, sur le fonctionnement de l'installation. L'étude des systèmes et des matériels permet de déterminer :

- ✓ Les actions préventives sont nécessaires (sur quels matériels)
- ✓ Quelles sont les actions à effectuer.
- ✓ Quand (avec quelle fréquence) on doit les réaliser.

La figure 2.8 décrit les trois phases de la méthode OMF :

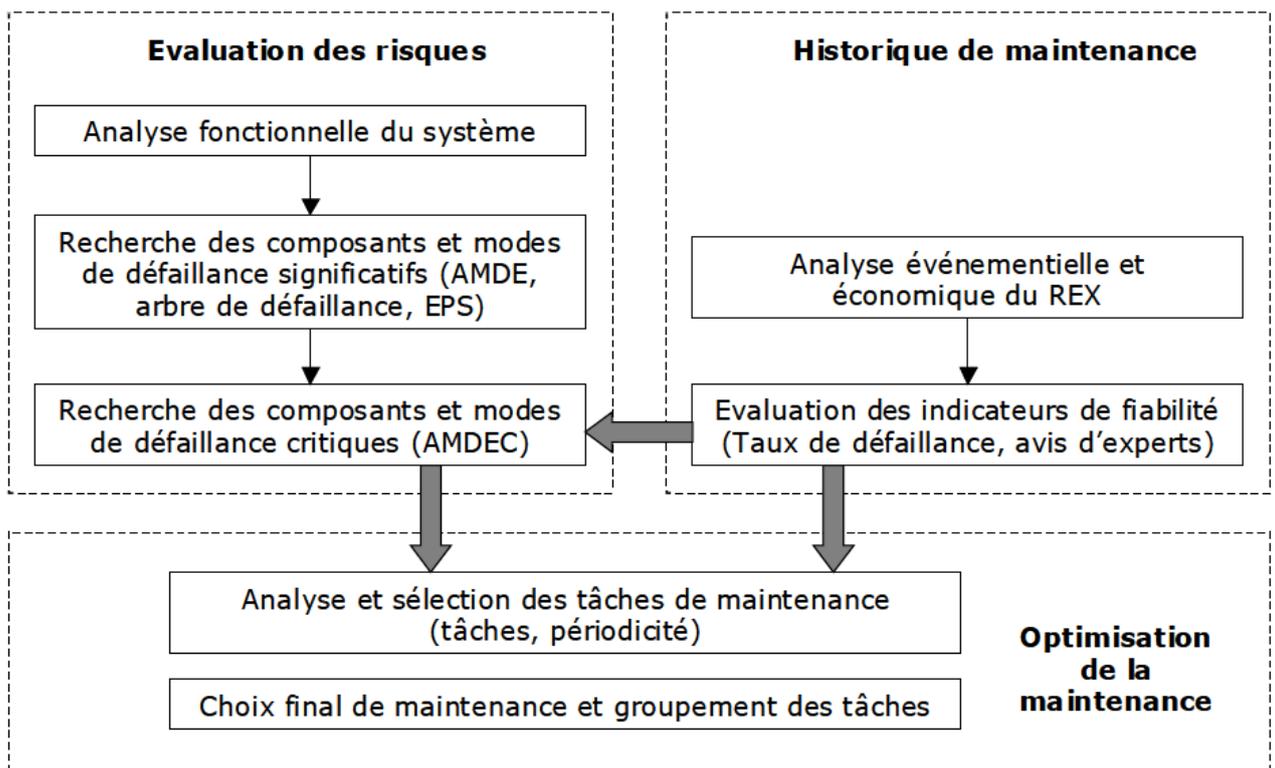


Figure 2.10 Méthode OMF [27]

La phase de retour d'expérience consiste à rechercher ce qui s'est passé sur les matériels ou composants en termes de fiabilité, de disponibilité et de coûts, et les actes de maintenance ou modifications réalisées.

La phase d'évaluation des risques consiste à envisager les événements graves qui pourraient se passer et met en œuvre les techniques d'analyse de fonctionnement et de dysfonctionnement. Ce travail est complet par la prise en compte de l'historique de maintenance. Pour prévenir les défaillances qui présentent une gravité et qui ont des chances de se produire il faudra envisager d'effectuer des tâches de maintenance préventive.

La phase d'optimisation de la maintenance détermine les tâches à effectuer ainsi que leur fréquence de réalisation, tout en envisageant éventuellement des améliorations ou des modifications.

Les études OMF visent principalement les parties des installations dont les performances sont les plus sensibles aux actions de maintenance. Leur application passe par plusieurs étapes [27] :

- l'analyse fonctionnelle, qui fournit des représentations du fonctionnement des systèmes étudiés,
- l'analyse de dysfonctionnement des systèmes, qui permet d'identifier les modes de défaillance des matériels, ou des groupes de matériels, qui ont un rôle fonctionnel important et dont les défaillances sont jugées graves

## **2.7. Gestion de la maintenance assisté par ordinateur (GMAO)**

La gestion des différentes ressources du service de maintenance est l'un des aspects les plus importants qui font son efficacité. Cette gestion est aujourd'hui réalisée presque systématiquement de manière informatique. Le système informatique des entreprises est souvent lié à l'histoire de leur informatisation. La mise en réseau des différents ordinateurs et l'installation progressive de logiciels pour les fonctions de l'entreprise font que des différences existent dans leur gestion [18].

L'inventaire des biens durables d'un site industriel est une nomenclature codifiée de tous les équipements à maintenir. Il est établi suivant un découpage arborescent du parc, en fonction de la classification choisie. L'inventaire et sa codification constituent le premier fichier à remplir lors d'une prise en charge de la gestion de la maintenance au moyen d'une GMAO. Fichier de base d'une GMAO, il va conditionner toutes ses fonctionnalités : par exemple, une intervention corrective sera imputée en temps et en coût à un équipement donné par sa codification [9].

### **2.7.1. Les différents modules de GMAO**

Tous les modules de GMAO ont en commun la même structure modulaire proposant les mêmes fonctions. Mais, selon les logiciels, les fonctions remplies sont diversement dénommées, diversement réparties et diversement organisées. C'est dans les bureaux techniques (méthodes,

ordonnancement, logistique et travaux neufs) que s'effectuera majoritairement la gestion par exploitation des 10 modules analysés. Le « cahier des charges » proposé pour chaque module n'a pas l'ambition d'être exhaustif (chaque service maintenance a ses propres critères), mais d'attirer l'attention sur certains points souvent négligés. Les modules analysés sont les suivants [9]

- ✓ Gestion des équipements.
- ✓ Gestion du suivi opérationnel des équipements.
- ✓ Gestion des interventions en interne et en externe.
- ✓ Gestion du préventif.
- ✓ Gestion des stocks.
- ✓ Gestion des approvisionnements et des achats.
- ✓ Analyse des défaillances.
- ✓ Gestion du budget et suivi des dépenses.
- ✓ Gestion des ressources humaines.
- ✓ Tableaux de bord et statistiques.

## 2.8. Conclusion

Dans ce chapitre on a vu les différents aspects de la maintenance et l'importance de l'étude de la fiabilité sur la sûreté de fonctionnement des équipements. On applique les lois de probabilité utilisées en fiabilité qui permettent l'optimisation des périodes d'interventions systématiques en diminuant le coût de la maintenance préventive et en évaluant exactement les MTBF et MTTR d'un équipement selon l'indice de l'indisponibilité, afin d'éviter les arrêts non planifiés.

**CHAPITRE 3**

**ÉTUDE ET ANALYSE DES LOIS DE LA**

**FIABILITÉ**

## CHAPITRE 3 ÉTUDE ET ANALYSE DES LOIS DE LA FIABILITÉ

### **3.1. Introduction**

La fiabilité est devenue un élément essentiel pour les enjeux de sécurité et de performances des entreprises. De nombreuses difficultés se posent aux industriels qui veulent estimer la fiabilité d'un composant : la nature du composant, la taille du retour d'expérience et sa nécessaire validation avant tout usage, l'effet perturbateur de la maintenance préventive qui vise à réduire la probabilité de défaillance. Dans ce chapitre nous citons quelques méthodes actuellement utilisées dans l'industrie pour estimer une fiabilité d'équipements.

L'analyse de la fiabilité d'un système permet de prévoir sa durée de vie dans le cas d'un système non réparable. Ou son temps de bon fonctionnement dans le cas d'un système réparable.

La connaissance de la durée de vie d'un système ou d'un composant permet de déterminer par exemple les périodicités dans le cas d'une maintenance préventive systématique.

### **3.2. Définition**

La fiabilité est la caractéristique d'un système exprimée par la probabilité qu'il accomplisse la fonction pour laquelle il a été conçu, dans des conditions données et pendant une durée donnée (NF X 060-010 – AFNOR). Ainsi, la durée de vie d'un système est utilisée pour mesurer la quantité de service rendu. D'une manière générale, on mesure la durée de vie d'un système par le nombre d'heures durant lesquelles il a effectivement fonctionné.

### **3.3. 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 qualité sans bonne fiabilité [15].

### **3.4. Notions liés à la fiabilité**

Ce paragraphe est un recueil de principaux éléments probabilistes permettant de mesurer la fiabilité.

### 3.4.1. Fonction fiabilité ou fonction de survie

La fiabilité d'un dispositif au bout d'un temps  $t$  correspond à la probabilité pour que ce dispositif n'ait pas de défaillance entre 0 et l'instant  $t$ . En désignant par  $T$  la variable aléatoire caractérisant l'instant de défaillance du dispositif, la fiabilité s'exprime par la fonction  $R(t)$  – de l'anglais "Reliability" – telle que [19]

$R(t) = \text{Prob}(\text{qu'une entité } E \text{ soit non défaillante sur la durée } [0 ; t], \text{ en supposant qu'elle n'est pas défaillante à l'instant } t = 0)$

$$R(t) = P(T \geq t) = 1 - F(t) \quad (3.1)$$

$F(t)$  est la fonction de répartition de la variable  $t$ .

On note que, la variable "temps" doit être considéré comme une unité d'usage. En effet, dans le cas de certains dispositifs particuliers, il conviendra de considérer: une distance parcourue (kilomètre), nombre de tours, nombre de sollicitations, ..., etc.

La fonction de fiabilité a, en général, la forme suivante (Figure 3.1):

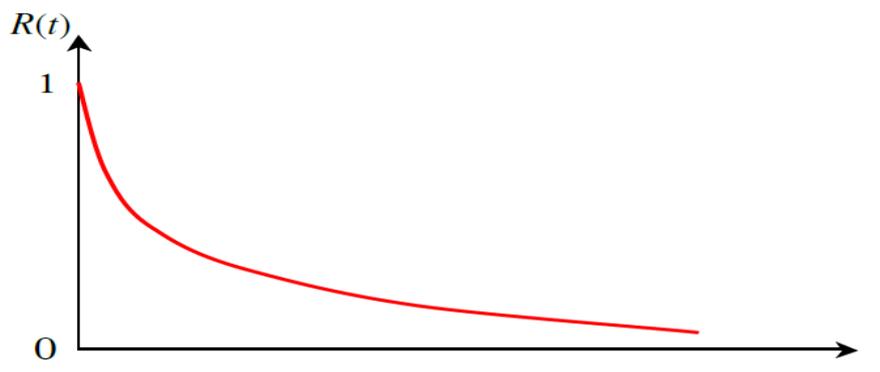


Figure 3.1 La fiabilité décroissante avec le temps [19]

### 3.4.2. Taux de défaillance instantané

L'écriture mathématique du taux de défaillance à l'instant  $t$ , noté  $\lambda(t)$ , est la suivante [19]

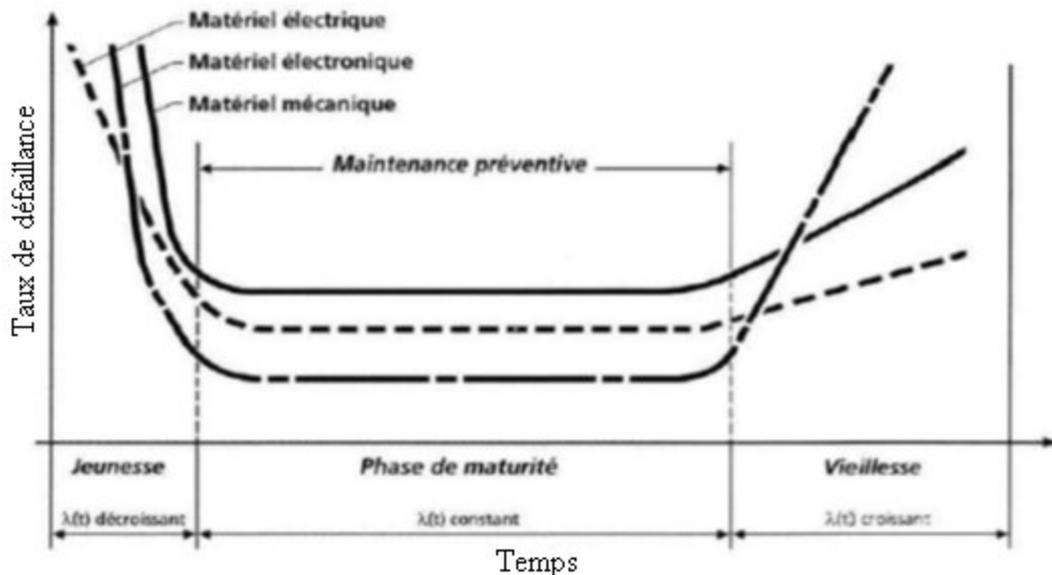
$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left( \frac{1}{\Delta t} \cdot \frac{R(t) - R(t + \Delta t)}{R(t)} \right) \quad (3.2)$$

Physiquement le terme  $\lambda(t) \Delta t$ , mesure la probabilité qu'une défaillance d'un dispositif se produise dans l'intervalle de temps  $[t, t + \Delta t]$  sachant que ce dispositif a bien fonctionné jusqu'à l'instant  $t$ .

Le taux de défaillance d'un dispositif à l'instant  $t$  est donc défini par

$$\lambda(t) = - \frac{dR(t)}{dt} \cdot \frac{1}{R(t)} = \frac{dF(t)}{dt} \cdot \frac{1}{R(t)} = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (3.3)$$

Le comportement temporel du taux de panne est représenté par la courbe « en baignoire » de la Figure 3.2 Cette courbe comporte trois phases pour lesquelles on détaille les causes potentielles et les actions à entreprendre pour améliorer le comportement du système.



**Figure 3.2** Évolution du taux de défaillance en courbe « baignoire » [20]

- 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....).

### 3.4.3. Temps moyen de bon fonctionnement

Représenté le moyen des temps de bon fonctionnement (Mean Time Between Failure) entre deux défaillances d'un système réparable. Ou la MTBF correspond à l'espérance mathématique de la variable aléatoire  $T$ , date d'apparition d'une panne.

$$MTBF = \frac{\sum \text{des temps de bon fonctionnement entre les } n \text{ défaillances}}{\text{Nombre des temps de bon fonctionnement (nb défaillances)}} \quad (3.4)$$

### 3.5. Lois de probabilités en fiabilité

Dans ce paragraphe, nous présenterons quelques distributions de vie qui interviennent fréquemment dans l'analyse des données de vie. Nous parlerons en particuliers des lois continues. Nous énoncerons les principales propriétés de ces lois (densité de probabilité, fonctions fiabilité et taux de défaillance).

#### 3.5.1. Loi exponentielle

Cette loi a de nombreuses applications dans plusieurs domaines. C'est une loi simple, très utilisée en fiabilité dont le taux de défaillance est constant. Elle décrit la vie des matériels qui subissent des défaillances brutales.

##### a) Propriétés de la loi exponentielle.

Elle se retrouve à partir de la loi fondamentale de la fiabilité avec ( $\lambda$ ) constant. La probabilité de survie entre 0 et (t) devient [19]

$$R(t) = e^{-\int \lambda(t) dt} = e^{-\lambda t} \quad (3.5)$$

✓ Densité de probabilité :

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (3.6)$$

✓ Fonction de répartition :

$$F(t) = 1 - R(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (3.7)$$

✓ Espérance mathématique :

$$E(t) = 1/\lambda = \text{MTBF} \quad (3.8)$$

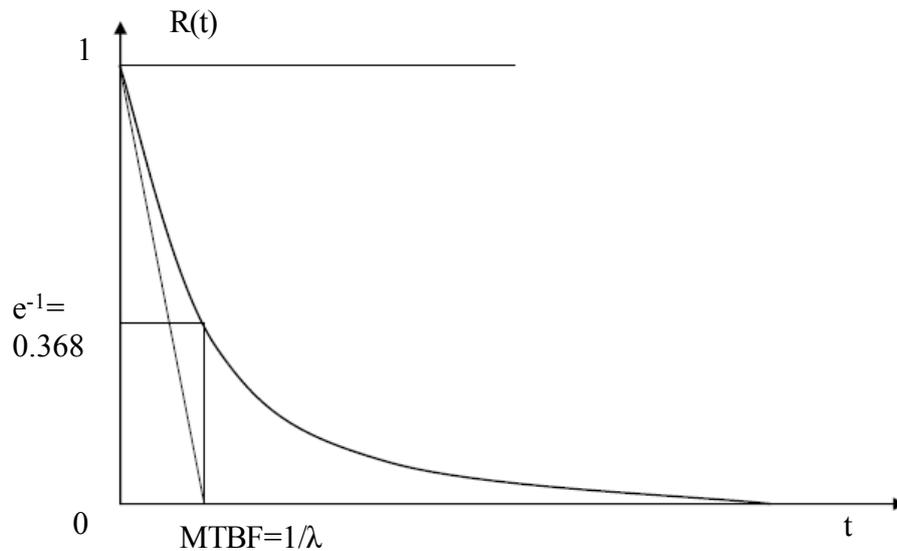
##### b) Domaine d'utilisation de la loi exponentielle.

La courbe en baignoire relative à la durée de vie d'un système fait apparaître une période de maturité plus ou moins longue pendant laquelle le taux de défaillance d'un système est sensiblement constant. C'est le champ d'application de la loi exponentielle qui repose sur l'hypothèse ( $\lambda =$  constante), donc ( $\text{MTBF} = 1/\lambda$ ), les équipements électroniques se prêtent bien à l'utilisation de la loi exponentielle lorsque les composants sont déterminés.

