

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REpubLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd- Tlemcen –
Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

En : **Génie Mécanique**

Spécialité : ***Maintenance Industrielle***

Présenté par : **AHMED BRAHIM ABDERRAHIM**

THÈME

***OPTIMISATION DU PLAN DE MAINTENANCE AU
NIVEAU DE L'ATELIER DE BROYAGE
(CIMENTERIE SCIBS BENI SAF)***

Soutenu publiquement, Mai, 2016
Devant le jury :

Encadreur	M ^r KERBOUA Bachir	Pr	UABB-Tlemcen
Président	M ^r CHIKH Abdelmadjid	Pr	UABB-Tlemcen
Examineur	M ^r BOURDIM Abdelghafour	MCA	UABB-Tlemcen
Examineur	M ^r ACHOUI Mohammed	MAA	UABB-Tlemcen

Invité :

M ^r BENALLAL Abdelkarim	Directeur technique	SCIBS
M ^r BENSAFI Ismail	Ingénieur géologue	SCIBS
M ^r SIDIYAKOUB Djamel	Ingénieur méthode	SCIBS

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.

A travers ces quelques lignes, je tiens à exprimer mes remerciements et l'expression de mon profond respect et gratitude pour tous ceux et celles qui m'ont aidé à la concrétisation de ce mémoire de projet de fin d'études.

Je tiens tout d'abord à exprimer mon profond respect et ma reconnaissance à mon encadreur, Le professeur KERBOUA Bachir, Enseignant à l'université de Tlemcen, pour sa confiance, sa disponibilité et le grand intérêt qu'il ma toujours manifesté, durant ma formation et la préparation de ce mémoire. Son enthousiasme et son optimisme communicatif m'ont été fort précieux.

Mes plus vifs remerciements s'adressent à Monsieur CHIKH Abdelmadjid, enseignant à l'Université de Tlemcen, de m'avoir fait l'honneur d'accepter la présidence de ce jury. Que Monsieur GUENIFED Abdelhalim, chef de département de mécanique à l'université de Tlemcen et Monsieur BOURDIME Abdelghafour, enseignants à l'Université de Tlemcen, reçoivent l'expression de ma profonde reconnaissance d'avoir accepté d'être des examinateurs de ce mémoire.

Je remercie monsieur BENSAFI Ismaïl, Ingénieur géologue et monsieur SIDYAKOUB Djamel, Ingénieur de méthode au niveau de la cimenterie de Béni Saf, pour leurs confiances, leurs disponibilités et le grand intérêt qu'ils m'ont toujours manifesté, durant mon stage de PFE.

DÉDICACES

Je dédie ce mémoire à:

Mes très chers parents pour leur amour, leurs sacrifices et leur encouragement et que DIEU les protègent.

Mes très chère sœur « Nassima, Souad, Leïla, Manel »,

Mes chers frères « Mounir, Hachemi, Nesrodinne, Ahmed »,

Et à toute ma famille.

Mes chers amis « Ali-B, Khéro-B, Abdelghani-M, Nazim-K, Zaki-L, Nassima-A, Fayza-C ».

Ainsi, qu'à l'ensemble des étudiants de ma promotion :

« Maintenance Industrielle (2015-2016) ».

AHMED BRAHIM ABDERRAHIM

RÉSUMÉ

Les opérations de maintenance sont identifiées depuis longtemps comme des situations critiques pour la sécurité des opérateurs et la dégradation des équipements. Cette criticité résulte non seulement de la nature des activités concernées, mais aussi du contexte organisationnel dans lequel elles s'inscrivent. En particulier, les interactions entre les opérateurs de maintenance et d'exploitation apparaissent déterminantes pour la production et pour la sécurité des opérateurs. Une étude relative à l'optimisation de la maintenance, aux interactions de ces opérateurs et à leurs incidences sur la sécurité et la fiabilité a, par conséquent, été initiée.

Ce projet de fin des études traite le problème de l'optimisation de la fonction maintenance dans l'atelier de broyage au niveau du complexe SCIBS de la cimenterie de Beni-Saf. En effet les coûts de maintenance sont répartis en deux types : coûts directs et coûts indirects. Parmi les coûts indirects figure les coûts d'indisponibilité de matériel. Les méthodes et les lois utilisées dans ce mémoire, comme Pareto, AMDEC, Noiret et Weibull seront exploitées pour l'objectif de réduire ces temps d'indisponibilité et améliorer la fiabilité des équipements, ce qui permet d'optimiser la maintenance et d'identifier les éléments les plus critiques. Nous avons utilisé une nouvelle méthode développée (Abaque de Noiret) qui aide les décideurs du service de maintenance à définir la politique de la maintenance appropriée.

Mots clés : Maintenance, Fiabilité, loi de Weibull, Optimisation, Abaque de Noiret.

ABSTRACT

Maintenance operations are identified as long situations critical to the safety of operators and equipment degradation. This criticality results not only from the nature of the activities, but also the organizational context in which they operate. In particular, the interactions between maintenance and operations of operators appear critical to the production and operator safety. A study on the optimization of the maintenance, the interactions of these operators and their impact on safety and reliability have therefore been initiated.

This final project study addresses the problem of optimizing the maintenance function in the grinding plant at the complex SCIBS of cement from Beni Saf. Indeed maintenance costs are divided into two types: direct costs and indirect costs. Among the indirect costs lead hardware downtime costs. Methods and laws used in this paper, as Pareto, FMEA, Noiret and Weibull will be exploited to the objective of reducing the downtime and enhance equipment reliability, which optimizes maintenance and identify the most critical elements. We used a new method developed (Abacus Noiret) that helps decision makers of the maintenance department to define the appropriate maintenance policy.

Keywords: Maintainability, Reliability, Weibull Distribution, Optimization, Noiret abacus.

ملخص

يتم تحديد عمليات الصيانة، والحالات الحرجة الطويلة على سلامة العاملين وتدهور المعدات. نتائج هذا الدراسة ليست فقط من طبيعة الأنشطة، ولكن أيضا في السياق التنظيمي الذي تعمل به فرق الصيانة. على وجه الخصوص، التفاعلات بين الصيانة وعمليات المشغلين تظهر حاسمة لسلامة الإنتاج والمشغل. ، ولذلك فقد تم الشروع في تفاعلات هذه العوامل وتأثيرها على سلامة و موثوقية الدراسة حول الاستغلال الأمثل للصيانة.

تتناول هذه الدراسة النهائية للمشروع المشكلة من تحسين وظيفة الصيانة في مصنع الطحن داخل المؤسسة SCIBS مجمع الاسمنت في بني صاف. في الواقع تنقسم تكاليف الصيانة إلى نوعين: التكاليف المباشرة والتكاليف غير المباشرة. ضمن التكاليف الغير المباشرة تكاليف عدم الإنتاج للأجهزة المتوقفة. سيتم استغلال الطرق والقوانين المستخدمة في هذه الورقة، مثل Pareto، AMDEC، Noiret، Weibull في تحقيق هدف الحد من وقت التوقف عن العمل وتعزيز كفاءة المعدات، الشيء الذي يحسن الصيانة ويجدد العناصر الأكثر أهمية.

استخدمنا طريقة جديدة في تقييم الصيانة وهي (Noiret) التي تساعد صناع القرار من قسم الصيانة لتحديد سياسة الصيانة المناسبة.

كلمات البحث: صيانة، والموثوقية، وتوزيع وايبيل، والتحسين، العداد Noiret.