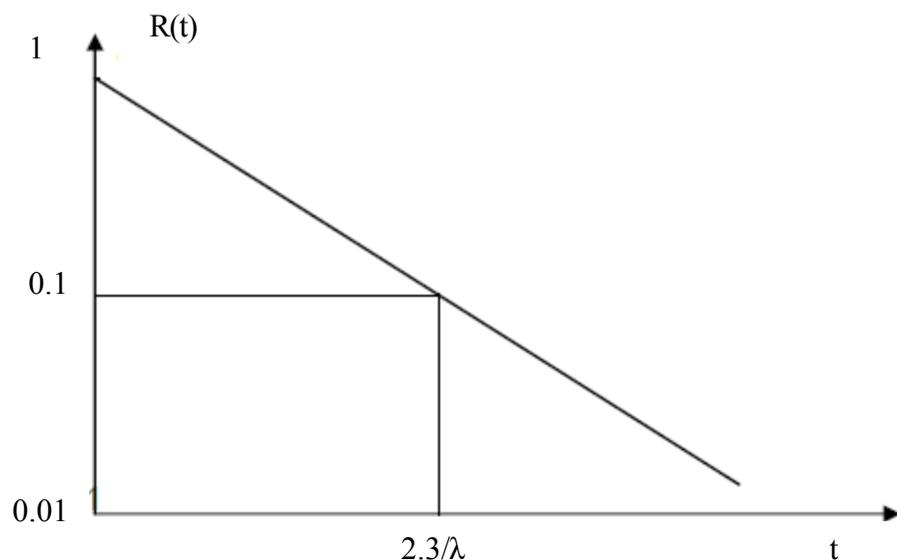
##### c) Représentation graphique de $\lambda$

La relation linéaire de la loi exponentielle s'obtient sur un simple papier semi logarithmique. La droite ayant pour pente la valeur de  $\lambda/2,3$  ou la valeur  $1/\lambda$ .

Si  $R(t) = e^{-\lambda t}$ , alors  $R(t) = -\lambda t$  ou  $\log R(t) = \frac{-\lambda}{2.3} t$ , or ( $\ln 10 = 2.3$ )



**Figure 3.3** Représentation graphique de la loi exponentielle : Échelle linéaire



**Figure 3.4** Représentation graphique de la loi exponentielle : Échelle semi-logarithmique

### 3.5.2. La loi normale (Laplace-Gauss)

La loi normale est très répandue parmi les lois de probabilité car elle s'applique à de nombreux phénomènes. En fiabilité, la distribution normale est utilisée pour présenter la distribution des durées de vies des dispositifs en fin de vie (usure) car le taux de défaillance est toujours croissant. On l'utilisera que si la moyenne des durées de vie est supérieure à trois fois l'écart type [20]. La densité de probabilité d'une loi normale de moyenne " $\mu$ " et d'écart type " $\sigma$ " s'écrit

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (3.9)$$

La fonction de répartition s'écrit :

$$F(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx \quad (3.10)$$

La fiabilité est donnée par  $R(t)=1-F((t-\mu)/\sigma)$  où "F" est la fonction de répartition de la loi normale centrée ( $\mu=0$ ) réduite ( $\sigma=1$ ).

$$F(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t e^{-\frac{x^2}{2}} dx \quad (3.11)$$

### 3.5.3. Analyse de la fiabilité à partir du modèle de "Weibull"

C'est la plus populaire des lois, utilisée dans plusieurs domaines (électronique, mécanique,..). Elle permet de modéliser en particulier de nombreuses situations d'usure de matériel. Elle caractérise le comportement du système dans les trois phases de vie : période de jeunesse, période de vie utile et période d'usure ou vieillissement. Dans sa forme la plus générale, la distribution de Weibull dépend des trois paramètres suivants :  $\beta$ ,  $\eta$  et  $\gamma$ . La densité de probabilité d'une loi de Weibull a pour expression [19]

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (t \geq \gamma) \quad (3.12)$$

$\beta$  est le paramètre de forme ( $\beta > 0$ )

- Si  $\beta < 1$  alors le taux de défaillance décroît, période de jeunesse (rodage).
- Si  $\beta = 1$  alors le taux de défaillance est constant, nous sommes en zone de maturité. On retrouve la loi exponentielle.
- Si  $\beta > 1$  le taux de défaillance croît, nous sommes en phase de vieillesse, avec :
  - Si  $1,5 < \beta < 2,5$  dégradation due à la fatigue.
  - Si  $3 < \beta < 4$  dégradation essentiellement due à l'usure ou la corrosion.
  - Si  $\beta = 3,5$  on retrouve la loi normale.

$\eta$  est le paramètre d'échelle ( $\eta > 0$ )

$\gamma$  est le paramètre de position ( $\gamma \geq 0$ )

La fonction fiabilité s'écrit:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (3.13)$$

Fonction de répartition s'écrit :

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (3.14)$$

Le taux de défaillance est donnée par:

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (3.15)$$

Moyenne des temps de bon fonctionnement s'écrit :

$$MTBF = \gamma + \eta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (3.16)$$

Durée de vie associée à un niveau de fiabilité

$$t = \gamma + \eta \left(\ln \frac{1}{R(t)}\right)^{\frac{1}{\beta}} \quad (3.17)$$

Suivant les valeurs de  $\beta$ , le taux de défaillance est soit décroissant ( $\beta < 1$ ) soit constant ( $\beta = 1$ ), soit croissant ( $\beta > 1$ ). La distribution de Weibull permet donc de représenter les trois périodes de la vie d'un dispositif décrites par la courbe en baignoire. Voir Figure 3.3.

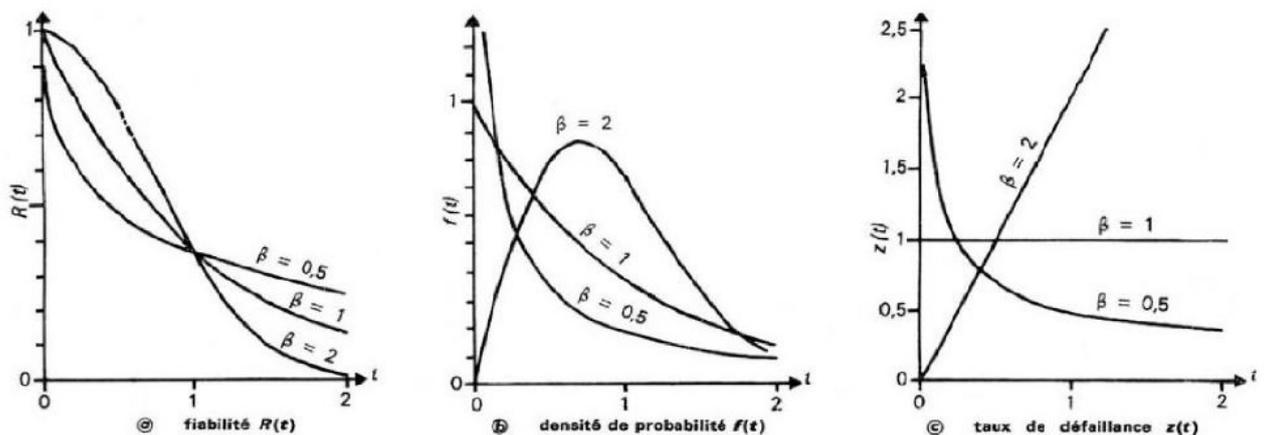


Figure 3.5 Principales propriétés de la distribution de Weibull [17]

### 3.6. Conclusion

L'estimation d'une fiabilité permet à la fois de comprendre le passé et de préparer le futur. Le fiabiliste se doit d'être pragmatique et de toujours juger et mesurer ses résultats à l'aune du bon sens physique.

**CHAPITRE 4**

**ÉTUDE DE FONCTIONNEMENT DU**

**BROYEUR BI-ROTATEUR**

## CHAPITRE 4 ÉTUDE DE FONCTIONNEMENT DU BROYEUR BI-ROTATEUR

### 4.1. Introduction

Pour analyser les défaillances d'un système, il est nécessaire auparavant de bien identifier à quoi doit servir ce système : c'est à dire de bien identifier toutes les fonctions que ce système doit remplir durant sa vie de fonctionnement.

A partir de l'étude de fonctionnement, on pourra étudier le système à l'aspect technique : l'AMDEC. Cela nous permettra de déterminer tous les paramètres qui effectuent la fonctionnalité de broyeur et l'opération de broyage; l'étude de fonctionnement est strictement nécessaire pour établir un plan de maintenance.

### 4.2. Généralités sur le broyage

L'importance du broyage en cimenterie est considérable, Pour favoriser les réactions chimiques ultérieures, les matières premières doivent être séchées et broyées très finement (quelques microns) dans un broyeur à boulet.

Ensuite 3 voies sont possibles : la voie humide, la voie sèche et demi-sèche. La première est plus ancienne et implique une grande consommation d'énergie pour évaporer l'eau excédentaire.

Aujourd'hui, n'utilise plus que la voie sèche ou demi-sèche, Dans ces procédés, les matières premières sont parfaitement homogénéisées et séchées lors de l'opération de broyage afin d'obtenir la farine.

En effet, pour la préparation des matières crues destinées à la fabrication du ciment, le broyeur a une double fonction :

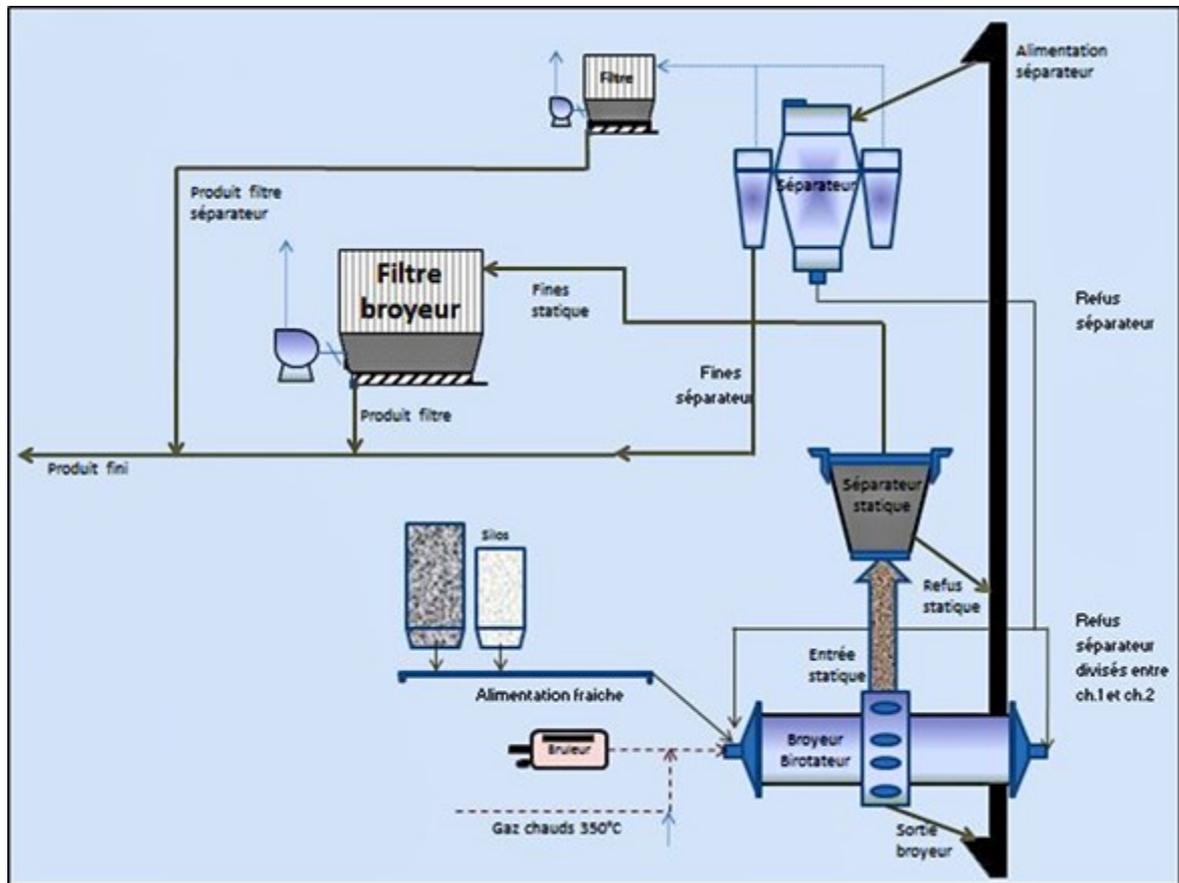
- Fragmenter, jusqu'à l'obtention d'une poudre, les produits concassés pour favoriser les réactions des éléments chimiques pendant la cuisson.
- Homogénéiser un mélange brut qui comprend le plus souvent au moins deux constituants.

Il existe deux types d'installation de broyage :

- Broyage en circuit ouvert
- Broyage en circuit fermé

#### 4.2.1. Circuit matière de broyage

Le circuit utilisé dans la cimenterie est bien le circuit fermé, dans ce type l'installation du broyeur nécessitant l'adjonction d'autres appareils, appareil de classification de produit fini (séparateur), appareil de manutention du produit (élévateurs, vis, aéroglesseurs). Voir figure 4.1



**Figure 4.1** Circuit fermé (broyeur, séparateur à cyclones, avec séparateur statique)[21]

Les matières premières sont extraites de leurs trémies spécifiques de stockage à travers les doseurs. Dans le broyeur, le mélange, arrivant avec une humidité de  $<6\%$ , est séché par les gaz des températures de  $300$  à  $500^{\circ}\text{C}$  ou par le turbo bruleur. Ces gaz sont véhiculés à travers le broyeur, les matières sont dégrossies à l'intérieur de broyeur, Les matières gros quitte le broyeur par une sortie périphérique centrale et les matières fines entrées le séparateur statique à l'aide du ventilateur de tirage de l'atelier de broyage qui refoule ces gaz refroidis à  $80/90^{\circ}\text{C}$  vers le filtre à manches. Le produit broyé et les refus du séparateur statique sont acheminés par un élévateur à godets au séparateur dynamique. Les refus de séparateur dynamique sont recyclés à  $80\%$  vers le finisseur ( $2^{\text{ème}}$  chambre de broyeur) et  $20\%$  vers le dégrossisseur ( $1^{\text{er}}$  chambre de broyeur) [21].

Les fines constituant le produit fini (appelé cru) sont envoyées vers les silos d'homo, par la pompe air lift à raison de  $270$  t/h sèches ( $1\%$  d'humidité résiduelle) [21].

### 4.2.2. Théorie de broyage

Broyeur c'est réduire un morceau ou une particule en plusieurs morceaux ou particules plus petites et suivant la loi de Rittinger (1867). Selon cette loi, la nouvelle surface obtenue par concassage ou broyage est directement proportionnelle au travail utile consommé, c'est-à-dire que le travail de fragmentation est proportionnel à la somme des nouvelles surfaces produites. Mathématiquement, elle est exprimée par la relation suivante [21]

$$W = K \left( \frac{1}{d} - \frac{1}{D} \right) = K(S_f - S_i) \quad (3.1)$$

Où:

- W est l'énergie consommée [KW/h]
- d est la dimension des particules du produit [m]
- D est la dimension des particules de l'alimentation [m]
- $S_i$  la surface initiale,  $S_f$  est la surface finale [m<sup>2</sup>]
- Le coefficient K dépend de la forme de la particule, le type de matériau, le nombre de défauts et de l'efficacité des forces appliquées pour le travail de broyage.

### 4.3. Description de broyeur Bi-rotateur

C'est un machine rotatif fait l'opération de broyage et séchage du mélange brut, ce broyeur à boulets désigné sous le nom de broyeur a cru. Il est équipé de paliers d'entrée de grand diamètre car ils ne permettent non seulement le passage de la matière brute mais aussi d'énormes quantités de gaz chauds destinés au séchage. Le broyeur Bi-rotateur divisé en trois chambres. Voir figure 4.2.

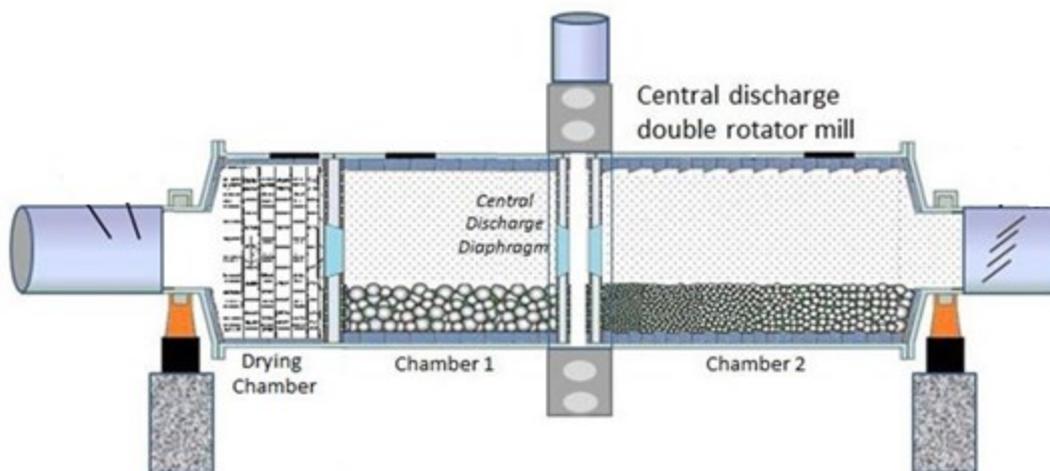


Figure 4.2 Broyeur Bi-rotateur à décharge périphérique centrale [21]

Dans la première chambre dit « chambre de séchage » équipé seulement des plaques de levage il n'y pas des boulets de broyeur ce qui permet d'obtenir un très bon séchage de la matière. La chambre de séchage est limitée par une cloison intermédiaire qui laisse passer la matière séchée et une grande quantité de gaz.

Derrière la chambre de séchage se trouve une chambre de dégrossisseur (1<sup>er</sup> compartiment). Celle-ci est équipée des plaques releveuses, cette chambre est limitée par une double cloison de sortie. La matière broyée ainsi les gaz chauds sortent du broyeur à travers cette double cloison et des ouvertures pratiquées dans la virole du broyeur. La chambre de finisseur (2<sup>eme</sup> compartiment) est équipée des plaques classant.

#### 4.4. Analyse les éléments constitutifs du broyeur Bi-rotateur

Les composants principaux de broyeur sont

##### 4.4.1. Virole

Une virole cylindrique (voir figure 4.3) à 6 éléments soudés en atelier et munie de 3 trous d'homme (1 par compartiment).

- ❖ Caractéristiques de la virole [2]
  - Longueur : 13 700 mm
  - Diamètre intérieur : 5 000 mm
  - Epaisseur des tronçons :
    - Aux extrémités : 70 mm
    - Sortie centrale : 75 mm
    - Intermédiaires : 48 mm

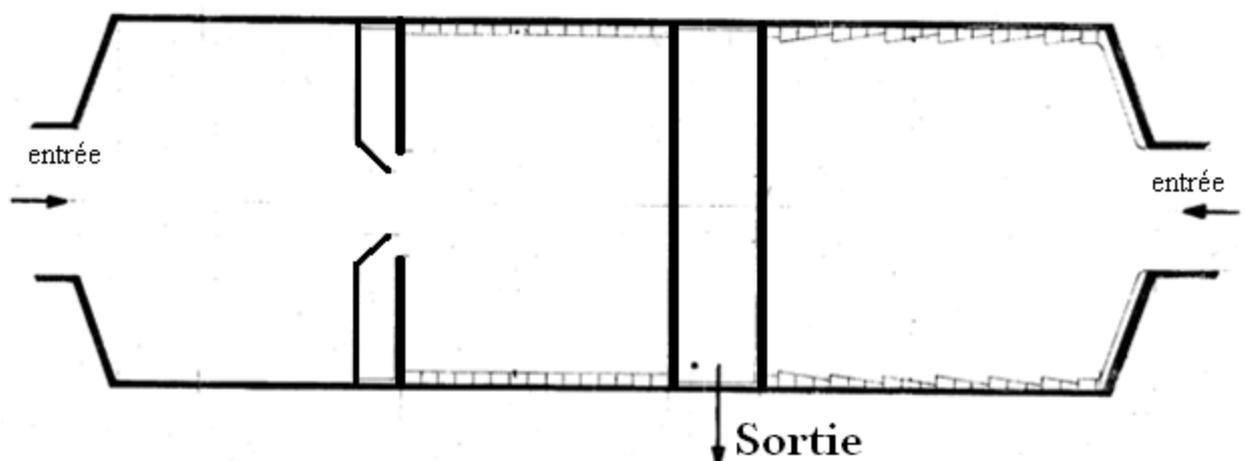


Figure 4.3 Virole de broyeur Bi-rotateur [2]

#### 4.4.2. Corps broyant (boulets)

Les corps broyant (voir figure 4.4) sont un élément très important des équipements interne de broyeur, non seulement au point de vue du rendement, mais aussi d'un point de vue de l'usure. En règle générale, la charge en boulets de broyage consiste en boulets de différentes tailles et de différentes qualités de matériaux. Pour le compartiment de broyage grossier (chambre 1), des boulets entre 60 et 100 mm sont utilisés. Pour la finition (chambre 2), des boulets entre 15 et 50 mm sont normalement utilisés.[ 21] Les corps broyant utilisé sont en acier forgé au carbone-manganèse à dureté de 300 – 360 HB [2].



Figure 4.4 Corps broyant [21]

##### 4.4.2.1. Charge de corps broyant

La charge de corps broyant est distribuée comme suit :

Tableau 4.1 Charge de corps broyant [1]

1 <sup>er</sup> chambre		2 <sup>ème</sup> chambre	
Ø mm	Masse Kg	Ø mm	Masse Kg
80	43 000	50	19 000
70	28 500	40	43 500
60	17 500	30	50 000
	89 000		112 500

##### 4.4.2.2. Qualité des charges broyant

Voici un petit tableau avec les avantages et les inconvénients de ces différents boulets:

Tableau 4.2 Avantages et les inconvénients de ces différents boulets [21]

Type des boulets	Avantages	Inconvénients
<b>Boulets forgés</b>	Facile à trouver. Plus économique. Meilleur comportement à la corrosion.	Usure plus élevée en voie sèche. Taux d'utilisation broyeur moins élevé. Coûts d'entretien plus élevés.
<b>Boulets coulés</b>	Bons pour le processus en voie humide	En voie sèche, seulement pour petits broyeurs
<b>Boulets coulés au chrome</b>	Bonne résistance à l'usure. Bons pour le processus en voie sèche. Taux d'utilisation broyeur plus élevé. Coûts d'entretien moins élevés.	Relativement cher. Pas facile de trouver la bonne qualité. Moins bon comportement à la corrosion.

#### 4.4.2.3. Taux d'usure

L'usure des corps broyant dans un broyeur est un sujet polémique et de nombreuses théories existent en ce qui concerne des lois qui régissent ce processus.

L'usure des boulets est due à quatre raisons:

- Impacts.
- Forces de frottement.
- Abrasivité des composants d'alimentation.
- Corrosion.

Selon ces raisons et la qualité des boulets, les taux d'usure peuvent varier considérablement entre 10 et 1500 gr/t [21].

Le tableau ci-dessous donne une bonne idée des taux d'usure pour le ciment, le ciment avec des additifs, la farine crue et la pâte:

**Tableau 4.3 Taux d'usure [21]**

Type de boulets	1 <sup>er</sup> chambre (g/t)	2 <sup>ème</sup> chambre (g/t)
<b>Boulets coulés au chrome</b>	40-80	15-50
<b>Boulets coulés</b>	/	30-120
<b>Boulets forgé</b>	150-600	30-150

#### 4.4.3. Equipement de blindages

Le rôle principal du blindage du broyeur est évidemment de protéger la virole de l'usure excessive et des fissures possibles.

Comme les broyeurs à cru et à ciment sont composés de un à plusieurs compartiments, la conception (profil) du blindage diffère parce que l'objectif est différent.

Nous pouvons diviser les blindages en quatre types:

- Plaques de levage pour les chambres de séchage.
- Blindages de relevage pour le premier compartiment.
- Blindages classant pour le deuxième compartiment ( finition).
- Blindages d'entrée.

Tableau 4.4 Equipements de blindages [1]

	Chambre de séchage	1 <sup>er</sup> chambre	2 <sup>ème</sup> chambre	Fond d'entrée côté refus
Type de plaques	Levage	Releveuses	Classant	A nervures
Nombre	350	750	950	111

#### 4.4.3.1. Plaques de levage

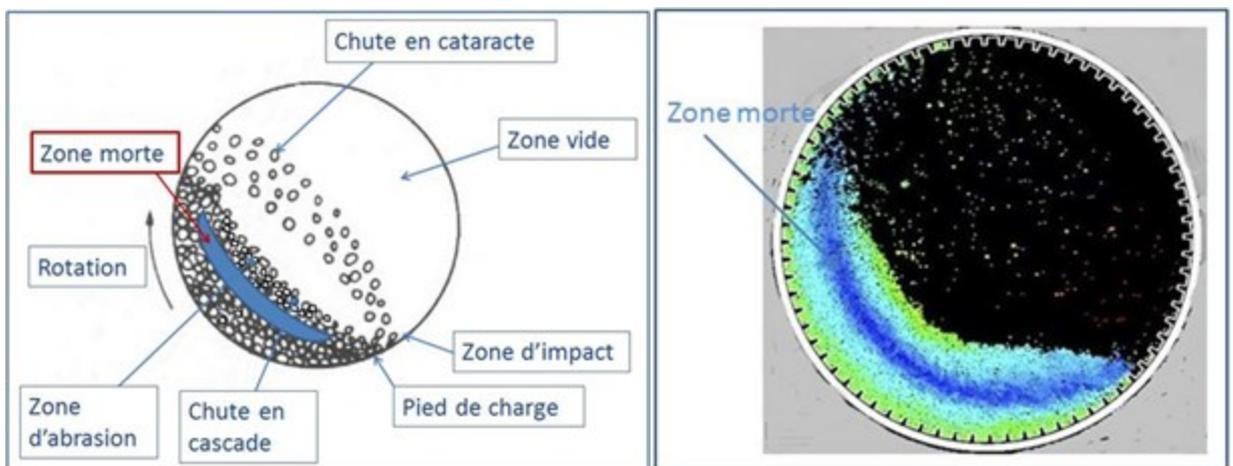
La virole des chambres de séchage coquilles est protégée par des plaques avec des releveurs soudés sur elles (voir annexe 1), Les releveurs sont nécessaires afin de permettre un bon mélange entre le matériau et les gaz chauds afin de mieux sécher la matière humide [21].

#### 4.4.3.2. Blindages de relevage

Ce type de blindage a pour mission d'améliorer l'effet de relevage de la charge de boulets, Avec suffisamment d'effet de relevage, l'impact du boulet sera assez puissant pour casser les grosses particules de matière. Les corps broyant ne doivent pas être relevés de trop non plus, afin d'éviter l'usure des blindages et la casse des boulets.

Différentes formes sont disponibles et permettent de garder le même effet de relevage pendant toute la durée de vie du revêtement (voir annexe 2). Certains fournisseurs mentionnent également que leurs blindages diminuer la «zone morte» de la charge broyant. La zone morte est une zone de la charge où les boulets sont pratiquement sans mouvement [21].

Voici ci-dessous, les différentes représentations de la zone morte:

Figure 4.5 Zone morte dans le 1<sup>er</sup> compartiment [21]

#### 4.4.3.3. *Blindages classant*

Le blindage classant est le plus largement utilisé dans le monde (voir annexe 3). Le blindage classant a été conçu afin de respecter la philosophie suivante: « En entrant dans le second compartiment, le reste de matière encore grossière nécessite plus de forces d'impact que de frottement ou de travail d'attrition. Les plus grands boulets doivent donc rester cantonnés au début de la seconde chambre. Au contraire, la matière est beaucoup plus fine en arrivant au pied de la cloison de sortie. Cela signifie que plus la matière s'écoule vers la fin du compartiment et plus elle a besoin d'érosion pour produire de la surface » [21].

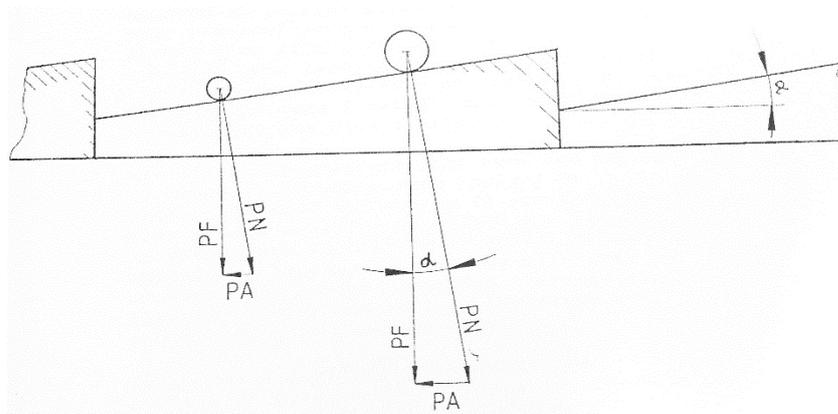
Tout cela pour dire que le blindage classant sert à classer les boulets de l'entrée à la sortie (gros boulets à l'entrée et petits boulets à la sortie). On obtient cette classification au moyen de trois mouvements essentiels [5]

- Effet de la force centrifuge
- Effet de rebond
- Effet de talus

##### a) *Effet de la force centrifuge*

Lorsque les corps broyant entrent en contact avec le blindage conique, ils subissent une accélération rotative jusqu'à ce que la masse des boulets qui subit un mouvement ascendant centrifuge, ait atteint la vitesse périphérique [5].

Dans la première phase du processus, la force centrifuge « PF » (voir figure 4.6) quand elle agit sur le boulet se décompose en une force « PA » dirigée dans le sens de l'axe et une force « PN », ces forces agissant sur des boulets de différentes tailles. Un gros boulet sera entraîné par une force plus grande qu'un petit boulet [5].



**Figure 4.6** *Effet de la force centrifuge [1]*

$\alpha$ : angle de conicité

PF : force centrifuge [N]

PN : force orthogonale [N]

PA : force dirigée dans l'axe (effet classant) [N]

*b) Effet rebond*

Si, à la fin de l'entraînement, un boulet bute contre la surface inclinée de la plaque conique d'entrée. Il rebondira en direction de l'inclinaison de la plaque, c'est à dire vers l'entrée du broyeur. De cette manière, un gros boulet, dans la masse épaisse de boulets qui tombent tout au long du broyeur sur le blindage à la base du talus, obtient un meilleur mouvement vers l'entrée. Selon les lois de la percussion, un boulet de masse peu importante qui entre en collision avec un autre de masse importante, ne le fera dévié que très peu [5].

*c) Effet de talus*

La ligne de pénétration, que forment entre elles les surfaces de la charge de corps broyant et du blindage, descend vers l'entrée, à cause de l'inclinaison des plaques. En considérant, la variation du temps, le matériau entassé forme un talus dans cette gorge inclinée vers le bas, entre les deux surfaces.

A cause de cet effet séparateur dans le talus de matériau mélangé entassé, les corps broyant rouleront vers l'entrée plus loin que les petits.

Les trois effets agissent dans le même sens, c'est à dire qu'ils se complètent mutuellement, et se renforcent.

Les gros boulets tendent à se déplacer vers l'entrée du compartiment de broyage et en délogeant les plus petits, qui s'accumulent à la sortie du compartiment. Le processus de classification se stabilise quand les corps broyant ont été séparés complètement [5].

**4.4.3.4. Blindages d'entrée**

L'entrée du broyeur peut être conique ou plat. Les deux types sont exposés à une forte abrasion due au mouvement relatif entre le revêtement et les corps broyant.

La fonction principale de ce blindage d'entrée est la protection de la virole de la tête du broyeur contre les chocs et l'usure. Cela devient une fonction critique car il a été observé que cette partie du broyeur est très sensible à la fissuration à long terme [5], (voir annexe 4)

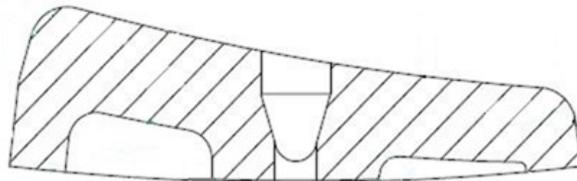
#### 4.4.3.5. *Montages des plaques de blindage*

En général il y a trois méthodes utilisées pour monter les plaques de blindage [21]

- Blindages boulonné
- Blindages semi-boulonné
- Blindages sans boulons

Dans notre cas, le type de fixation utilisé est blindages boulonné. Dans ce type de blindage boulonné est fixé sur la virole du broyeur par un ou deux boulons en fonction de la dimension de la plaque.

Croquis d'une plaque boulonnée, pour détails voir annexe 1-4:



**Figure 4.7** *Croquis d'une plaque boulonnée [21]*

#### 4.4.3.6. *Durée de vie des blindages*

La durée de vie dépend principalement de la matière à broyer. Les chiffres suivants sont généralement acceptés pour le broyage cru [21].

**Tableau 4.5** *Durée de vie des blindages [21]*

1 <sup>er</sup> chambre	2 <sup>ème</sup> chambre
25 000 – 45 000 h	60 000 – 80 000 h

#### 4.4.4. *Paliers porteurs*

Le broyeur est porté par deux paliers à grand diamètre [1]

- Palier à patins  $\varnothing$  3000 mm
- Palier à coussinet  $\varnothing$  2240 mm
  - a) Palier à patins, coté alimentation constitué de 2 patins hydrodynamiques revêtus de régule et montés sur rotule. Chaque des patins est lubrifié par système de lubrification centralisé.
  - b) Palier à coussinet coté chambre des refus, constitué d'un coussinet régulé monté sur rotule. Le coussinet et la rotule sont lubrifiés par deux arrivées d'huile haut pression. Pour les deux paliers, la partie inférieure du carénage forme bac à huile.

#### 4.4.5. Cloisons de transfert

Les cloisons sont des ensembles mécaniques faits pour séparer les différents compartiments d'un broyeur à boulets. En fait, il s'agit de sa principale fonction mais la cloison peut aussi effectuer d'autres fonctions telles que l'optimisation de la ventilation dans le broyeur ou le niveau de matière dans la chambre en amont [21].

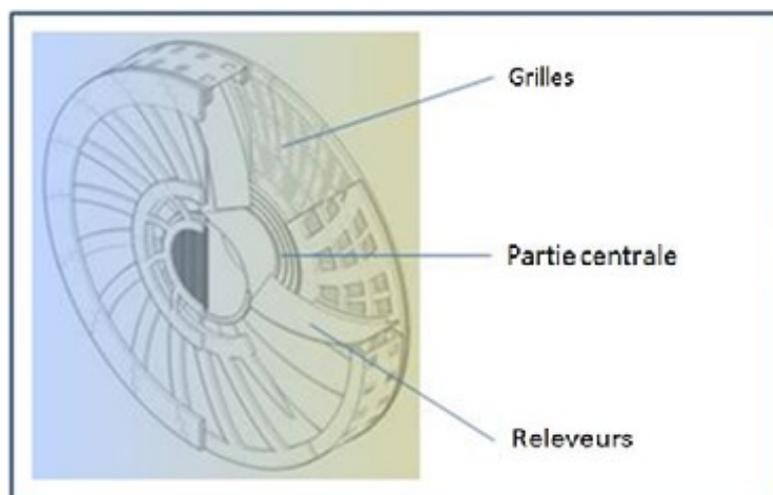
Il existe dans le broyeur Bi-rotateur, deux cloisons de transfert :

- Cloison intermédiaire se trouvent entre la chambre de séchage et la chambre de broyage.
- Cloison de décharge centrale sont entre deux chambres de broyage.

##### 4.4.5.1. Cloison intermédiaire

Les cloisons de transfert doivent remplir quatre conditions importantes [21]

- ✓ Permettre un passage de gaz optimum en vue de réduire la perte de charge dans le broyeur.
- ✓ Être résistantes à des températures élevées peut atteindre 500°C.
- ✓ S'adapter aux déformations de la virole dues aux variations de température.
- ✓ Avoir une bonne résistance aux forces axiales en raison de la charge de boulets du compartiment de broyage qui pousse, Ne pas oublier qu'il n'y a pas des boulets dans la chambre de séchage pour compenser les forces axiales de l'autre côté.
- ✓ Les cloisons de transfert n'ont pas de plaques ou grilles du côté séchage. La matière est directement en contact avec les releveurs de la cloison qui permettent le passage vers la chambre de broyage.



**Figure 4.8** Cloison intermédiaire [21]

#### 4.4.5.2. Cloison de décharge centrale

Il y a des grilles sur les deux côtés du châssis de la cloison. Des anneaux de retenue ayant une certaine hauteur peuvent être installés afin de garder un bon niveau de matière en 1<sup>ère</sup> chambre.