Table des matières

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS.....	ii
DÉDICACE.....	iii
RÉSUMÉ.....	ix
TABLE DES MATIÈRES.....	xi
LISTE DES FIGURES.. ..	x
LISTE DES TABLEAUX	xiii
LISTE DES SYMBOLES.....	xiii
INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	01
 CHAPITRE1 : PRÉSENTATION GÉNÉRALE DU COMPLEXE SCIBS - BENI SAF	
1.1. Présentation de la cimenterie.....	04
1.1.1. Historique.....	04
1.1.2. Organisation de la cimenterie.....	05
1.1.2.1. Direction générale.....	05
1.1.2.2. Direction de finance et comptabilité (D.F.C)	05
1.1.2.3. Direction des ressources humaines (D.R.H)	06
1.1.2.4. Direction de production.....	06
1.1.2.5. Direction technique	06
a) Département maintenance.....	06
b) Département entretien mécanique.....	06
c) Département bureau préventif.....	06
1.1.3. Composantes chimiques et minéralogiques de ciment de BENI-SAF.....	06
1.1.3.1.Introduction.....	07
1.1.3.2. Domaines d’application.....	07
1.1.3.3. Constituants	08
a) Clinker portland.....	08
b) Pouzzolane naturelle.....	08
c) Sulfate de calcium.....	09
d) Additif	09
1.1.4. Caractéristiques physico-chimique du ciment.....	09
1.1.4.1. Caractéristiques chimiques.....	09
1.1.4.2. Caractéristiques physico mécaniques.....	09

Table des matières

1.2. Processus de fabrication	09
1.2.1. Détail schématique du processus de fabrication	10
1.2.2 Processus de fabrication	12
1.2.2.1. préparation de cru	12
1.2.2.2. Broyage cru	13
1.2.2.3. Homogénéisation.....	13
1.2.2.4. Atelier de cuisson	14
1.2.2.5. Stockage de clinker	14
1.2.2.6. Broyage du ciment	15
1.2.2.7. Expéditions	15
1.3. Machines de production.....	16
1.3.1. Concassage	17
1.3.2. Pré-homogénéisation	17
1.3.3. Atelier broyage cru et homogénéisation	17
1.3.4. Cuisson.....	17
1.3.5. Atelier broyage ciment.....	19
1.3.6. Atelier ajout.....	20
1.3.7. Stockage ciment et expéditions.....	21
CHAPITRE 2 : GÉNÉRALITÉS SUR LA MAINTENANCE	
2.1. Introduction	23
2.2. Présentation de la maintenance	23
2.2.1. Définition de la maintenance	23
2.2.2. Activité de la maintenance	24
2.2.3. Objectifs de la maintenance.....	25
2.3. Types de maintenance	26
2.3.1. Maintenance préventive	26
2.3.1.1. Maintenance systématique	27
2.3.1.2. Maintenance conditionnelle	27
2.3.1.3. Maintenance prévisionnelle	28
2.3.2. Maintenance corrective	28
2.3.2.1. Maintenance palliative.....	28
2.3.2.2. Maintenance curatives.....	29
2.3.3. Opérations de maintenance.....	29

Table des matières

2.3.3.1. Opérations de maintenance corrective	29
a) Dépannage	29
b) Réparation	29
2.3.3.2. Opérations de maintenance préventive.....	30
a) Inspections	30
b) Visites	30
c) Contrôles	30
2.3.3.3. Opérations de surveillance	30
2.3.3.4. Autres opérations	30
a) Révision.....	30
b) Echanges standards	30
2.4. Temps de maintenance.....	31
2.4.1. Classification des temps de maintenance	31
2.4.1.1. Temps machines	31
2.4.1.2. Temps d'activité	31
2.4.4. Nature des durées d'intervention de maintenance	31
2.4.4.1. Temps en maintenance corrective.....	31
2.4.4.2. Temps en maintenance préventive.....	32
2.5. Niveaux de maintenance.....	32
2.5.1. Premier niveau de maintenance.....	32
2.5.2. Deuxième niveau de maintenance	32
2.5.3. Troisième niveau de maintenance	33
2.5.4. Quatrième niveau de maintenance	33
2.5.5. Cinquième niveau de maintenance	33
CHAPITRE 3 : ÉTUDE ET ANALYSE DES LOIS DE LA FIABILITÉ	
3.1. Plan de maintenance.....	35
3.1.1. Définition.....	35
3.1.2. Objectifs.....	35
3.1.3. Conditions d'établissement.....	35
3.1.4. Contenu du plan de maintenance.....	35
3.2. Analyse de la mise en place d'un plan de maintenance	36
3.2.1. Etats de l'art d'un équipement	36
3.2.2. Fiabilité et maintenance des équipements industriels.....	37

Table des matières

3.2.2.1 Définition.....	37
3.2.2.2 Principales caractéristiques de la fiabilité.....	37
a) Fonction fiabilité ou fonction de survie.....	37
b) Taux de défaillance instantané.....	38
c) Temps moyen de bon fonctionnement.....	38
3.2.3. Principales lois de probabilité utilisées en fiabilité.....	38
3.2.3.1. Loi exponentielle.....	38
a) Propriétés sans mémoire de la loi exponentielle	39
3.2.3.2. Loi normale	39
3.2.3.3. Loi de Weibull.....	40
3.2.4. Spécificité de la fiabilité dans l'industrie.....	41
3.2.4.1. Différentes phases du cycle de vie d'un équipement.....	41
CHAPITRE 4 : ANALYSE DE LA FIABILITÉ DES ÉQUIPEMENTS AU NIVEAU DE L'ATELIER BROYAGE CRU	
4.1. Introduction.....	45
4.2. Descriptions de la méthode de PARETO.....	45
4.2.1. Définition.....	45
4.2.2. Objectif d'utilisation	46
4.2.3. Mise en place du diagramme de PARETO.....	46
4.2.4. Construction du diagramme de Pareto.....	46
4.2.4.1. Par le coût indirect.....	46
4.2.4.1. Par le coût direct.....	48
4.3. Sélection de l'équipement critique	49
4.3.1. Découpage de l'atelier broyage cru.....	49
4.3.2. Construction du diagramme de Pareto (Atelier broyage du cru).....	50
4.4. Sélection des organes critiques.....	51
4.4.1. Description du broyeur cru.....	51
4.4.2. Caractéristiques du broyeur cru.....	52
4.4.3. Décomposition fonctionnelle de Broyeur du Cru.....	52
4.5. Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC).....	53
4.5.1. Décomposition fonctionnelle.....	53
4.5.2. Modes de défaillance.....	53

Table des matières

4.5.3. Causes de défaillance.....	53
4.5.4. Effet de la défaillance.....	54
4.5.5. Mode de détection.....	54
4.5.6. Criticité.....	55
4.5.7. Grille de cotation.....	56
4.6. Application au broyeur du cru.....	56
4.6.1. Classement les résultants de criticité.....	57
4.7. Abaque de NOIRET.....	57
4.7.1. Politiques de maintenance.....	61
4.7.1.1. Maintenance corrective.....	62
4.7.1.2. Maintenance préventive.....	63
4.7.2. Définition de l'abaque de NOIRET	63
4.8. Application du modèle de Weibull sur le palier a patin.....	63
4.8.1. Préparations des données historiques.....	63
4.8.2. Détermination des paramètres de Weibull.....	65
4.8.2.1. Méthode graphique.....	65
4.8.2.2. Méthode numérique.....	65
4.8.2.3. Analyse des résultats trouvés.....	65
4.9. Conclusion	73
Conclusion générale	74

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1. Organigramme de S.C.I.B.S	07
Figure 1.2. Sac de ciment.....	08
Figure1.3. schémas du processus de fabrication.....	10
Figure1.4. Schéma de la carrière	10
Figure 1.5. (1).broyage cru (2).cuisson.....	11
Figure1.6. (1).broyage, (2).stockage, conditionnement, expédition.	12
Figure 1.7. Extraction de la matière première.....	12
Figure 1.8. Concassage.....	12
Figure 1.9. Préparation et Pré homogénéisation du mélange.....	13
Figure 1.10. Broyage du cru.....	14
Figure 1.11. Homogénéisation.....	14
Figure 1.12. Four de cuisson	14
Figure 1.13. Refroidissement.....	15
Figure 1.14. Stockage du clinker.....	15
Figure1.15. Broyage du ciment.....	16
Figure1.16. Expédition.....	16
Figure 2.1. Fonction de maintenance.....	24
Figure 2.2. objectifs de la maintenance	25
Figure 2.3. Différents types de maintenance	26
Figure 2.4. Principe de la maintenance conditionnelle.....	28
Figure 3.1. Fonction de fiabilité.....	37
Figure 3.2. Loi exponentielle	39
Figure 3.3. Évolution du taux de défaillance en courbe baignoire.....	41
Figure 3.4. Courbe du taux de défaillance en mécanique	41
Figure 4.1 Découpages des ateliers de la société SCIBS	46
Figure 4.2 Diagramme de Pareto des coûts indirects (l'indisponibilité des ateliers)	47
Figure 4.3 Diagramme de Pareto des coûts directs des ateliers.....	48
Figure 4.4 Diagramme de Pareto des équipements de l'atelier broyage du cru.....	51
Figure 4.5 Etapes d'une analyse de type AMDEC.....	53
Figure 4.6 Détermination graphique des paramètres de Weibull.....	65

Table des matières

Figure 4.7 Droite de Weibull par Excel.....	67
Figure 4.8 Courbe de Weibull.....	67
Figure 4.9 Courbe de fiabilité $R(t)$ et la courbe de répartition $F(t)$	69
Figure 4.10 Courbe de fiabilité $R(t)$	70
Figure 4.11 Courbe de répartition $F(t)$	70
Figure 4.12 Taux de défaillance $\lambda(t)$	71
Figure 4.13 Taux de défaillance $\lambda(t)$	71
Figure 4.14 Densité de probabilité de défaillance $f(t)$	72
Figure 4.15 Densité de probabilité de défaillance $f(t)$	72
Histogramme 4.1 Classement les résultants de criticité.....	61

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1. Quantité du ciment fabriquée.....	05
Tableau 1.2. Caractéristiques des silos.....	18
Tableau 1.3. Caractéristique du préchauffeur.....	19
Tableau 4.1 Tableau de classement des ateliers par coût indirect.....	47
Tableau 4.2 Tableau de classement des ateliers par coût direct.....	48
Tableau 4.3. Découpage de l'atelier broyage cru.....	49
Tableau 4.4 Classement des équipements de l'atelier broyage du cru.....	50
Tableau 4.5 Décomposition fonctionnelle du Broyeur Cru.....	52
Tableau 4.6 Facteurs d'évaluation de la criticité.....	54
Tableau 4.7 Echelle de criticité ($C=G \times O \times D$).	55
Tableau 4.8 Matrice de défaillance à deux indices.....	55
Tableau 4.9 Grille de cotation.....	56
Tableau 4.10 Analyse la couronne et pignons d'attaque.....	57
Tableau 4.11 Analyse du Paliers porteurs.....	57
Tableau 4.12 Analyse du tube broyeur.....	58
Tableau 4.13 Analyse du groupe de commande.....	60
Tableau 4.14 Préparation des données historiques.....	64
Tableau 4.15 Tableau des résultats.....	66
Tableau 4.16 Tableau des résultats.....	68

LISTE DES SYMBOLES

AMDEC	Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité.
MTBF	Moyen de temps de bon fonctionnement.
MTTF	Durée de vie moyenne du système (en anglais Mean Time To Failure).
TBF	Temps de bon fonctionnement avant la première défaillance. [heurs].
R(t)	Fiabilité au temps (t) [%].
E(t)	Espérance mathématique.
P	Probabilité [%].
F(t)	Fonction de répartition [%].
N(t)	Nombre des survivants à l'instant t.
$\mu(t)$	Taux de réparation. [%].
$\lambda(t)$	Taux de défaillance. [%].
f(t)	Densité de probabilité de défaillance.
N	Nombre d'éléments défaillants.
T	Variable aléatoire caractérisant l'instant de défaillance du dispositif [heurs].
σ	Ecart-type.
μ	Densité de probabilité d'une loi normale de moyenne.
t	Temps (h).
β	Paramètre de forme de "Weibull".
η	Paramètre d'échelle de "Weibull".
γ	Paramètre de position de "Weibull".
Γ	La fonction Gama.
G	Indice de la gravité.
F	Indice de la fréquence.
D	Indice de la détection.
C	Indice de la criticité.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction générale

Le développement économique qu'a connu la dernière décennie a engendré une concurrence intense entre les secteurs industriels. Cette concurrence s'est propagée sur le plan international et s'est caractérisée par l'implantation des entreprises partout dans le monde et parfois dans le même pays et ce, pour des raisons économiques et logistiques). Dans le domaine de l'industrie, l'évolution technique a contribué à l'amélioration de la situation des entreprises industrielles en termes de fiabilité et de réduction du nombre d'interventions. Cette amélioration s'accompagne par une bonne gestion des outils et moyens techniques et une exigence en personnels de plus en plus spécialisés. Malgré le niveau de fiabilité atteint, le «zéro panne» reste impossible. De ce fait, avec un nombre important de dysfonctionnements, les entreprises industrielles doivent à la fois produire, améliorer leurs outils de production et assurer le maintien en condition opérationnelle de leurs équipements. C'est ainsi que des solutions pratiques sont indispensables. En effet, afin d'assurer une remise en état des équipements en panne, des solutions aussi bien stratégiques et méthodologiques que techniques sont nécessaires. À cet égard, il est essentiel de prendre un critère d'efficacité de ces méthodes qui dépendra du gain, aussi bien économique qu'au niveau de fiabilité. Ces critères agiront par conséquent sur le coût de la maintenance et sur la disponibilité de production et de productivité. Des techniques et des disciplines impliquées dans les données sont là pour répondre à la nécessité de contrôler la sécurité et la production de service, tout en optimisant les coûts et les durées de maintenance. Dans ce contexte, ces secteurs nécessitent des ateliers de maintenance possédant des compétences scientifiques et techniques, et la mise en œuvre des stratégies de maintenance adaptées aux équipements et aux installations à entretenir.

Dans l'industrie, l'optimisation de la maintenance est basée sur la connaissance de la fiabilité des équipements et des politiques de maintenance adaptées. Les applications de ces politiques ont montré une grande amélioration au niveau de la performance triangulaire des systèmes industriels (Coût, Qualité, Délai).

Dans le premier chapitre, nous intéressons à la présentation de l'entreprise «S.C.I.B.S», un bref aperçu sur le procédé de fabrication du ciment, en citant tous les ateliers de la chaîne de production.

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

Introduction générale

la loi "exponentielle" et la loi de "Weibull"; ainsi que les méthodes graphiques et analytiques pour la détermination des paramètres fondamentaux.

Dans le quatrième chapitre, nous étudions la zone de broyage-cru notée (BC) en analysant les différentes fonctions. Notre projet fin d'étude a donc pour objectif d'optimiser le plan maintenance et de mieux gérer les matériels et les personnels de maintenance. Afin de réaliser notre objectif, on a étudié les machines du cycle de production en se basant sur le critère du temps d'arrêts des machines et le coût de maintenance.

- Dans la première partie on a utilisé la méthode Pareto qui vise à détecter les machines critiques parmi celles de la chaîne de production.
- Dans la deuxième partie on a proposé la méthode ABAQUE DE NOIRET afin de préciser la politique maintenance adaptée pour l'équipement critique.
- Dans la troisième partie on a proposé l'AMDEC machine qui nous a permis de découvrir la machine, ses problèmes, leur causes et leur effet.

En dernier lieu, on a mis en application une analyse de la fiabilité par le modèle de Weibull

CHAPITRE 1 :
PRÉSENTATION GÉNÉRALE DU
COMPLEXE SCIBS - BENI SAF

CHAPITRE 1 : PRÉSENTATION GÉNÉRALE DU COMPLEXE SCIBS - BENI SAF**1.1. Présentation de la cimenterie****1.1.1. Historique**

La cimenterie de Béni-Saf a été réalisée, dans le cadre du plan de développement quinquennal des années 70, par la Société Nationale des Matériaux de Construction (SNMC) entre 1974 et 1978. Elle est entrée en production en novembre 1978 et le 1^{er} sac de ciment est sorti en février 1979.

➤ La cimenterie est implantée à 4 Km à l'est du port de BENI-SAF, à une altitude de 185 mètres.