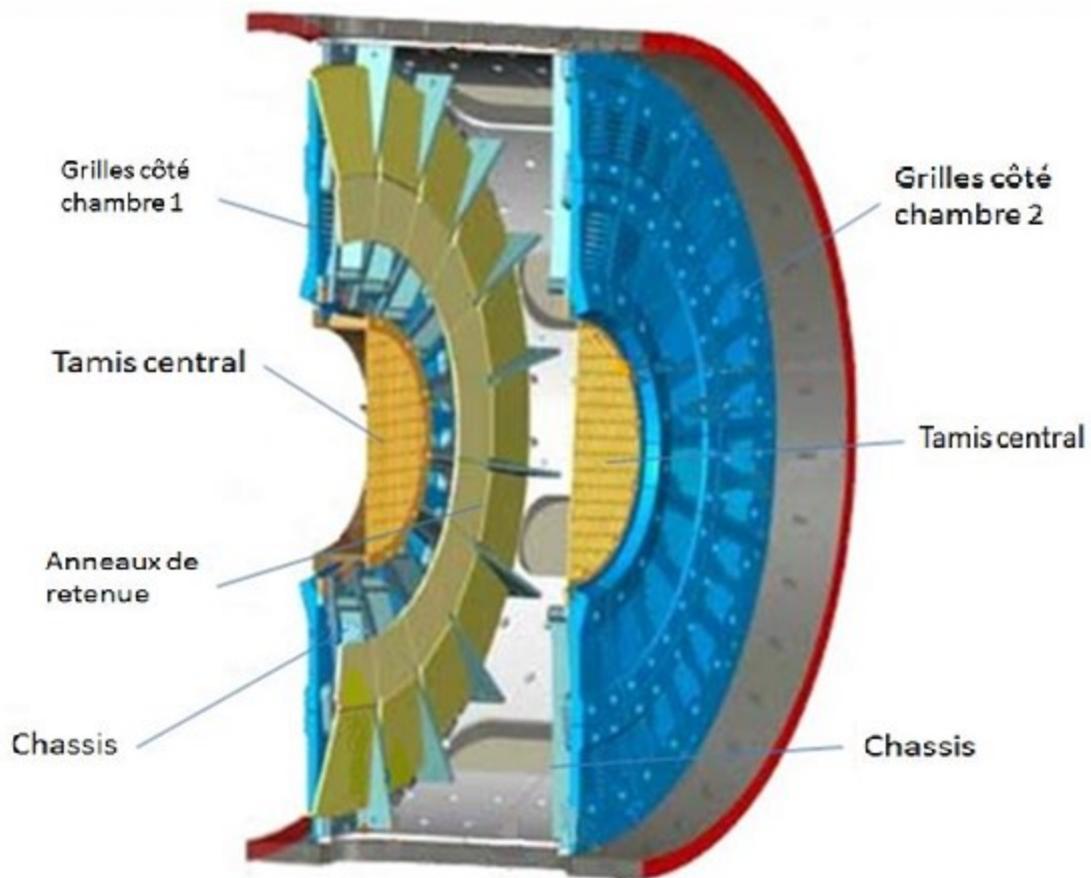


Figure 4.9 Cloison de décharge centrale [21]

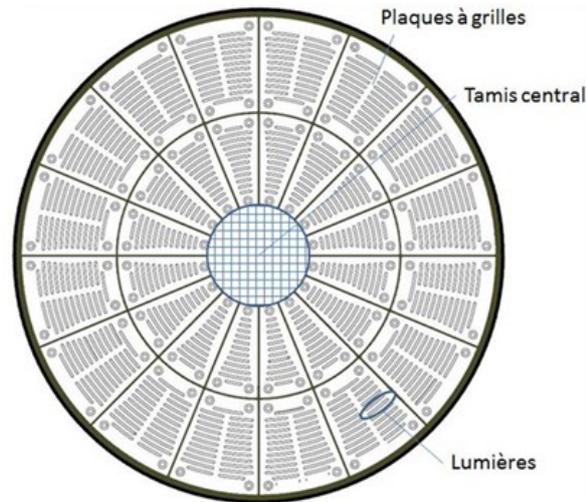
#### 4.4.5.3. Grilles et les lumières de la cloison

Les plaques à grilles de cloison (voir figure 4.10), en acier spécial, traitées thermiquement, en très haute résistances à l'usure et au rupteur. Extérieurement plaques en une dureté de 53 HRC et une dureté de 45 HRC à cœur ce qui donne une bonne résistance et supprime le risque de fissuration [2].

Les lumières (voir figure 4.10) doit répondre aux exigences suivantes [21]

- ✓ Les plaques doivent avoir une résistance à la casse.
- ✓ Assurer un colmatage minimum des lumières par des particules ou à cause des impacts.
- ✓ Les plaques doivent permettre un passage facile de l'air et de la matière.

- ✓ Les plaques doivent garder une largeur constante pendant toute la durée de vie de la grille.



**Figure 4.10** *Lumières des grilles de cloison [21]*

#### 4.4.5.4. Durée de vie des grilles de la cloison

Le taux usure des cloisons intermédiaires dépend du type de matière à broyer et est provoquée par des impacts importants. Pour les cloisons de sortie, l'usure est provoquée par des forces de frottement entre les boulets, la matière broyée et les grilles.

Les grilles de la cloison intermédiaire sont le point délicat du broyeur d'un point de vue de l'usure [21].

Ci-après quelques chiffres :

**Tableau 4.6** *Durée de vie des grilles [21]*

Cloison intermédiaire	Cloison de sortie
10 000 – 15 000 h	15 000 – 22 000 h

#### 4.4.6. Groupe d'entraînement

Le groupe, à attaque latérale double, est constitué :

##### 4.4.6.1. Couronne et pignons

Une couronne dentée en acier moulé en 2 parties, boulonnée sur la bride de virole du broyeur. La couronne est attaquée par 2 pignons montés symétriquement sur des arbres en acier forgé portés par des paliers lisses lubrifiés par barbotage. Deux allonges tubulaires avec accouplements flexibles à 'dentures assurent la liaison entre le harnais et les groupes de commande.

### 1) Couronne à denture droite

C'est un système caractérisé par [1]

- Diamètre primitif : 6780 mm
- Nombre de dente : 226
- Largeur de dente : 550 mm
- Vitesse nominale couronne : 14.02 tr/mn.

### 2) Pignons

C'est un système caractérisé par [1]

- Nombre de dents : 35
- Rapport de réduction :  $226/35 = 6.457$
- Vitesse des pignons nominale : 90.55 tr/mn.

#### 4.4.6.2. Groupes de commande

L'entraînement de broyeur se fait par deux groupe de commande chacun un à des équipements suivant :

- Moteur principal TNB 800L 6
- Moteur de virage JSNF 180L 4
- Réducteur principal H2H 328
- Réducteur de virage H3H 27.2
- Dispositif d'encliquetage
- Accouplement FLEXACIER (43 TL 2, 70 TL 2)
- Coupleur hydraulique XR 370
- Dispositif anti-dériveur SIAM 22.508
- Frein électromagnétique FAM 350

### 1) Moteur principal TNB 800L 6

C'est un système caractérisé par [1]

- Puissance unitaire de 1650 KW
- Vitesse de rotation :
  - 1000 tr/mn à vide.
  - 980 tr/mn en charge.

### 2) Moteur de virage JSNF 180L 4

C'est un système caractérisé par [1]

- Puissance unitaire de 22 KW
- Vitesse de rotation : 1000 tr/mn à vide.

### 3) Réducteur principal H2H 328

C'est un système caractérisé par [1]

- Vitesse de sortie : 90.55 tr/mn
- Rapport de réduction :  $980/90.55$  égal à 10.82
- Capacité d'huile du carter environ 480 L
- Groupe de lubrification par eau.

### 4) Réducteur de virage H3H 27.2

C'est un système caractérisé par [1]

- Vitesse de sortie : 10.4 tr/mn
- Rapport de réduction :  $980/10.4$  égal à 94.32
- Capacité d'huile du carter environ 130 L
- Lubrification par barbotage.

### 5) Accouplement FLEXACIER (43 TL 2, 70 TL 2)

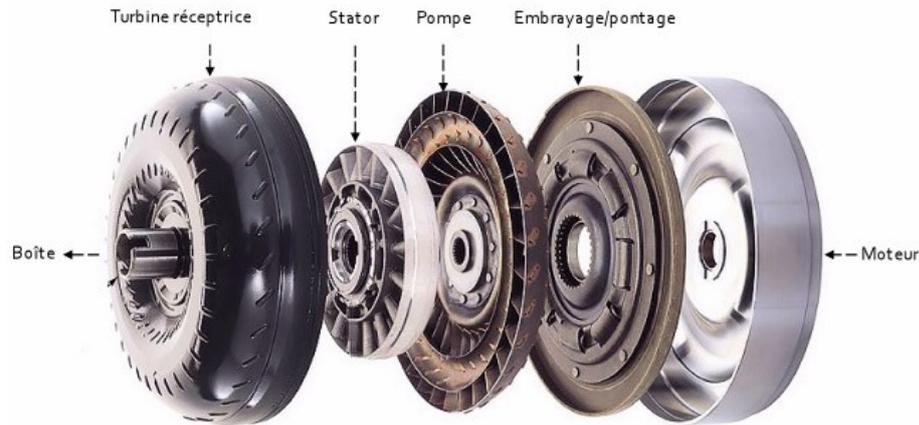
Le FLEXACIER (voir figure 4.11) est un accouplement mécanique, tout en acier et flexible. Le rôle de l'accouplement est essentiellement une diminution des effets des vibrations de torsion dans les arbres en localisant les déformations dans l'accouplement [22].



**Figure 4.11 FLEXACIER [22]**

### 6) Coupleur hydraulique XR 370

Coupleur hydraulique (voir figure 4.12) c'est un organe de transmission de puissance à compression d'huile conçu pour réaliser des démarrages graduels. Le coupleur est composé de deux disques à ailettes frontales en opposition qui forment le circuit pompe-turbine. Pendant le démarrage, le disque moteur accélère l'huile spéciale vers le disque mené solidaire de la machine à entraîner. Le couple moteur est transmis progressivement à la machine à entraîner en quelques secondes [23].



**Figure 4.12** *Coupleur hydraulique [23]*

### 7) Dispositif d'encliquetage

Ce dispositif monté sur un arbre, évite de faire travailler le réducteur de virage en multiplicateur de vitesse lors de la marche normale du broyeur. Il est constitué d'une roue à rochets solidaire du pignon et de cliquets montés sur la bride du moyeu. A petite vitesse (virage) les cliquets prennent place dans les logements de la roue à rochets et rendent aussi le pignon solidaire du moyeu claveté. A grande vitesse, les cliquets se relèvent sous l'effet de la force centrifuge et l'arbre tourne sans entraîner le pignon [1].

### 8) Dispositif de sécurité en dévirage

Le dispositif SIAM 22.508 est constitué d'un frein à tambour dont le moyeu porte-des masselottes munies de ressorts qui permettent le fonctionnement normal en dévirage. Lors du dévirage, les masselottes limitent la vitesse de l'arbre du moteur en frottant contre le tambour [1].

## 4.5. Conclusion

Nous avons résumer les différentes actions du broyeur Bi-rotateur, ceci permettra de mieux comprendre son fonctionnement et nous pouvons maintenant appliquer une analyse à l'aspect technique par la méthode « AMDEC » sur le broyeur Bi-rotateur. L'analyse consiste à identifier les dysfonctionnements potentiels ou déjà constatés de la machine, à mettre en évidence les points critiques et à proposer des actions correctives.

**CHAPITRE 5**

**ANALYSE DE LA FIABILITÉ DES**

**ÉQUIPEMENTS DU BROYEUR BI-**

**ROTATEUR**

## CHAPITRE 5 ANALYSE DE LA FIABILITÉ DES ÉQUIPEMENTS DU BROYEUR BI-ROTATEUR

### 5.1. Introduction

Ce chapitre présente une analyse de la fiabilité des équipements du broyeur Bi-rotateur, notre étude est divisé en trois parties, on s'attachera dans le premier partie à exploiter et analyser la méthode PARETO afin de déterminé les équipements le plus défaillants, nous irons utiliser les résultats d'exploitation de l'équipement à partir des bases de données pour une période d'une année on traite les nombres d'ordre de travail OT archivée dans la GMAO. Dans la deuxième partie on utilisera la méthode AMDEC afin d'identifier les organes critiques suite à un découpage fonctionnelle des équipements stratégiques. En fin nous irons utiliser le modèle de Weibull pour déterminer les paramètres de fiabilité des organes critiques, et connaîtra la MTBF d'équipement.

En fin nous avons proposé quelques solutions pour réduire la criticité de ces organes et également diminué la fréquence de défaillance d'équipement.

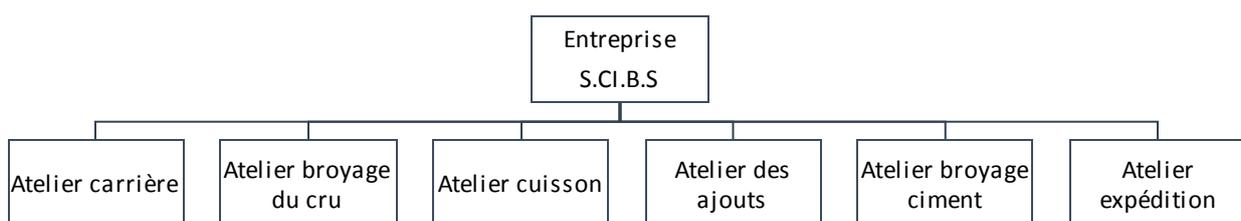
### 5.2. Analyse par la méthode PARETO

La mise en œuvre d'une politique de maintenance préventive nécessite l'identification des ateliers critiques qui doivent donc être traités en priorité. La méthode d'analyse à postériori 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.

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.

#### 5.2.1. Découpage de l'entreprise S.C.I.B.S

Dans notre étude le nombre des ateliers analysés est égal à six, la cimenterie de BENI-SAF propose le découpage présenté selon la Figure 5.1.



**Figure 5.1** Découpage de l'entreprise S.C.I.B.S

### 5.2.2. Construction du diagramme de Pareto des ateliers

D'après les historiques des interventions prélevées de la base de données GMAO nous avons classé six ateliers, qui seront par la suite exploitées afin de donner des histogrammes selon deux façons :

- Coût indirect (l'indisponibilité des équipements).
- Coût direct ou bien le coût de défaillance (le coût de réparation, et le coût de perte de production).

#### 5.2.2.1. Par le coût indirect

Le coût indirect modélisé par l'indicateur de l'indisponibilité (non disponible) d'un système c'est la résultant de la combinaison de deux facteurs : le nombre de d'intervention ou bien fréquence « N » et la durée moyenne de réparation (ou de dépannage) «  $\bar{T}$  ». On construit un tableau dans lequel les ateliers sont classés par ordre décroissant du nombre de pannes et la durée d'intervention, voir tableau 5.1.

**Tableau 5.1** Tableau de classement des ateliers par coût indirect

N°	Désignation des Ateliers	Fréquence « N »	Durée d'intervention $\bar{T}$ « heures »	$N \times \bar{T}$	$N \times \bar{T}$ (%)	Cumulé (%)
1	Broyage du cru	1244	9847	1224668	60.70	60.70
2	Broyage ciment	1146	2920	3346320	16.58	77.28
3	Cuisson	564	4602	2595528	12.86	90.14
4	Expédition	601	2591	1557191	7.71	97.86
5	Carrière	427	935	399245	1.97	99.83
6	Ajouts	114	286	32604	0.16	100
				<b>20180556</b>		

On trace le diagramme de Pareto illustré dans Figure 5.2 des coûts directs cumulés auquel on superpose la droite du seuil à 80%.

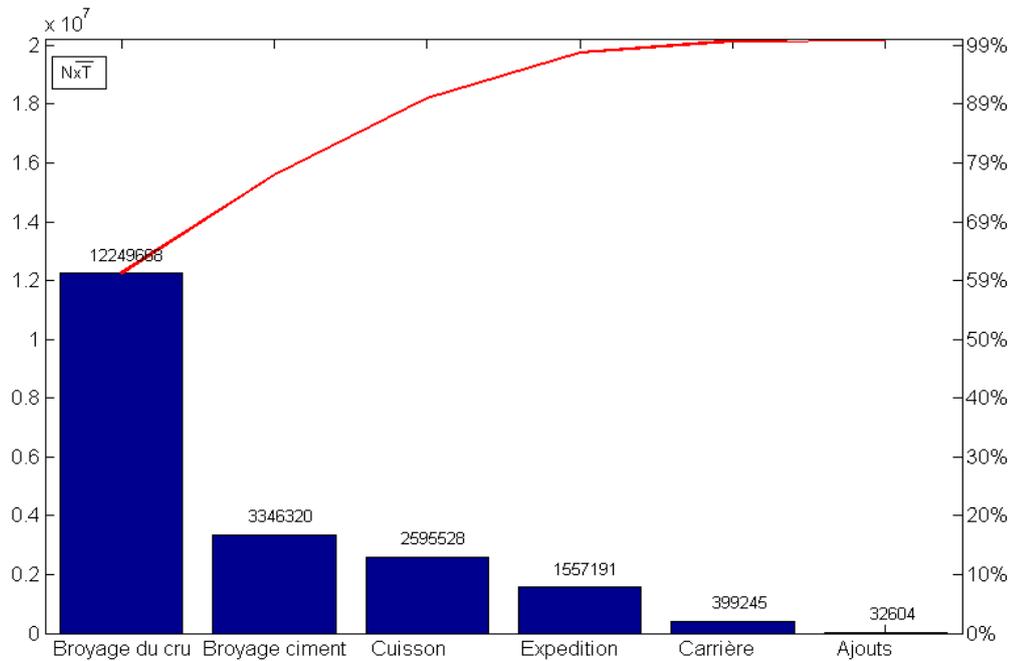


Figure 5.2 Diagramme de Pareto des coûts indirects (l'indisponibilité des ateliers)

**Interprétation**

Dans le cas des coûts indirects le diagramme PARETO montre que les ateliers suivants : broyage du cru, broyage ciment sont responsables de 80% de l'indisponibilité des équipements.

**5.2.2.2. Par le coût direct**

Le coût direct ou bien le coût de défaillance c'est la somme des dépenses des réparations (frais des pièces de rechange et de manœuvre), plus les pertes de production. On construit un tableau dans lequel les ateliers sont classés par ordre décroissant selon le coût total annuel, voir tableau 5.2.

Tableau 5.2 Tableau de classement des ateliers par coût direct

N°	Désignation des Ateliers	Coût de réparation (million DA)	Coût de non-production (million DA)	Coût total (million DA)	Cumulé (%)
1	Broyage du cru	238,1	226,5	464,5	32.43
2	Broyage ciment	365,3	67,2	432,5	62.62
3	Cuisson	135,5	105,8	241,2	79.46
4	Expédition	187,1	46,6	233,7	95.77
5	Carrière	27,1	21,5	48,6	99.17
6	Ajouts	5,3	6,6	11,9	100
		<b>958,2</b>	<b>474,2</b>	<b>1432,4</b>	

On trace le diagramme de Pareto illustré dans Figure 5.3 des coûts des défaillances cumulés auquel on superpose la droite du seuil à 80%. Le diagramme permet de classer les ateliers par ordre de priorité.