➤ Les deux gisements de calcaire et d'argile sont situés au sud-est de BENI-SAF.

➤ L'énergie électrique nécessaire à la production est fournie par deux lignes de 60 KV.

➤ L'énergie thermique nécessaire au séchage du cru et à la cuisson du clinker est fournie par le gaz naturel distribué par pipe.

➤ La cimenterie de BENI-SAF a une capacité nominale de production de 3500 t/j de clinker, destiné essentiellement à la fabrication de ciments CPJ45.

➤ L'usine est pratiquement implantée sur deux niveaux :

- Un premier niveau où sont regroupés les équipements de production de ciment.

- Une seconde plate-forme essentiellement réservée à l'ensachage et à l'expédition

➤ Les équipements de production de clinker, de broyage cru, d'homogénéisation et de 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 des commandes sont implantés au centre de l'usine.

Actuellement l'effectif total est de 500 agents ; la production annuelle atteint 1 100 000 tonnes de clinker et 1 250 000 tonnes de ciment expédié [1].

La quantité du ciment fabriqué à partir de 2005 jusqu'à 2015 est donnée dans le tableau suivant :

Tableau 1.1. Quantité du ciment fabriquée [1].

<i>Désignation</i>	<i>CIMENT (tonne)</i>
2005	824003
2006	1014663
2007	1219964
2008	1249140
2009	1205650
2010	1163302
2011	1040541
2012	1147385
2013	1049098
2014	1176809
30/12/2015	1037442

1.1.2. Organisation de la cimenterie

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

1.1.2.1. Direction générale

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

1.1.2.2. 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.

1.1.2.3. 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.

1.1.2.4. Direction de production

Chargée de la gestion de production, elle comprend les départements suivants :

- Département de contrôle qualité.
- Département de planification et instrumentation.
- Département de fabrication et expédition.
- Département de matière première.

1.1.2.5. Direction technique

Elle résout les problèmes de la maintenance en appliquant les différents types de maintenance, elle comprend les départements suivants :

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

a) Département maintenance

Il 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

Il 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 des ordres de travaux. 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 des études, il est chargé de l'exécution des ordres de travaux dans les deux sections (usinage, chaudronnerie). Le département du 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 1.1 :

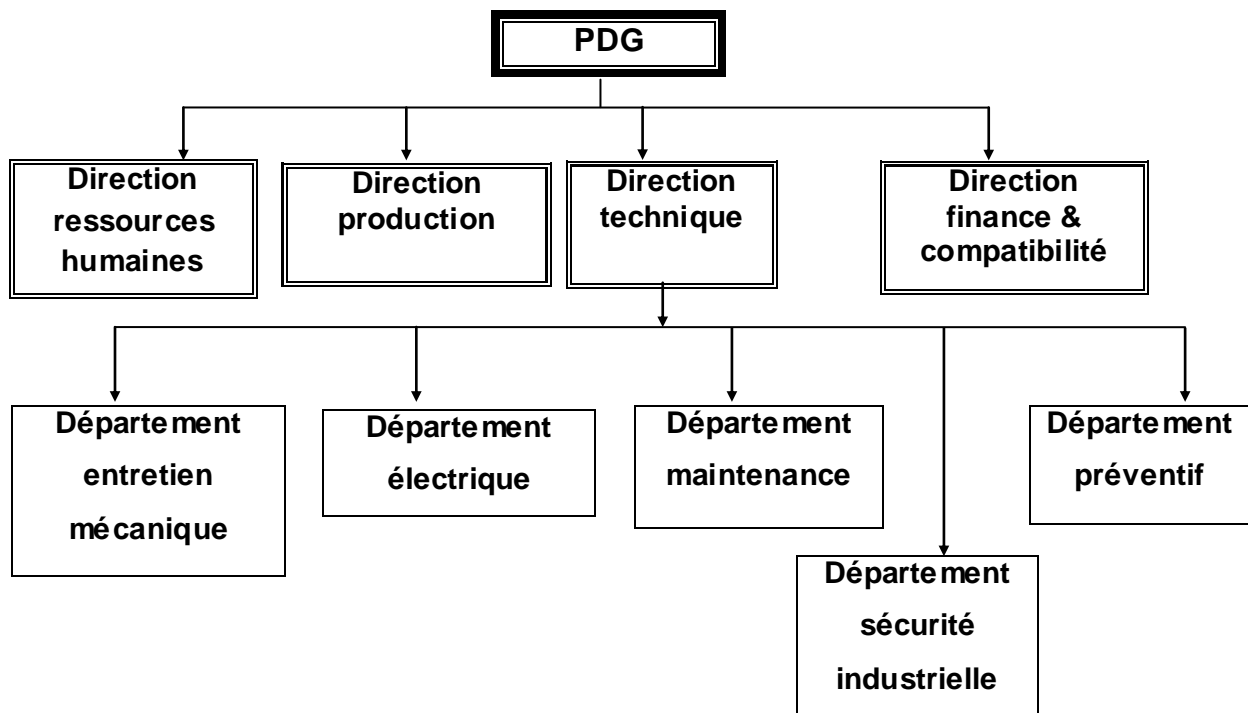


Figure 1.1. Organigramme du complexe SCIBS [1].

1.1.3. Composantes chimiques et minéralogiques de ciment de BENI-SAF

1.1.3.1. Introduction

Le ciment produit par la cimenterie de BENI-SAF est un ciment portland composé de la pouzzolane naturelle de la classe CPJ-CEM II/A 42 ,5 selon la norme NA 442/2000, il est constitué des produits suivants:

- Minimum de 80-94 % de clinker.

- 6 – 20 % de la pouzzolane naturelle.



Figure 1.2. Sac de ciment [1].

1.1.3.2. Domaines d'application

Ces ciments sont les plus couramment utilisés dans :

- Les travaux nécessitant une résistance initiale élevée (décoffrage rapide par exemple).
- Dans le béton en élévation, armé ou non, d'ouvrage courant.
- Dans les fondations ou travaux souterrains en milieux non agressifs.
- Dans les dallages, sols industriels.
- Dans les maçonneries.
- Dans le stabilisation des sols.

1.1.3.3. Constituants

a) Clinker portland

- C'est un matériau hydraulique constitué d'au moins deux tiers de sa masse de silicates de calcium C_3S et C_2S , la partie restante contient des silicates d'aluminium, des silicates de fer C_3A , C_4AF et d'autres oxydes.
- Le clinker portland est obtenu par cuisson d'un mélange homogène de farine cru contenant les oxydes, CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 et de petites quantités d'autres matières.

b) Pouzzolane naturelle

➤ Est une substance d'origine volcanique (pierre) composée essentiellement de SiO_2 , de Al_2O_3 , de Fe_2O_3 et ayant naturellement des propriétés pouzzolaniques.

c) Sulfate de calcium

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

d) Additif

➤ Un adjuvant ou agent de mouture destiné à favoriser le broyage du ciment est ajouté au cours du broyage du ciment dans la proportion de 250-500 g/t de ciment [3].

1.1.4. Caractéristiques physico-chimique du ciment**1.1.4.1. Caractéristiques chimiques**

- Teneur en $\text{SO}_3 \leq 3,5 \%$.
- Teneur en Chlorure $\leq 0,1 \%$.
- Teneur en $\text{MgO} < 5.0 \%$.

1.1.4.2. Caractéristiques physico mécaniques

➤ Les ciments sont classés en fonction de leurs résistances mécaniques à la compression exprimées en MPa à 28 jours.

- Résistance au jeune âge (02 jours): limite inférieure (Li) $\leq 12.5 \text{ N/mm}^2$
- Résistance normale (28 jours): limite inférieure (Li) $\leq 42.5 \text{ N/mm}^2$
- Limite supérieure (Ls) $\leq 62.5 \text{ N/mm}^2$.
- Retrait du CPJ-CEM II (28 jours) $\mu\text{m/m} : \geq 60 \text{ min}$.
- Temps de début de prise (min) : $\geq 60 \text{ min}$.
- Stabilité (mm) : $\leq 10 \text{ mm}$.