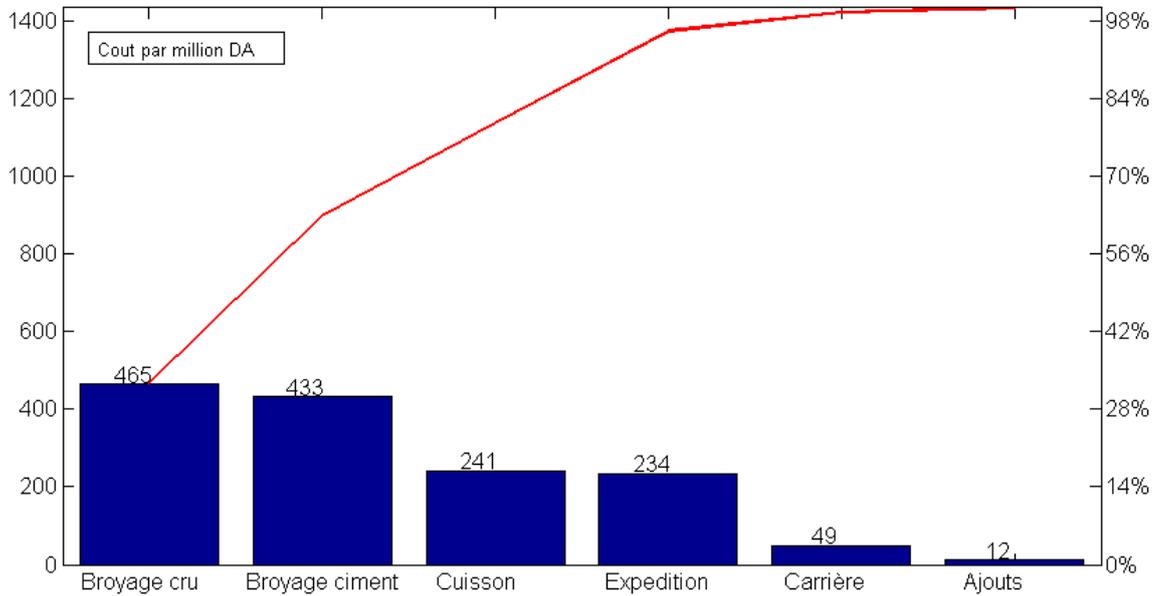


Figure 5.3 Diagramme de Pareto des coûts directs des ateliers

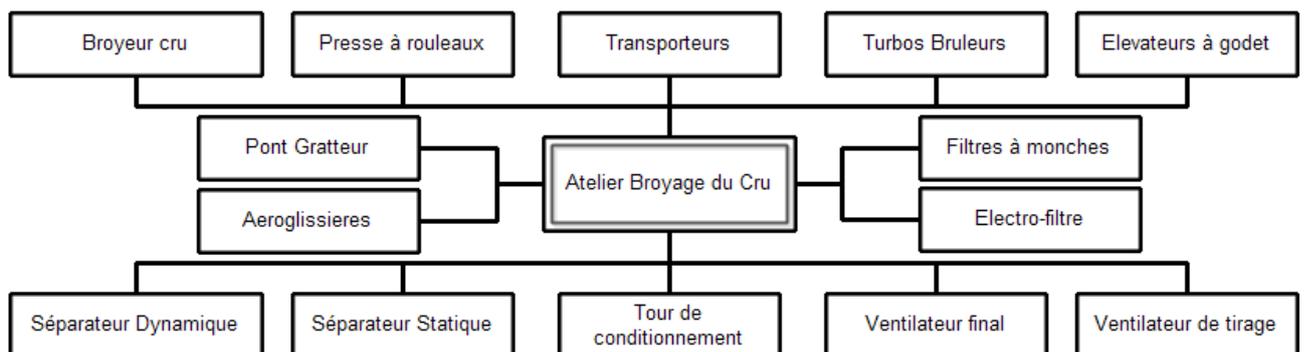
**Interprétation**

Dans le cas des coûts directs le diagramme PARETO montre que les ateliers suivants : broyage du cru, broyage ciment et atelier cuisson sont responsables de 80% des coûts total, ce qui rendra prioritaire les actions envers ces ateliers.

**Remarque :** dans le cas des coûts directs le diagramme Pareto donne trois ateliers qui sont responsables de 80%, en tant que le cas des coûts indirects il a donné seulement deux ateliers.

**5.2.3. Découpage de l'atelier broyage du cru**

Un deuxième découpage qui permet de descendre au niveau des équipements stratégiques. La Figure 5.4 représente le découpage de l'atelier broyage du cru.



**Figure 5.4** Découpage de l'atelier broyage cru**5.2.4. Construction du diagramme de Pareto des équipements de l'atelier broyage du cru**

Dans cette partie nous allons utiliser les résultats d'exploitation des équipements de l'atelier broyage cru à partir d'un logiciel GMAO. On construit un tableau 5.3 dans lequel les données des équipements sont classées par ordre décroissant.

**Tableau 5.3** Tableau de classement des équipements de l'atelier broyage du cru

N°	Désignation des équipements	Fréquence « N »	Durée d'intervention $\bar{T}$ « heures »	$N \times \bar{T}$	Cumulé (%)
1	Broyeur cru	147	1378.00	202566	41.19
2	Presse à rouleaux	128	896.00	114688	64.52
3	Transporteurs	117	374.00	43758	73.42
4	Turbos Bruleurs	51	703.00	35853	80.71
5	Élévateurs à godet	69	507.00	34983	87.82
6	Pont Gratteur	56	419.00	23464	92.60
7	Aéroglisteurs	49	347.00	17003	96.05
8	Filtres à manches	29	245.00	7105	97.50
9	Séparateur Dynamique	38	96.00	3648	98.24
10	Ventilateur de tirage	10	272.00	2720	98.78
11	Électrofiltre	15	178.00	2670	99.34
12	Tour de conditionnement	19	97.00	1843	99.71
13	Séparateur Statique	10	77.00	770	99.87
14	Ventilateur final	12	52.00	624	100
				<b>491695</b>	

On trace le diagramme de Pareto illustré dans Figure 5.3 qui permet de sélectionner l'équipement critique de l'atelier broyage du cru à prendre en considération dans notre étude afin de limiter les défaillances imprévues au niveau de cet atelier, auquel on superpose la droite du seuil à 80%. Le diagramme permet de classer les ateliers par ordre de priorité.

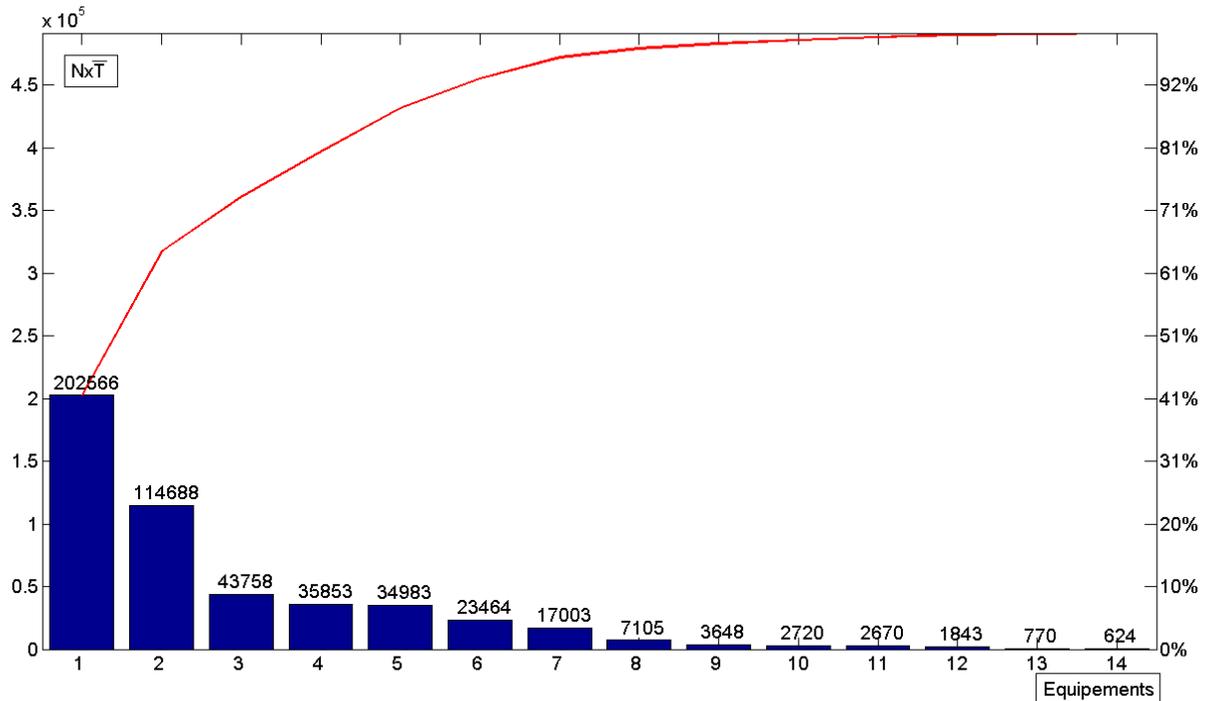


Figure 5.5 Diagramme de Pareto des équipements de l'atelier broyage du cru

### Interprétation

Le diagramme montre que les équipements Broyeur cru, Presse à rouleaux, Transporteurs et les turbos brûleurs sont responsables de 80% de l'indisponibilité, ce qui rendra prioritaire les actions de maintenance envers ces équipements sensibles. Pour cela on utilise la méthode développée en analyse de fiabilité et qui est connue sous le nom « AMDEC ». 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.

### 5.3. Analyse par la méthode « AMDEC »

Dans ce partie on utilise la méthode AMDEC comme procédé systématique pour identifier les modes potentiels de défaillances avant qu'elles ne surviennent, avec l'intention de les éliminer ou de minimiser les risques associés.

On a sélectionnée l'équipement à analyser à partir des résultats obtenus par l'analyse PARETO, dans ce cas on étudie l'équipement le plus sensible « Broyeur du cru ».

#### 5.3.1. Décomposition fonctionnelle de Broyeur du Cru

La décomposition fonctionnelle ayant pour le but d'identifier les modes de défaillances en vue de les éliminer ou de minimiser leurs conséquences. Nous avons utilisé la méthode d'arborescence

(analyse structurale) pour décomposer le broyeur cru voir figure 5.6, Il est décomposé en quatre sous-ensembles

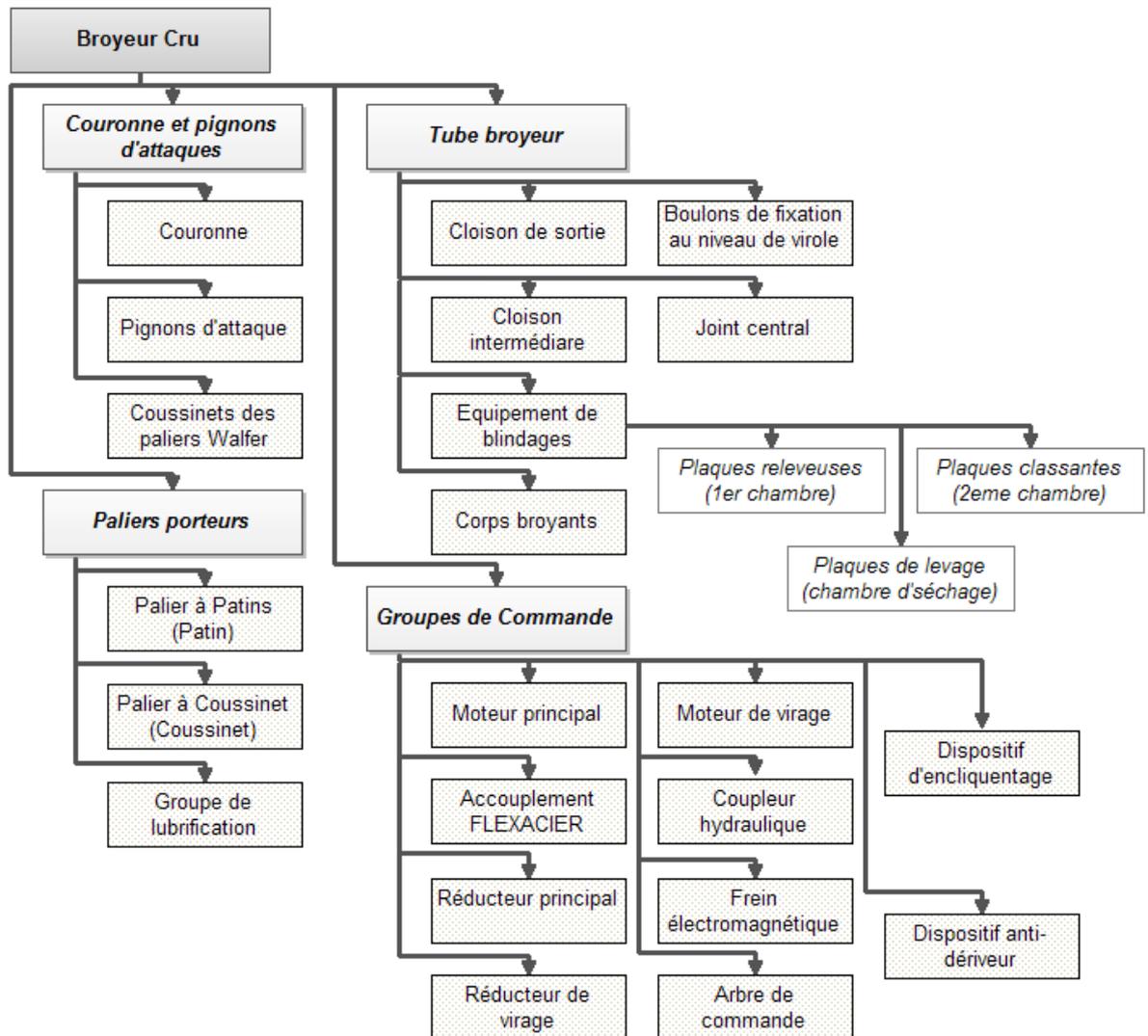


Figure 5.6 Décomposition fonctionnelle du Broyeur Cru

5.3.2. Définition des critères d'analyse de l'AMDEC

Dans le cas des organes spécifiques et mal connus, on doit faire une analyse de type AMDEC en utilisant la matrice à trois criticités suivantes [19], voir tableau 5.4.

Tableau 5.4 Analyse des modes de défaillance et de leur criticité [19]

Gravité G : Impact des défaillances sur le produit ou l'outil de production			
1	Sans dommage : défaillance mineure ne provoquant pas d'arrêt de production, et aucune dégradation notable du matériel	3	Important : défaillance provoquant un arrêt significatif, et nécessitant une intervention importante

2	Moyenne : défaillance provoquant un arrêt de production, et nécessitant une petite intervention	4	Catastrophique : défaillance provoquant un arrêt impliquant des problèmes graves
<b>Fréquence d'occurrence O : probabilité d'apparition d'une cause ou d'une défaillance</b>			
1	Exceptionnelle : la possibilité de défaillance est pratiquement inexistante	3	Certaine : il y a eu traditionnellement des défaillances dans le passé
2	Rare : une défaillance occasionnelle s'est déjà produite ou pourrait se produire	4	Très fréquente : il est presque certain que la défaillance se produira souvent
<b>Non-détection D : probabilité de la non-perception de l'existence d'une cause ou d'une défaillance</b>			
1	Signes avant-coureurs : l'opérateur pourra détecter facilement la défaillance	3	Aucun signe : la recherche de la défaillance n'est pas facile
2	Peu de signes : la défaillance est décelable avec une certaine recherche	4	Expertise nécessaire : la défaillance est décelable ou encore sa localisation nécessite une expertise approfondie

### 5.3.2.1. Calcul de la criticité

La criticité est calculée par la formule suivant [19]

$$C = G \times O \times D \quad (5.1)$$

La valeur maximale de C est de 64. Au-delà de 25% de la valeur maximale des actions préventives et correctives doivent être menées par la direction de maintenance.

### 5.3.2.2. Classement de criticité

Le tableau 5.8 montre les actions à appliquer sur organe critique.

**Tableau 5.5 Échelle de Criticité C**

<b>C&lt;16</b>	Ne pas tenir compte
<b>16≤C&lt;32</b>	Mise sous préventif à fréquence faible
<b>32≤C&lt;36</b>	Mise sous préventif à fréquence élevée
<b>36≤C&lt;48</b>	Recherche d'amélioration
<b>48≤C&lt;64</b>	Reprendre la conception

### 5.3.2.3. Grille de cotation

Pour l'utilisation de ces critères d'analyse nous avons défini une grille de cotation pour apprécier les valeurs de chacun d'eux. Ces critères sont cotés de 1 à 4.

**Tableau 5.6 Grille de cotation**

Niveau de cotation	1	2	3	4
<b>FRÉQUENCE</b>	Taux d'apparition rare Moins d'une défaillance par année	3 mois <F< 6 mois Taux d'apparition très faible	1 semaine <F< 3 mois Taux d'apparition moyen	Taux d'apparition régulier Plusieurs défaillances par semaine
<b>NON-DÉTECTION</b>	Signes avant-coureurs	Peu de signes	Aucun signe	une expertise approfondie nécessaire
<b>GRAVITE</b>	Durée d'intervention D < 1 h Peu ou pas de pertes de production	Durée d'intervention 1h < D < 3h	Durée d'intervention 3h < D < 6h	Durée d'intervention D > 6h

### 5.3.3. Application au broyeur du cru

Nous avons utilisé la théorie de l'AMDEC pour une analyse approfondie des défaillances et la détermination des éléments critiques de broyeur afin à étudier et en intègrent la méthode de 5M ou diagramme d'Ishikawa pour identifier les causes et les modes de défaillance.