1.2. Processus de fabrication

1.2.1. Schéma du processus de fabrication

La figure 1.3. Représente le schéma du processus de fabrication du ciment au niveau du complexe SCIBS Beni Saf.

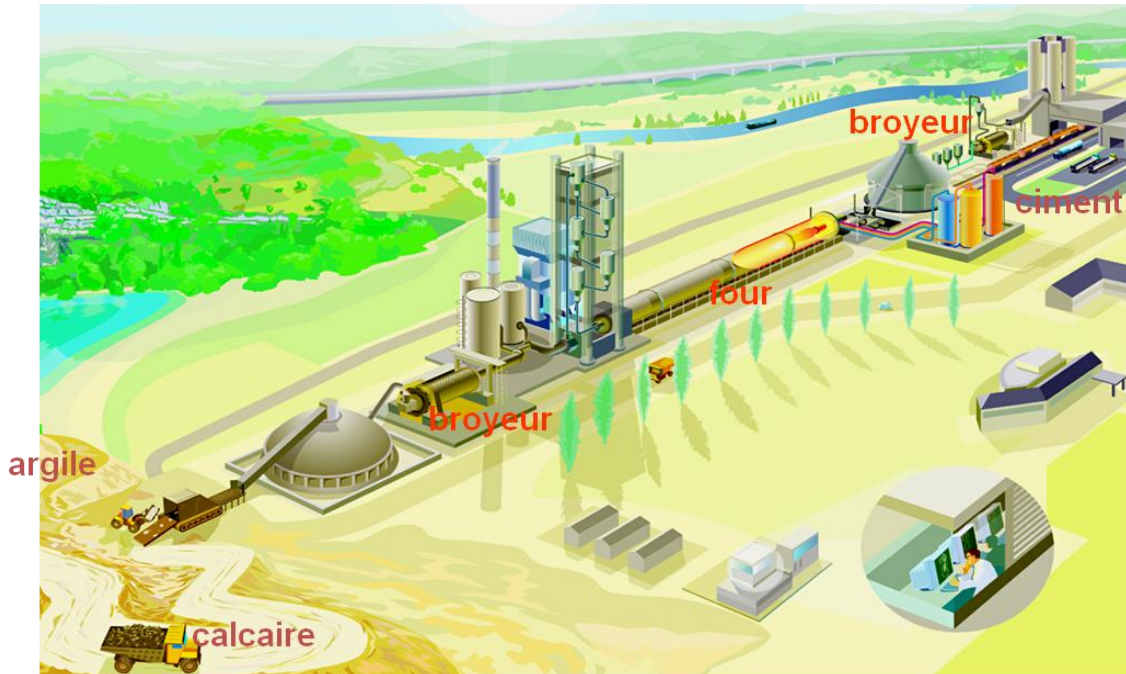


Figure 1.3. Schéma du processus de fabrication.

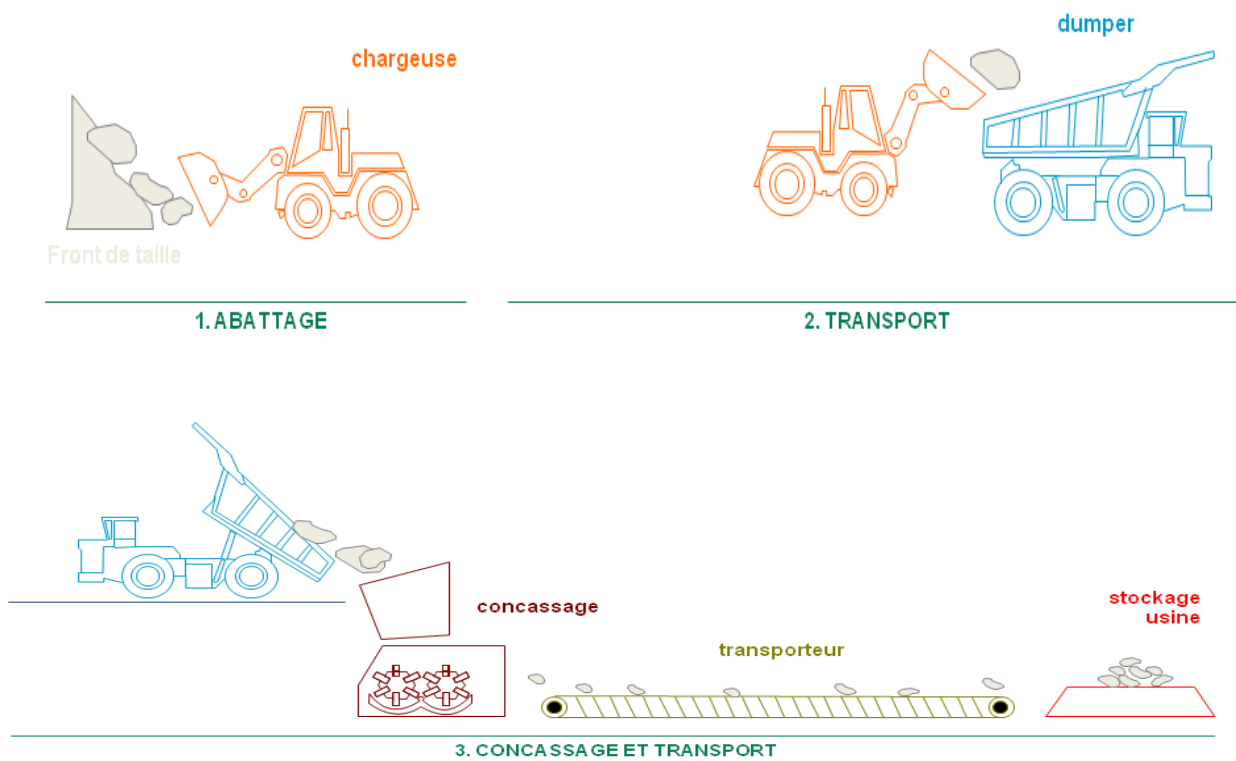


Figure 1.4. Schéma de la carrière.

- **Abattage** : les matières premières qui entrent dans la fabrication du ciment sont essentiellement le calcaire et l'argile, elles sont extraites de la carrière par abattage.
- **Transport** : les matières premières sont transférées dans le dumper.
- **Concassage et transport** : les matières premières, après concassage, sont transportées à l'usine par un tapis roulant où elles sont stockées et homogénéisées.