**Tableau 5.7 Analyse du groupe de commande**

Ensemble : <b>Broyeur</b>								
Sous ensemble : <b>Groupe de commande</b>								
Matériel		Caractéristique de la défaillance			Criticité			
Organe	Fonction	Mode de défaillance	Cause de défaillance	Effet sur le système	G	F	D	C
Moteur principal	Entrainement pour des vitesses important	Usure des charbons; revêtement ; électrique	Basse ou haute tension ; Charge excessive ; Rotor défectueux ; Isolement endommagé	Arrêt de production	2	2	3	18
Moteur de virage	Entrainement pour des vitesses lentes	Usure ; revêtement ; électrique	Basse ou haute tension ; Charge excessive ; Rotor défectueux ; Isolement endommagé	Pas des vitesses lentes	2	1	3	6
Coupleur hydraulique	Transmettre le couple moteur	Usure ; Fuit	Frottement ; manque d'étanchéité	Transmission difficile ; Arrêt de production	3	1	2	6
Réducteur principal	Augment le couple moteur en réduire la vitesse	Jeu de roulements ; Usure des dentsures ;	grippage des roulements ; manque d'étanchéité ; Mauvaise lubrification ; Choc	Bruit ; Transmission difficile ; Arrêt de production	3	2	3	18

		Cassure ; revêtement						
Réducteur de virage	Augment le couple moteur en réduire la vitesse	Jeu de roulements ; Usure des dents ; Cassure ; revêtement	manque d'étanchéité ; Mauvaise lubrification ; Choc	Bruit ; Transmission difficile	3	1	3	9
Accouplement « FLEXACIE R »	Transmettre le couple moteur et jeu un rôle de limiteur de couple pour raison de sécurité	Faiblesse des ressorts ; Cassure	Fatigue ; un couple excessif	Risque d'un arrêt de production	3	2	2	12
Arbre de commande	Transmettre le mouvement de rotation	Cassure ; fissuration	Surcharge ; Mauvais montage ; Qualité matériau ; Manque de graissage	Pas transmission ; arbre bloqué ; bruit ; température élevée au niveau des paliers	3	2	3	18
Électrofrein	Freinage de de système	Usure	Usure des disques frein	Pas d'arrêt urgence	2	1	2	4
Dispositif d'encliquetage	Évite de faire travailler le réducteur de virage en multiplicateur de vitesse	Cassure ; Usure ; Blocage	Manque de graissage ; Choc	Bruit ; Blocage ; Pas transmission ;	3	1	3	9
Dispositif anti-dériveur	Permet la limitation de la vitesse de l'arbre	Usure ; Faiblesse des ressorts	Frottement élevée ; Fatigue	Pas transmission	3	1	3	9
<b>G=Gravité ; F=Occurrence ou Fréquence ; D=Détection ; C=Criticité</b>								

**Tableau 5.8** Analyse du Paliers porteurs

Ensemble : <b>Broyeur</b>								
Sous ensemble : <b>Paliers porteurs</b>								
Matériel		Caractéristique de la défaillance			Criticité			
Organe	Fonction	Mode de défaillance	Cause de défaillance	Effet sur le système	G	F	D	C
Palier à patins	Guider la virole en rotation	Usure ;	Manque d'étanchéité ; mauvais de montage ; absence de lubrification	Bruit ; vibration ; rotation difficile de la virole ; déformation du virole	4	1	3	12
Palier à coussinet	Guider la virole en rotation	Usure ;	Manque d'étanchéité ; mauvais de montage ; absence de lubrification	Bruit ; vibration ; rotation difficile de la virole ; déformation du virole	4	1	3	12
Groupe de lubrification	Lubrification des paliers	Revêtement ; colmatage	Manque d'étanchéité ; usure	température élevée de palier ; usure rapide	3	2	2	12
<b>G=Gravité ; F=Occurrence ou Fréquence ; D=Détection ; C=Criticité</b>								

**Tableau 5.9** Analyse la couronne et pignons d'attaque

Ensemble : <b>Broyeur</b>								
Sous ensemble : <b>Couronne et pignons d'attaque</b>								
Matériel		Caractéristique de la défaillance			Criticité			
Organe	Fonction	Mode de défaillance	Cause de défaillance	Effet sur le système	G	F	D	C
Couronne	Permet tourné la virole	Usure ; Cassure des dents	Frottement ; manque de graissage ; choc	Arrêt de production	4	1	4	16
Pignons	L'entraînement de la couronne	Usure ; Cassure des dents	Frottement ; manque de graissage ; choc	Arrêt de production	4	1	4	16
Palier « Walfer »	Guider l'arbre en rotation	Usure ;	Manque d'étanchéité ; mauvais de montage ; mauvais de lubrification	Bruit ; vibration ; arbre bloqué ; Arrêt de production	3	2	3	18

**G=Gravité ; F=Occurrence ou Fréquence ; D=Détection ; C=Criticité**

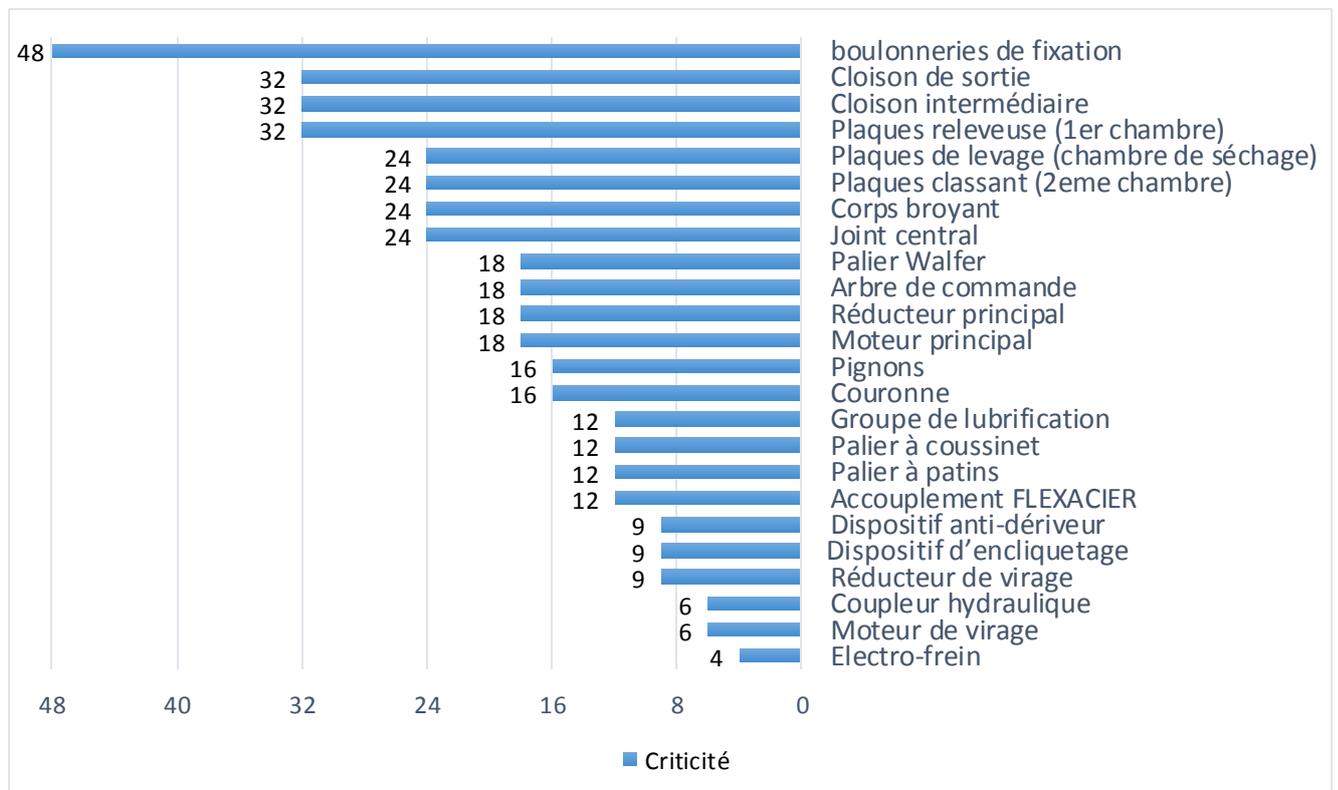
**Tableau 5.10** Analyse du tube broyeur

Ensemble : <b>Broyeur</b>								
Sous ensemble : <b>Tube broyeur</b>								
Matériel		Caractéristique de la défaillance			Criticité			
Organe	Fonction	Mode de défaillance	Cause de défaillance	Effet sur le système	G	F	D	C
Corps broyeur (boulets)	Broyé la matière	Usure ; Cassure ; Corrosion	Frottement ; Impact; Abrasivité des composants d'alimentation	Diminution la broyabilité de matière ; Arrêt de production	4	2	3	24
Plaques releveuse	Améliorer l'effet de relevage de la charge de boulets.	Usure ; Cassure ; Fissure ; Déformation; Corrosion	Frottement avec la matière et boulets ; choc ; Surcharge de corps broyeur ou/et la matière ; qualité matériau ;	Diminution la broyabilité de matière ; diminution la production ; Arrêt de production ;	4	2	4	32
Plaques classant	Sert à classer les boulets de l'entrée à la sortie.				4	2	3	24
Plaques de levage	Permettre un bon mélange entre le matériau et les gaz chauds.				4	2	3	24
Joint central	Étanchéité des airs faux	Usure ; Déformation	Frottement ;	Fuit d'air ; diminution de production	4	2	3	24
boulonneries de fixation des plaques et les cloisons	Fixation des plaques et les cloisons sur la virole	cisaillement ; fissuration ; déformation ; corrosion	Surcharge de corps broyeur ou/et la matière ; choc ; qualité matériau ; cassure des plaques	Fuit ; Arrêt de production	4	3	4	48
Cloison intermédiaire	Contrôle le flux de la matière à partir la chambre de séchage vers la 1 <sup>ère</sup> chambre	Fissuration de squelette ; Usure des plaques ; corrosion	Qualité matériau ; Surcharge de corps broyeur ou/et la matière ; choc ; frottement	Fuit ; Arrêt de production ; diminution de production	4	2	4	32
Double Cloison de sortie	Contrôle le flux de la matière à deux coté	Fissuration de squelette ;	vitesse élevée de rotation ; qualité matériau ; Surcharge	Fuit ; Arrêt de production ;	4	2	4	32

		Usure des plaques ; corrosion	de corps broyant ou/et la matière ; choc	diminution de production				
<b>G=Gravité ; F=Occurrence ou Fréquence ; D=Détection ; C=Criticité</b>								

**5.3.4. Classement les résultants de criticité**

Après que nous ayons calculé les criticités des différents organes du broyeur cru, on trace le histogramme de criticité qui nous permet de découvrir l'organe qui a la plus grande criticité, et ainsi, on peut savoir les actions à apposer pour diminuer le niveau de criticité de ce organe, voir Histogramme 5.1.



**Histogramme 5.1** Classement les résultants de criticité

Selon l'histogramme nous pouvons dire que la majorité des organes qui ont une criticité importante sont localisés au niveau de l'intérieur du tube broyeur, également les boulons de fixation ont une criticité le plus élevée.

**5.4. Application du modèle de Weibull sur la défaillance les boulons de fixation des blindages**

Pour déterminer les paramètres de fiabilité nous irons utiliser le modèle de Weibull à trois paramètres par deux méthodes présentées comme suit :

- ✓ Méthode graphique
- ✓ Méthode numérique par code de calcul

#### 5.4.1. Préparations des données historiques

Dans le tableau ci-dessus, sont portées dans un ordre croissant de TBF à partir des bases de données pour une période d'une année (voir annexe 5). On calcul alors la probabilité de défaillance estimée par les fréquences  $F(i)$  et la fiabilité  $R(i)$ . Après calculs, l'ensemble des données est regroupé dans le tableau suivant.

**Tableau 5.11** Préparation des données historiques

Rang $i$	Temps (TBF) par heures	$F(i)$ estimé [%]	$R(i)$ estimé [%]
1	1512	5.2239	94.776
2	2256	12.687	87.313
3	3336	20.149	79.851
4	3672	27.612	72.388
5	4128	35.075	64.925
6	4320	42.537	57.463
7	5400	50	50
8	6000	57.463	42.537
9	6528	64.925	35.075
10	6744	72.388	27.612
11	7512	79.851	20.149
12	8496	87.313	12.687
13	8688	94.776	5.2239

#### 5.4.2. Détermination des paramètres de Weibull

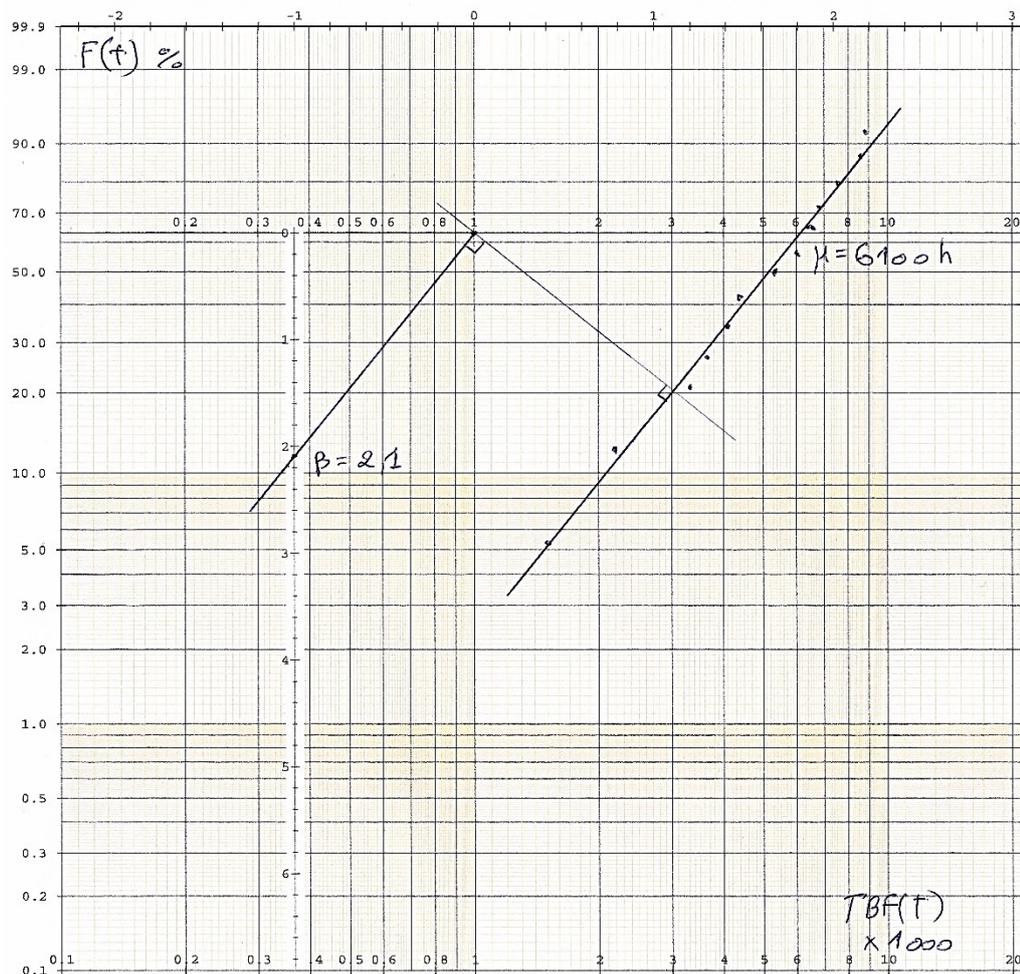
Il existe deux méthodes pour déterminer les paramètres de Weibull (graphique et numérique)

##### 5.4.2.1. Méthode graphique

La courbe est tracée sur un papier spécial appelé papier de Weibull ou d'Allen Plait, ce qui permet de tracer une droite. Pour tracer la courbe sur le papier Weibull les démarches suivantes ont été suivies :

- ✓ Reporter les points ainsi trouvés sur le papier de Weibull en plaçant TBF en abscisse et les F(i) en ordonnée.
- ✓ Tracé la droite passant au milieu par les points obtenus.
- ✓ Si les points sont alignés sur une droite, on a  $\gamma=0$ .
- ✓ Détermination des paramètres  $\beta$  et  $\eta$ .

Le paramètre  $\beta$  est obtenu en traçant une parallèle à la droite précédente et passant par la valeur 1 de l'axe des temps. La valeur de  $\beta$  se lit directement sur l'axe des  $\beta$ , à l'intersection avec la droite parallèle tracée ci-dessus. Voir Figure 5.7



**Figure 5.7** Détermination graphique des paramètres de Weibull

On déduit alors les paramètres de Weibull qui sont comme suit :

$\beta \approx 2.1$  ;  $\eta \approx 6100$  ;  $\gamma = 0$  (car la courbe est un droite)

On calcule le moyen de temps de bon fonctionnement MTBF

MTBF = 5402 heures

5.4.2.2. Méthode numérique

Nous avons utilisé un programme numérique développé en MATLAB, on exécutant le programme avec les mêmes données du tableau 5.11, nous avons obtenu les résultats suivants

- Les paramètres de Weibull  $\beta = 2.1584$ ;  $\eta = 6049.9033$ ;  $\gamma = 0$
- Le moyen de temps de bon fonctionnement MTBF = 5357.8209 heures

La Figure 5.8 montrée la courbe de Weibull, c'est une droite alors  $\gamma = 0$ .

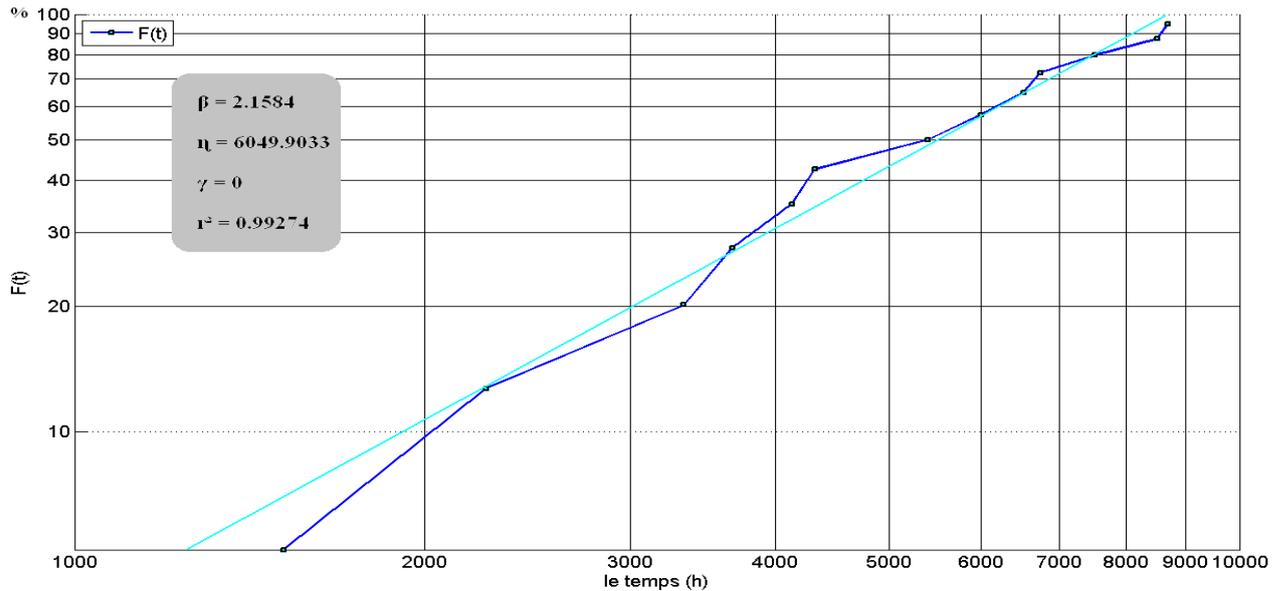


Figure 5.8. Droite de Weibull du système de fixation

Nous avons validé notre travail par un code de calcul (Weibull 2.07.9) qui donne les résultats suivants

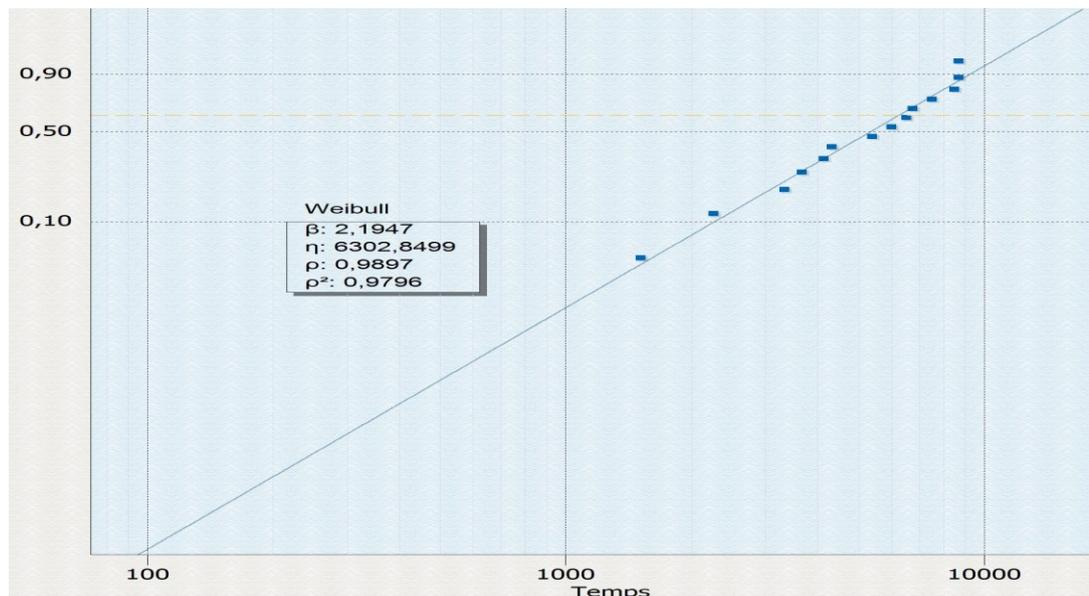


Figure 5.9. Courbe de Weibull : (Weibull 2.07.9)

Ci-joint le tableau 5.12 récapitulatif et comparatif des résultats déterminés par calcul à l'aide des formules de la loi de Weibull, qui sont présentés dans le chapitre 3 (formules 3.14 - 3.18).

**Tableau 5.12** *Tableau des résultats*

Rang i	Temps (TBF) par heures	F(i) théorique en %	R(i) théorique en %	Taux de défaillance $\lambda(t)$	Densité de probabilité de défaillance $f(t)$
1	1512	4.8904	88.741	7.16E-05	6.81E-05
2	2256	11.213	87.521	0.00011379	0.00010103
3	3336	24.171	79.72	0.00017902	0.00013575
4	3672	28.849	71.753	0.00020007	0.00014235
5	4128	35.481	69.223	0.00022913	0.00014783
6	4320	38.331	62.554	0.00024152	0.00014894
7	5400	54.273	54.273	0.00031277	0.00014302
8	6000	62.554	38.331	0.00035337	0.00013232
9	6528	69.223	35.481	0.00038964	0.00011992
10	6744	71.753	28.849	0.00040461	0.00011429
11	7512	79.72	24.171	0.00045845	9.30E-05
12	8496	87.521	11.213	0.00052872	6.60E-05
13	8688	88.741	4.8904	0.00054259	6.11E-05

On a varié le temps de (0 h) à (16000 h), afin d'obtenir les graphes des fonctions suivants :

- Fonction de fiabilité  $R(t)$
- Fonction de répartition  $F(t)$
- Fonction de taux de défaillance  $\lambda(t)$
- Fonction de probabilité  $f(t)$

Nous avons tracé ces fonctions afin d'obtenir les graphes suivantes :

- La Figure 5.10. présente la fonction de la fiabilité  $R(t)$  et la fonction de répartition  $F(t)$  (voir les formules 3.14 et 3.15 – Chapitre 3)

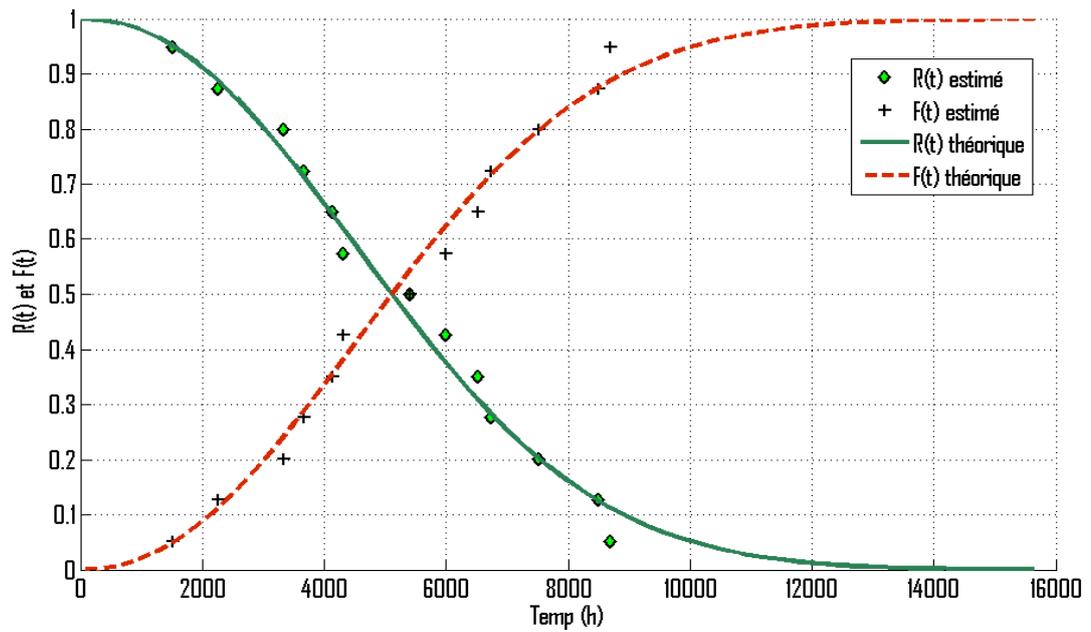


Figure 5.10. Courbe de fiabilité  $R(t)$  et la courbe de répartition  $F(t)$

On remarque que la fiabilité  $R(t)$  de l'équipement critique diminue avec le temps, elle est inversement la fonction de probabilité de défaillance  $F(t)$  qui augmente avec le temps. Ces fonctions donnent une bonne corrélation avec les courbes déterminées par le code de calcul, figures (5.11 et 5.12). 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.

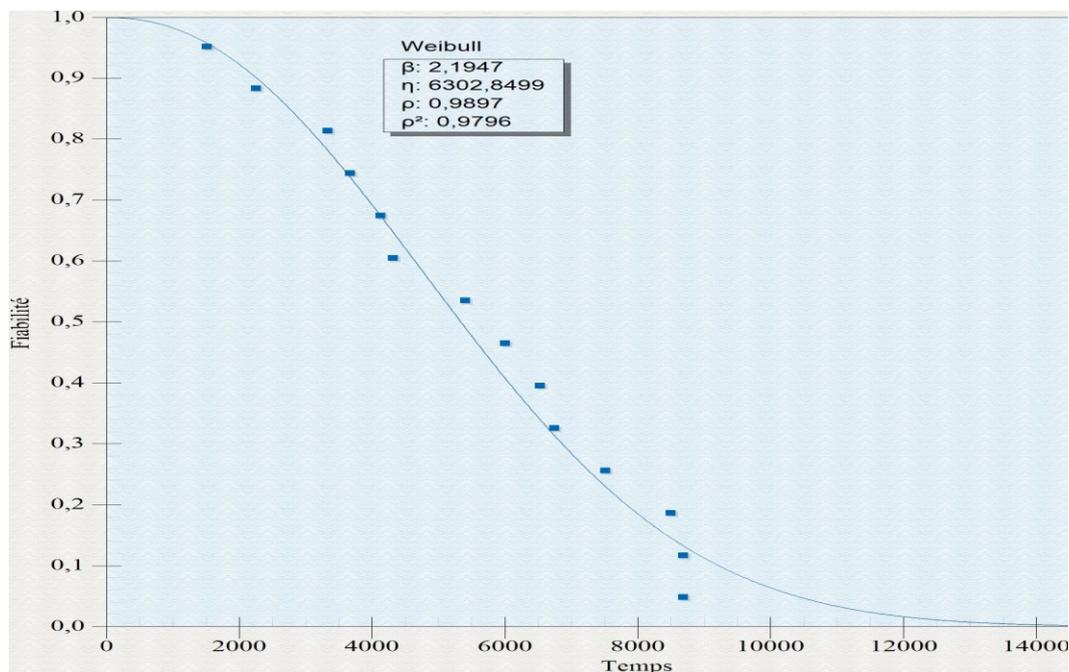


Figure 5.11. Courbe de fiabilité  $R(t)$  (Weibull 2.07.9)

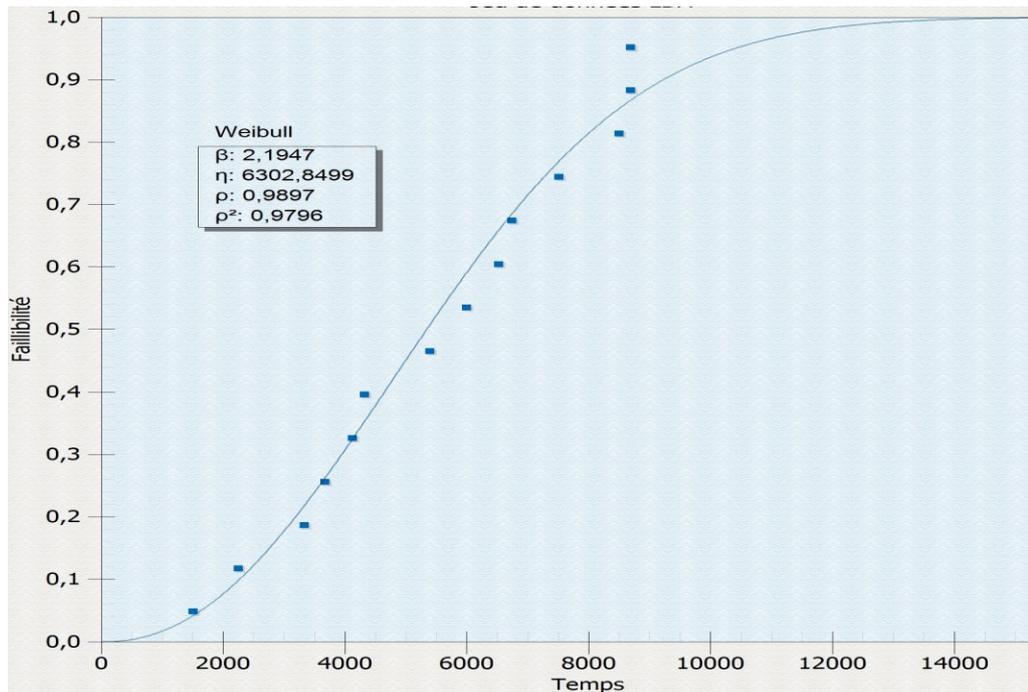


Figure 5.12. Courbe de répartition  $F(t)$  (Weibull 2.07.9)

- La Figure 5.13. présente la fonction de taux de défaillance  $\lambda(t)$  (voir l'équation 3.16 chapitre 3)

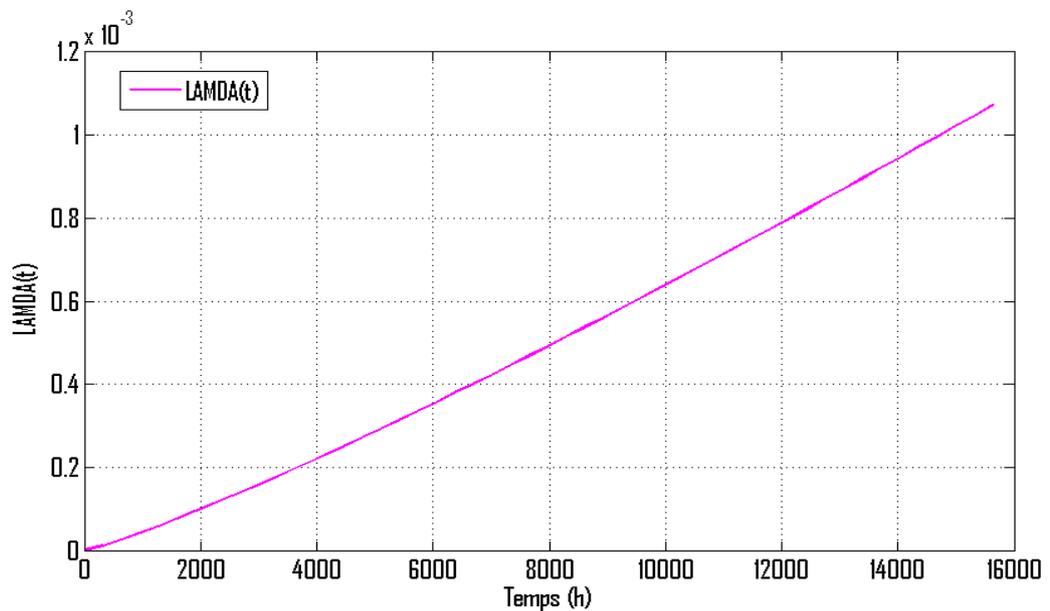


Figure 5.13. Taux de défaillance  $\lambda(t)$

Le taux de défaillance  $\lambda(t)$  est bien représenté par un tronçon distinct sur les figures (5.13) et (5.14), On remarque que le taux de défaillance  $\lambda(t)$  augmente avec le temps et que la dégradation ce fait de façon calme.

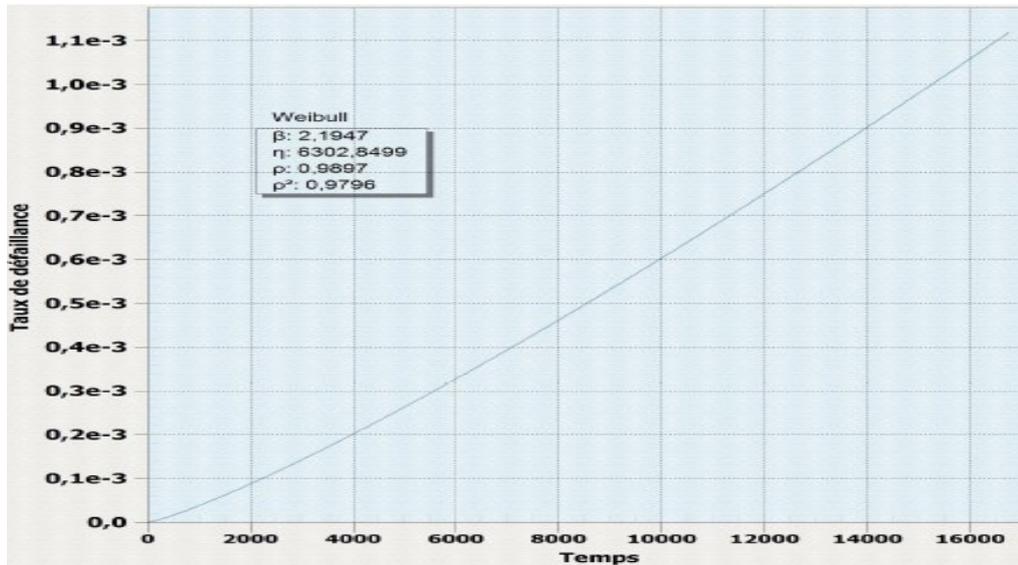


Figure 5.14. Taux de défaillance  $\lambda(t)$  (Weibull 2.07.9)

- La Figure 5.15 représente une étude comparative du taux de défaillance  $\lambda(t)$  afin de situer la zone de dégradation de l'organe critique.