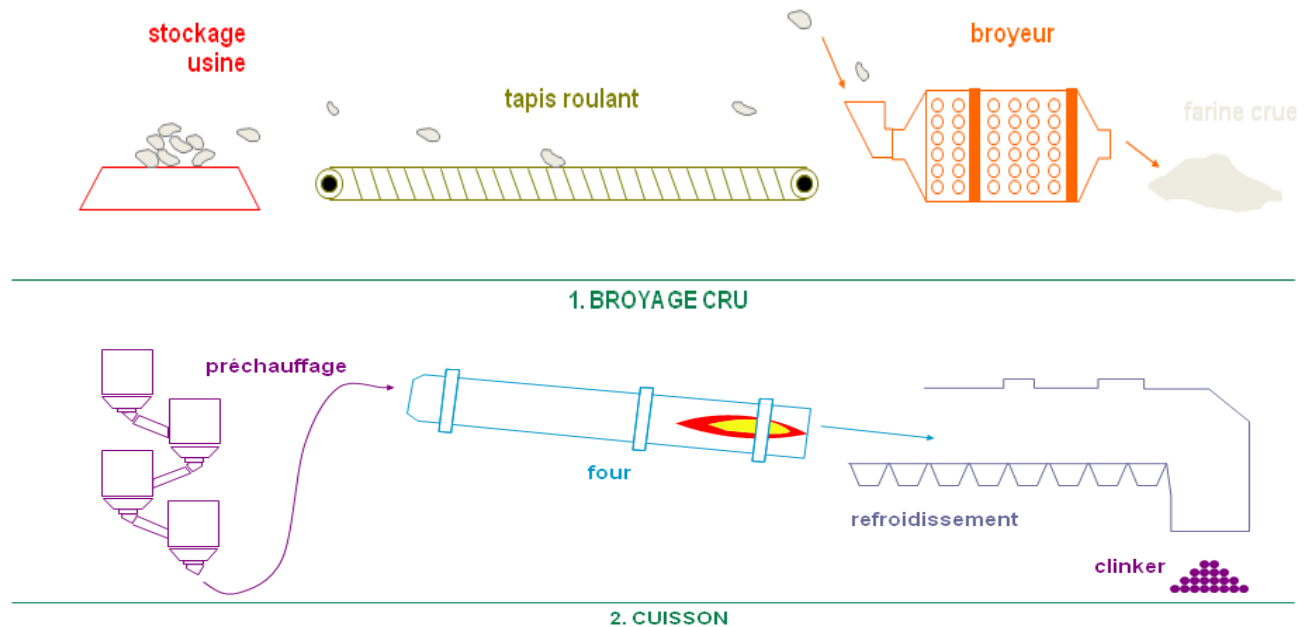
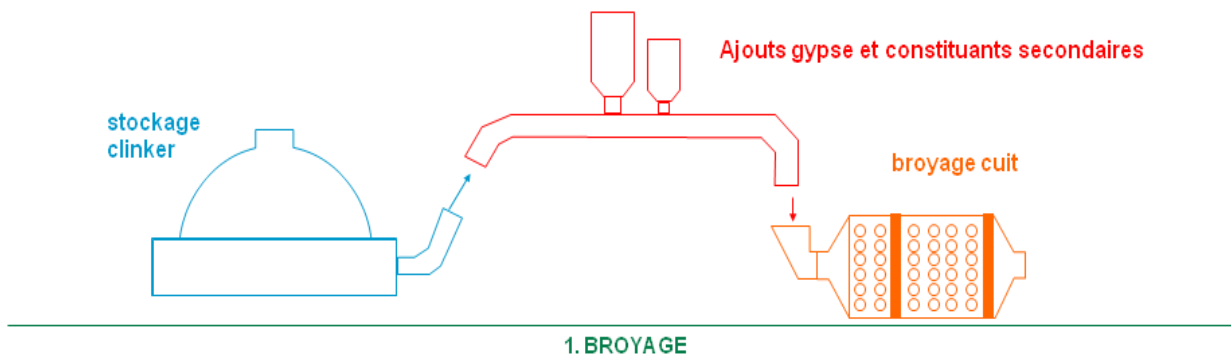
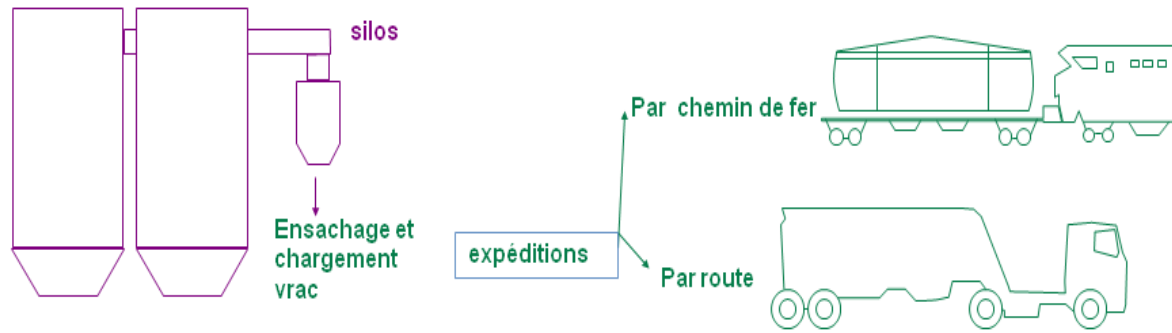


Figure 1.5. Préparation du clinker : (1) broyage cru (2) cuisson [3].

- **Broyage cru** : un broyage très fin qui permet d'obtenir une farine crue.
- **Cuisson** : la farine crue est préchauffée puis passée au four : une flamme atteignant 2000°C porte la matière à 1500°C, avant qu'elle ne soit brutalement refroidie par soufflage d'air. Après cuisson de la farine, on obtient le clinker qui est la matière de base nécessaire à la fabrication du ciment.





2. STOCKAGE, CONDITIONNEMENT, EXPÉDITION

Figure 1.6. Préparation du ciment : (1) broyage, (2) stockage, conditionnement, expédition.

- **Broyage** : le clinker et le gypse sont broyés très finement pour obtenir un ciment pur. Des constituants secondaires sont également additionnés afin d'obtenir des ciments composés.

- **Stockage, conditionnement, expédition** : les ciments stockés dans des silos sont expédiés en vrac ou en sacs vers leur lieux de consommation.

1.2.2 Processus de fabrication

1.2.2.1. préparation de cru

Deux types de cru ont été envisagés :

- Un cru binaire, calcaire-argile pour la fabrication de CPA325, CPAZ et CPA400.
- Un ternaire calcaire, calcaire sableux, argile pour la fabrication de CPA.

Le cru final est réalisé à partir d'un mélange calcaire argile et corrige par du calcaire et du fer. Ces deux constituants sont concassés en carrière à un débit de 1200 t/h pour une granulométrie finale de 0-25 m.



Figure 1.7. Extraction de la matière première.



Figure 1.8. Concassage.

Le mélange est acheminé à l'usine par transporteur couvert, il est stocké dans un hall de pré-homogénéisation qui comporte deux tas, l'un en constitution, l'autre en reprise. Le mélange est prélevé par des échantillonneurs en ligne du concasseur. Les pourcentages des matières sont réglés en fonction de la composition chimique de l'échantillon. Une seconde correction est prévue au niveau du broyeur cru par ajout de fer et du calcaire, ces ajouts sont stockés dans deux trémies :

- Une trémie tampon reçoit le mélange.
- Une trémie alimentée de façon discontinue à partir du tas de pré-homogénéisation par une pelle dont le débit peut atteindre 360t/h [2].



Figure 1.9. Préparation et pré-homogénéisation du mélange [4].

1.2.2.2. Broyage cru

Le broyage et le séchage du cru sont réalisés à un débit de 270 t/h dans un broyeur à sortie centrale de 5 m de diamètre et de 13.9 de longueur, avec un compartiment de séchage et deux chambres de broyage. L'entraînement est assuré par deux moteurs de 1650 kW.

La sélection granulométrique est réalisée au moyen d'un séparateur statique de 7.5 m et d'un séparateur dynamique de 7.2 m alimenté par deux élévateurs pouvant assurer chacun 60% du débit. Le séchage est assuré par le gaz du four entre 320-330°C. En période normale pour une humidité de 5.5%. Les gaz excédentaires du four sont refroidis et modifiés dans une tour de conditionnement en vue de leur élimination par filtre électrostatique. Le dépoussiérage des gaz est assuré par deux électro-filtres à deux champs [2].

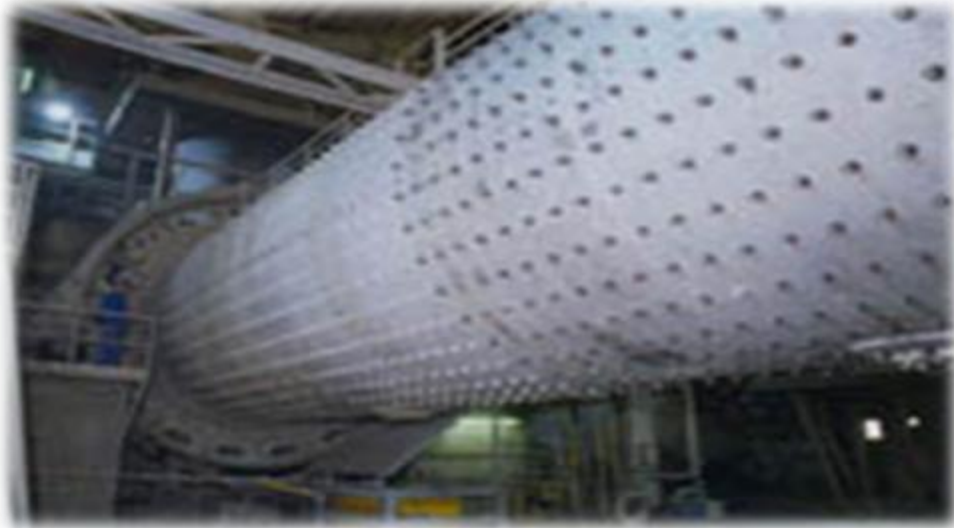


Figure 1.10. Broyeur du cru[4].