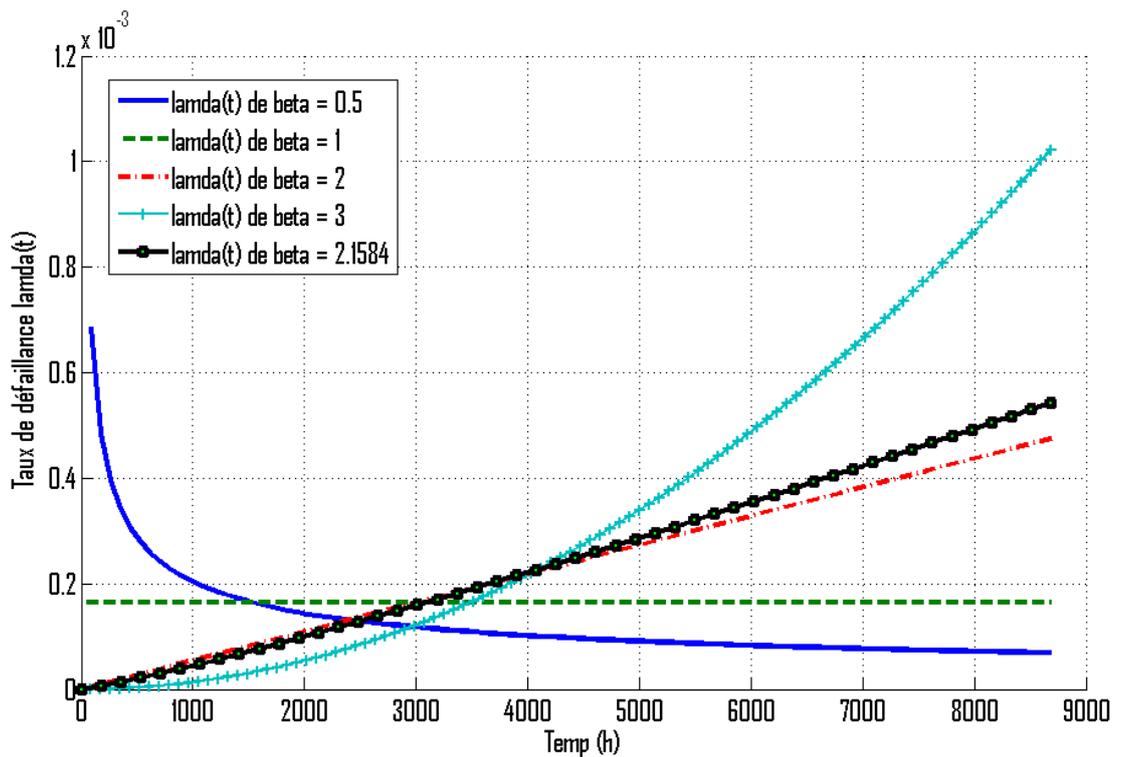
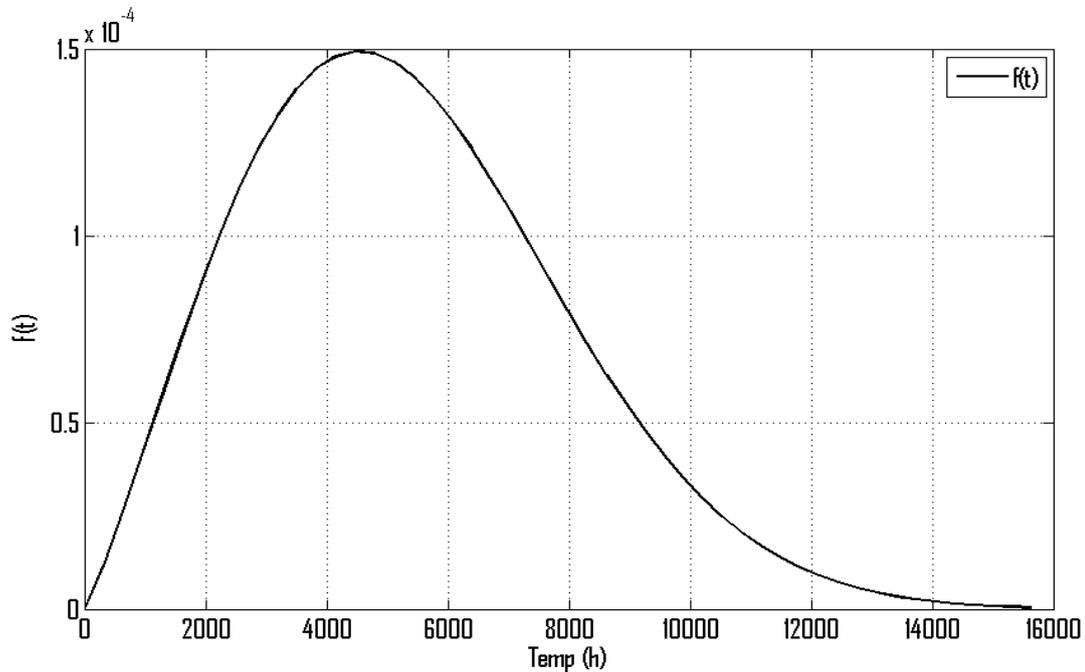


Figure 5.15. Étude comparative du taux de défaillance.

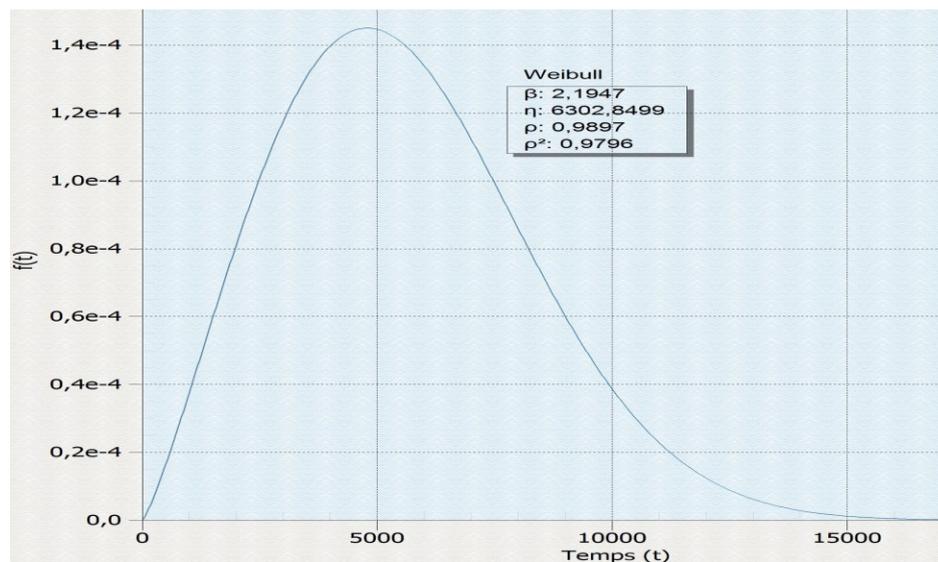
On remarque que l'organe étudié est en période de vieillissement ou le taux augmente à cause du processus de détérioration du système par fatigue.

- La courbe de la densité de probabilité de défaillance est représentée dans la Figure 5.16 (voir l'équation 3.13 – chapitre 3)



**Figure 5.16.** Densité de probabilité de défaillance  $f(t)$

On remarque que la courbe de  $f(t)$  de la Figure 5.16 donné une bonne corrélation avec la courbe déterminée par le code de calcul voir Figure 5.17, On la note que la densité de la probabilité  $f(t)$  donnant une forme gaussienne.



**Figure 5.17.** Densité de probabilité de défaillance  $f(t)$  (Weibull 2.07.9)

- La Figure 5.18. représente une étude comparative de la densité de probabilité de défaillance  $f(t)$  afin de localiser la zone de dégradation de l'organe défaillant.

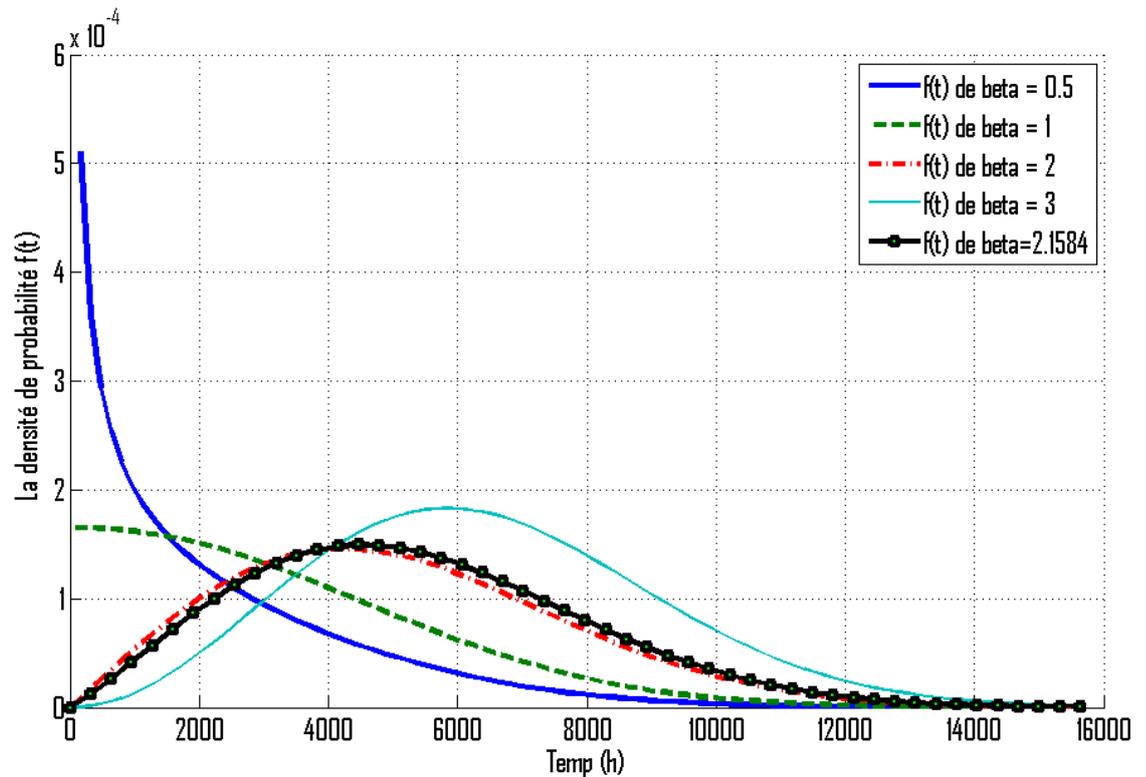


Figure 5.18. Étude comparative de la densité  $f(t)$ .

On le note que la fonction  $F(t)$  de l'organe étudié donnant une bonne corrélation avec le Weibull modèle de  $\beta=2$ , et que la densité de la probabilité de défaillance se conforme notre résultat de la moyenne des temps de bon fonctionnement MTBF qui est égale à 5358 heures.

#### 5.4.3. Analyse et discussion des résultats

Le tableau 5.13 donne une comparaison entre les résultats numériques et graphiques et montre bien la corrélation des résultats numériques.

Tableau 5.13 Comparaison des paramètres de Weibull

Les paramètres de Weibull	Résultat graphique	Résultat numérique
Le paramètre de forme $\beta$	2.1	2.1584
Le paramètre de l'échelle $\eta$	6100	6049.9033
Le paramètre de l'origine $\gamma$	0	0
MTBF	5402	5357.8209

Au cours de notre étude nous avons constaté que :

- Le paramètre  $\beta > 1$ , donc les boulonneries de fixation est en période de vieillissement par fatigue.
- Le taux de défaillance  $\lambda$  est croissant en fonction du temps, et montre bien que l'organe étudié subit une défaillance, ce qui est confirmé par le paramètre de forme ( $\beta=2.15$ ), 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.
- La valeur du MTBF est autours de 5358 heures.
- La durée de vie nominale LID (Life Initial Duration) pour  $R_{90}=0.9$  on a :

$$LID = L_{10} = \gamma + \eta \left( \ln \frac{1}{R_{90}} \right)^{\frac{1}{\beta}} \quad (5.2)$$

Ainsi la durée de vie attendue pour que 90% des boulons soient non défaillantes est de 2133 heures.

### 5.5. Conclusion

Le travail décrit dans ce chapitre nous a permis d'analyser les types des défaillances pour le bon fonctionnement du broyeur cru qui perturbe le bon fonctionnement de complexe. Le choix de notre étude a été porté sur l'atelier de broyage du cru par la méthode de « PARETO ». Ensuite on a déterminé que le broyeur cru est un équipement critique dans l'atelier du broyage cru.

La mise en application de la fiabilité opérationnelle à partir l'exploitation des données est primordiale pour le choix d'une politique de la maintenance a appliqué. 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, qui possède un degré criticité de 48, alors suit à des normes X 60-510 de criticité, il est recommandé de remise en cause complète la conception de cette système.

L'étude de fiabilité réalisée sur l'organe critique (système de fixation des plaques) montre que nous sommes en face d'un organe en phase de vieillissement par fatigue modélisé par le modèle de Weibull de paramètres ( $\beta = 2.15$ ,  $\eta = 6049$  h,  $\gamma = 0$ ).

On prévoit comme premier résultat de faire un suivi par une maintenance conditionnelle et des visites afin de détecter l'indice de fatigue des boulons et surveiller la dégradation de cet équipement.

## CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVE

Ce projet nous a permis, d'une part, d'approfondir nos connaissances sur les méthodes de maintenance et d'autre part de renforcer notre esprit d'organisation et de gestion des équipements des entreprises.

Dans ce travail, nous avons utilisées les outils de fiabilité ainsi que les différentes méthodes d'analyses 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.

On a déduit par la méthode de Pareto que le broyeur cru de l'atelier broyage cru est le plus sensible et influent directement sur les coûts de la maintenance et sur la production en générale. Ensuite, on a déduit par la méthode l'AMDEC que le système de fixation au niveau de la virole de broyeur est le plus critique. La connaissance de la durée de vie de ce système permet de déterminer les périodicités dans le cas d'une maintenance préventive systématique. La loi de Weibull est un modèle couramment employé pour modéliser la durée vie d'un matériel. Dans le présent travail, un code de calcul évolué a été exploité, Ceci permis de déterminer la durée de vie exprimée en moyen temps de bon fonctionnement (MTBF) et d'orienter directement le type de maintenance à appliquer. Elle pourra nettement être améliorée si le problème des défaillances fréquentes des boulons de fixation est résolu. L'étude de la fiabilité appliquée sur l'organe critique montre que nous sommes en face d'un organe en phase de vieillissement par fatigue.

La complexité du problème demande des études plus approfondies dont elles font appelle à plusieurs discipline : vibration, fatigue, corrosion, usure, etc. Mais cela n'a pas empêché de poser une explication qui relie le problème à la présence de dysfonctionnement des plaques de blindage qui sont fixé par les boulons. On prévoit comme résultat de faire un suivi par une maintenance conditionnelle. Par ailleurs on demande au département de maintenance 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 des plaques et également le système fixation.

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 dégradation de broyeur cru.

En termes 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 la mise en œuvre d'un

logiciel de traitement des données on temps réel et de mettre en place une maintenance prévisionnelle gérée par modélisation et simulation numérique.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Manuel d'entretien de la société algérienne des ciments (S.C.I.B.S.), 1994
- [2] Fiche technique de la société algérienne des ciments (S.C.I.B.S.), 1998
- [5] Mustapha Lahdiri, Processus de fabrication du ciment (S.C.I.B.S), 2008
- [6] Serge Fougeresse, Pratique de la maintenance industrielle par le coût global, 2000
- [7] Afnor 1998, fiabilité-maintenabilité-disponibilité, recueil des normes françaises, Afnor 1998.
- [8] Aidi Maher, gestion coopératives des objectifs de simulation de produits industriels, thèse, Colloque IPI Autrans 22-23 janvier 2004.
- [9] Smail Benissaad, Cours de maintenance industrielle Tec 336, 2008
- [10] Samuel Bassetto, Stéphane Hubac, méthode employant les connaissances d'experts, thèse, Colloque C2EI Nancy 1-2 décembre 2004.
- [11] Jean Bufferne, Fiabiliser les équipements industriels, édition Eyrolles, 2008
- [12] Le guide de l'AMDEC Machine, publications CETIM, 2003
- [14] François Monch, Maintenance, méthode et Organisation, édition "Usine Nouvelle", Paris. 2004.
- [15] Bernard Guy Peret, La Fiabilité Industrielle, édition " Eyrolles", 1969.
- [16] Xavier Zwingmann, Modèle d'évaluation de la fiabilité et de la maintenabilité au stade de la conception, thèse, 2005
- [17] Pierre Chapouille, Fiabilité et maintenabilité. Les techniques de l'ingénieur ; traité de l'entreprise industrielle, Edition Eyrolles 1999.
- [18] François Marmier, Contribution à l'ordonnement des activités de maintenance sous contrainte de compétence : une approche dynamique, proactive et multicritères, 12 Décembre 2007
- [19] Ouahiba TEBBI, Estimation des lois de fiabilité en mécanique par les essais accélérés, thèse, 09 mars 2005
- [20] Jean Heng, « Pratique de la Maintenance préventive », édition " Dunod", Paris, 2002
- [25] CRTA, La méthodologie AMDEC, novembre 2004
- [26] Despujols, A. Optimisation de la maintenance par la fiabilité. Techniques de l'ingénieur, dossier MT9310, 2004.
- [27] Valerie Zille, Modélisation et évaluation des stratégies de maintenance complexes sur des systèmes multi-composants, thèse, 28 janvier 2009

## WEBGRAPHIES

[3] [Http://www.scibs-dz.com](http://www.scibs-dz.com)

[4] [Http://www.nouvelleusine.com](http://www.nouvelleusine.com)

[13] <http://www.maintenance-preventive.com/methode-diagramme-pareto-60.html>

[21] <http://www.thecementgrindingoffice.com>

[22] <http://www.cmd-couplings.com/produits/flexacier-t-tl-tl2/>

[23] <http://www.fiches-auto.fr/articles-auto/fonctionnement-d-une-auto/s-1366-le-convertisseur-de-couple-sur-bva.php>

[24] [lpmei.com/cd\\_bac\\_mei/Ressources/5.../Amdec.pdf](http://lpmei.com/cd_bac_mei/Ressources/5.../Amdec.pdf)









**ANNEXE 5 - Tableau des interventions sur les fixations au niveau de la virole pour une période d'une année**

N°	N° d'OT	Date d'intervention	Classe	Description d'intervention
1	2014029388	3-2-2014	Intervention mécanique	Nettoyage de la chambre de séchage, 1er chambre, cloison intermédiaire + cloison de sortie + Emplacement des boulons manquants au niveau de la virole
2	2014029989	4-3-2014	Intervention mécanique	Nettoyage de la chambre de séchage, 1er chambre, cloison intermédiaire + cloison de sortie + Emplacement des boulons manquants au niveau de la virole
3	2014031410	3-5-2014	Sous-traitante mécanique	Entretien à l'intérieur du broyeur (Changement des boulons cisailés de fixation de la cloison)
4	2014032082	22-5-2014	Sous-traitante mécanique	Changement des boulons de la virole BC + Serrage
5	2014032752	19-6-2014	Intervention mécanique	Entretien au niveau du tube broyeur cru (Changement des boulons manquant)
6	2014033275	15-7-2014	Intervention mécanique	Remise en place des écrous de serrage manquants de la virole broyeur
7	2014033702	10-8-2014	Intervention mécanique	Remise en place boulon manquant au niveau virole du broyeur en cas d'arrêt BC
8	2014034152	2-9-2014	Intervention mécanique	A remettre en place 07 écrous manquant de plaque blindage
9	2014034393	11-9-2014	Intervention mécanique	Contrôle à l'intérieur du tube broyeur pour éventuel travaux + remise en place des plaques manquant
10	2014035138	13-10-2014	Intervention mécanique	Nettoyage de la chambre de séchage, 1ère chambre, cloison intermédiaire + cloison de sortie + Emplacement des boulons manquants au niveau de la virole
11	2014035323	13-10-2014	Intervention mécanique	Entretien à l'intérieur du tube broyeur (Changement de 05 plaques de blindages de la première chambre+soudure fissure sur cloison)
12	2014036125	24-11-2014	Intervention mécanique	Entretien à l'intérieur du tube broyeur (Emplacement des boulons manquants)
13	2014036257	2-12-2014	Intervention mécanique	Contrôle et entretien à l'intérieur du tube broyeur (Changement éventuel des plaques usées de cloison 1ere chambre - Changement des plaques de blindage usées de la 1ere chambre - Réparation par soudure des 02 grillages - Serrage des boulons de fixation des plaques