1.2.2.3. Homogénéisation

La farine crue est homogénéisée en continue dans deux silos à cône central de mélange, d'une capacité unitaire de 10000t. Pour accroître l'efficacité de l'homogénéisation, les 2 silos sont alimentés simultanément.



Figure 1.11. Homogénéisation[4].

1.2.2.4. Atelier de cuisson

L'atelier comporte, en parallèle, deux préchauffeurs à 4 étages qui alimentent le four rotatif, ces matériels de conception CLE, ont les caractéristiques suivantes :

- Une ligne de préchauffeur de haut en bas :
 - cyclones 1 et 1b de Ø3350.
 - cyclones 2, 3,4, de Ø6500.
- Un four rotatif :
 - Ø 5.4/5.7 m X 90 m.



Figure 1.12. Four de cuisson[4].

L'entraînement de four assuré par un moteur à vitesse variable de 500 kW.

Le tirage des gaz du four est réalisé par deux ventilateurs de 900 kW. Un rafraichisseur à grilles traite le clinker sortant du four rotatif, l'excès de rafraichissement est rejeté à l'atmosphère après épuration, dans une batterie de filtre à graviers.

1.2.2.5. Stockage de clinker

Toute la manutention du Clinker est réalisée par des bandes transporteuses en caoutchouc, la température du Clinker à la sortie refroidisseur est surveillée par un pyromètre optique. Si la température dépasse un seuil fixé, le Clinker est aiguillé automatiquement vers un stock polaire de 3000 T ; sinon il est repris pour une bande transporteuse et sera acheminé vers les deux stocks polaires principaux de capacité unitaire de 30000 t. L'extraction est assurée par des extracteurs vibrants. Les ajouts cru et ciment sont par raison de simplicité des stockes en long dans un hall unique et repris par un gratteur à marche automatique.



Figure 1.13. Refroidissement[3].



Figure 1.14. Stockage du clinker[3].

1.2.2.6. Broyage du ciment

Le broyage du ciment est assuré par deux broyeurs à boulets (débit 90 t/h) en circuit fermé d'un Ø 4.15 m et 3400 kW, équipés de séparateurs dynamiques WEDAC, 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. Le broyeur assure des conditions d'épuration favorables. L'évacuation de ciment vers les silos de stockage est assurée par une pompe pneumatique.

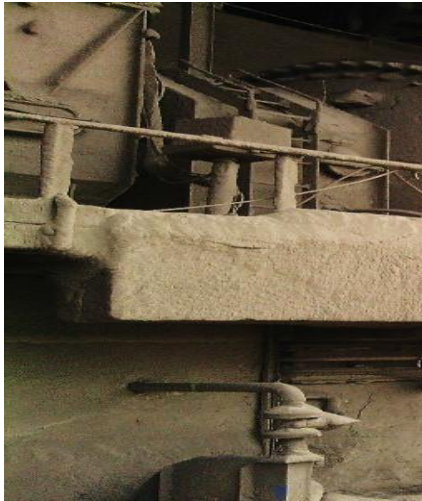


Figure 1.15. Broyeur du ciment [3].

1.2.2.7. Expéditions

Les expéditions sont effectuées en sac et en vrac par route et, ultérieurement, par chemin de fer. Il est prévu :

- Deux lignes pour le vrac par camion d'une capacité unitaire de 250 à 300 t/h.
- Deux postes sur pont bascule pour le vrac wagon d'une capacité unitaire de 300 t/h.
- Quatre ensacheurs rotatifs à 8 becs, d'une capacité unitaire de 2000 sacs / Heures (100 t/h).
- Un poste de palettisation qui traite une partie des sacs (100 t/h).



Figure 1.16. Station de remplissage [3].

1.3. Machines de production

1.3.1. Concassage

❖ Concasseur :

- ✓ Concasseur à percussion constructeur : Hazemag.
- ✓ Dimension : 1 200 x 1 000 x 600 mm.
- ✓ Puissance : 1 200 kW (primaire) + 1 600 kW (secondaire).
- ✓ Débit moyen : 800 à 1 200 t/h selon le pourcentage de l'humidité.
- ✓ Dépoussiérage : filtre à manche type Vim.
- ✓ Débit du gaz traité : 50 000 m³/h à température ambiante.
- ✓ Surface filtrante : 2 caissons de 266 manches (130 x 3000 mm.).

1.3.2. Pré-homogénéisation

❖ Tapis de liaison carrière-usine type 11 P006 :

- ✓ Débit nominal : 1 200 t/h.
- ✓ Largeur de la courroie : 1 200 mm.
- ✓ Puissance installée : 2 x 132 Kw.
- ✓ Vitesse de rotation : 1 500 tr/mn.

❖ Stacker : constructeur Delatre Levivier :

- ✓ Débit : 1 500 t/h max.
- ✓ 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 de la courroie : 2,1 m/s.

1.3.3. Atelier de broyage cru et d'homogénéisation

❖ Broyeur : bi-rotator :

- ✓ Diamètre intérieur virole : 5 000 mm.
- ✓ Nombre de compartiment : 03 chambres de séchage + 2 compartiments
- ✓ Longueur de la chambre de séchage : 3 400 mm.
- ✓ Longueur du premier compartiment : 3 750 mm.
- ✓ Longueur du deuxième compartiment : 4 750 mm.
- ✓ Charge du corps broyant, 1^{er} chambre : 89 tonnes à 28%.
- ✓ Charge du corps broyant, 2^{ème} chambre : 112 tonnes à 28%.
- ✓ Puissance installée : deux moteurs de 1 650 kW chacun.
- ✓ Vitesse de rotation : 14,2 tr/mn.

- ❖ Foyers auxiliaires : 3 turbo-brûleurs :
 - ✓ Débit de 770 nm³/h.
 - ✓ Débit d'air de combustion : 12 050 nm³/h.
- ❖ Elevator à godets :
 - ✓ Débit 2 x 600 t/h
- ❖ Séparateur dynamique : 24' type Sturtevent :
 - ✓ Diamètre : 7 315 mm. (enveloppe extérieur).
 - ✓ Puissance : 560 Kw.
 - ✓ Débit d'alimentation : 700 à 1 000 t/h.
 - ✓ Débit du produit fini : 270 t/h.
- ❖ Séparateur statique :
 - ✓ Diamètre : 7 500 mm (virole) et 600 mm (cyclones interne).
 - ✓ Batterie de 4 cyclones de 3 200 mm de diamètre. et de 8 000mm de hauteur.
 - ✓ Débit des gaz passants : 270 000 nm³/h.
- ❖ Electro filtre : (four et broyeur) :
 - ✓ Deux électro filtres possédant deux champs en série chacun.
 - ✓ Surface collectrice développée : 5200 m².
 - ✓ Taux de poussière à la sortie 50 mg/nm³.
- ❖ ventilateur final :
 - ✓ Débit : 382 000 nm³/h.
 - ✓ Puissance moteur : 560 Kw.
- ❖ Deux silos d'homogénéisation : type Claudus Peters.
 - ✓ Diamètre intérieur 18 100 mm.
 - ✓ Hauteur : 41 700 mm, hauteur utile : 35 700 mm.
 - ✓ Capacité : 2 x 10 000 tonnes.
 - ✓ Débit de soutirage max. 2 x 150 t/h.

Tableau 1.2. Caractéristiques des silos.

Cyclone	c1/c1bis	c2	c3	c4
diamètre (en m)	3,35	6,5	6,5	6,5
hauteur total (en m)	7,15	6,25	6,25	6,25

1.3.4. Cuisson

- ✓ Débit nominal 3000 t/j.
- ✓ Consommation calorifique : Kcal/Kg de clinker.
- ✓ Chaux libre < 1,00 %.
- ✓ Température du clinker à la sortie du refroidisseur 70 à 80 ° C.
- ❖ Préchauffeur : 4 étages :

Tableau 1.3. Caractéristiques du préchauffeur.

chambre	vml	v m2a	v m2b	v3	v4	v5	v6	v7	v8
débit en m ³ /h	16 700/ 25 000	57 500		37700	49000	63000	23800	30200	29100
pression en mm	800 ou > 520	500		500	500	370	370	300	270

- ❖ Pyroclon à 20 % khd :
 - ✓ Taux de décarbonatation à l'entrée du four 65%.
- ❖ Ventilateur exhausteur :
 - ✓ Débit 130 000 nm3/h.
 - ✓ Vitesse de 0 à 1 000 tr/mn.
 - ✓ Puissance : Kw.
- ❖ Analyseur : CO/O₂ à la sortie exhausteur (gaine gaz) :
- ❖ Four :
 - ✓ Diamètre : 5,4 m /5,7 m.
 - ✓ Longueur : 90 m.
 - ✓ Nombre d'appui : 3.
 - ✓ Plage de vitesse de rotation 0,82 à 1,96 tr/mn.
 - ✓ Puissance installée : 500 Kw.
 - ✓ Nombre des butées hydrauliques : 02.
 - ✓ Entraînement : couronne d'entraînement fixée sur le four en deux parties, diamètre primitif 7 488 mm nombre. de dents 208-module =36.

- ✓ Combustible : gaz naturel (PCI = 9 100 kcal/m³).
- ❖ Brûleur : tuyère pyro :
 - ✓ Pression de service (axiale et radiale) : 400 mb / 1 à 1,5 bars.
- ❖ Ventilateur exhaure :
 - ✓ Nombre : 02.
 - ✓ Débit d'air 155 000 nm³/h.
 - ✓ Vitesse de rotation : 965 tr/mn.
 - ✓ Diamètre de la turbine : 2 250 mm.
 - ✓ Puissance du moteur : 450 Kw.
- ❖ Stockage clinker :
 - ✓ Deux bulles de 30 000 tonnes chacune et une bulle des incuits de 3 000 tonnes.
 - ✓ L'évacuation du clinker et l'alimentation des bulles se fait par transporteur à godets (Aumund).

1.3.5. Atelier de broyage du ciment

- ❖ Broyeur :
 - ✓ Diamètre : 4 m.
 - ✓ Nombre de compartiment : 02.
 - ✓ Longueur utile, 1^{ère} chambre : 4 250 mm.
 - ✓ Longueur utile, 2^{ème} chambre : 9 750 mm.
 - ✓ Charge du corps broyant, 1^{ère} chambre : 67 tonnes à 30 %.
 - ✓ Charge du corps broyant, 2^{ème} chambre : 155 tonnes à 30 %.
 - ✓ Vitesse de rotation : 15,7 tr/mn.
 - ✓ Puissance installée pour un broyeur : 3 200 Kw.
 - ✓ Type du réducteur : planétaire.
 - ✓ Attaque centrale : accouplement denté entre le broyeur et le réducteur, plus entre le moteur et le réducteur.
- ❖ Séparateur :
 - ✓ Séparateur à air type Zub 45 Wedag.
 - ✓ Diamètre de l'enveloppe : 4 500 mm.
 - ✓ Plage de vitesse du plateau 55 - 220 tr/mn.
 - ✓ Débit maximum d'alimentation : 360 t/h.

- ✓ Débit nominal en produit fini : 90 t/h.
- ✓ Puissance absorbée du plateau : 110 - 115 Kw.
- ❖ Electro filtre :
 - ✓ Un électro filtre à deux champs par broyeur.
 - ✓ Débit gaz traité : 33 000 nm³/h.
 - ✓ Ventilateur après filtre d'une puissance de : 75 kW.

1.3.6. Atelier des ajouts

- ❖ Le hall des ajouts comporte 04 compartiments composés :
 - ✓ Calcaire+minerais de fer.
 - ✓ Pouzzolane+gypse.
- ❖ Concasseur ajout :
 - ✓ Débit horaire : 150 t/h.
 - ✓ Puissance : 220 Kw.
- ❖ Gratteur : type Phb Someral :
 - ✓ Vitesse de la chaîne : 0,7 m/s.
 - ✓ Puissance : 37 Kw.
 - ✓ Angle d'inclinaison du bras : - 10° à + 40°.

1.3.7. Stockage du ciment et expéditions

- ❖ Silos de stockage :
 - ✓ Nombre : 06.
 - ✓ Capacité : 10 000 tonnes/silo.
 - ✓ Hauteur de stockage : 30 m.
 - ✓ Diamètre intérieur des silos : 18 m.
- ❖ Ensachage : type Haver & Bocker :
 - ✓ Nombre d'ensacheuse rotative : 06 à 8 becs.
 - ✓ Débit d'ensacheuse : 90 à 100 t/h.
- ❖ Poste de chargement du vrac :
 - ✓ Nombre : 02.
 - ✓ Débit : 300 t/h.
- ❖ Palettiseur: type Molles.
 - ✓ Nombre : 01.
 - ✓ Débit : 2 000 sacs/h.

CHAPITRE 2 : GÉNÉRALITÉS SUR LA MAINTENANCE

CHAPITRE 2 : GÉNÉRALITÉS SUR LA MAINTENANCE

2.1. Introduction

Le terme « maintenance », forgé sur les racines latines ‘manus’ et ‘tenere’, est apparu dans la langue française au XIIe siècle. L’étymologiste « Wace » a trouvé la forme ‘mainteneor’ (celui qui soutient), utilisée en 1169 : c’est une forme archaïque de «mainteneur». Anecdotiquement, c’est avec plaisir que j’ai retrouvé l’usage du mot «maintenance» sous la plume de «François Rabelais », qui vers 1533, parlait de la «maintenance de la loy» dans Pantagruel. Les utilisations anglo-saxonnes du terme sont donc postérieures. À l’époque moderne, le mot est réapparu dans le vocabulaire militaire : «Maintien dans des unités de combat, de l’effectif et du matériel à un niveau constant». Définition intéressante, puisque l’industrie l’a repris à son compte en l’adaptant aux unités de production affectées à un « combat économique » [5].

2.2. Présentation de la maintenance

2.2.1. Définition de la maintenance

D’après la norme française NF EN 13306 X 60-319, la maintenance peut-être définie comme un ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d’un équipement, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir sa fonction requise.

Le rôle principal d’un service maintenance est de maintenir les capacités opérationnelles des moyens de production, ainsi que leurs valeurs patrimoniales. Ces capacités opérationnelles sont nécessaires pour servir une commande, non pas lorsque l’entreprise peut l’honorer, mais au moment où le client la demande. La valeur patrimoniale peut s’envisager comme l’allongement de la durée de vie utile des machines et équipements, ce qui repousse ou annule la nécessité d’un nouvel investissement. Formulé ainsi, il apparaît évident que ce rôle ne peut s’envisager que de manière dynamique et proactive.

- Si l’on attend une panne pour réagir, la capacité opérationnelle n’est plus maintenue.
- Si l’on attend une dégradation pour réagir, la valeur patrimoniale est déjà amoindrie.

2.2.2. Activités de la maintenance

La fonction maintenance peut être présentée comme un ensemble des activités regroupées en deux sous-ensembles: les activités à dominante technique et les activités à dominante gestion. Ces différentes activités sont représentées dans la figure 2.1. Selon la définition AFNOR, la maintenance vise à maintenir ou à rétablir un bien dans un état spécifié afin que celui-ci soit en mesure d'assurer un service déterminé. La maintenance regroupe ainsi toutes les actions de dépannage et de réparation, de réglage, de révision, de contrôle et de vérification des équipements matériels (machines, véhicules, objets manufacturés, ...etc.) ou même immatériels (logiciels).

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

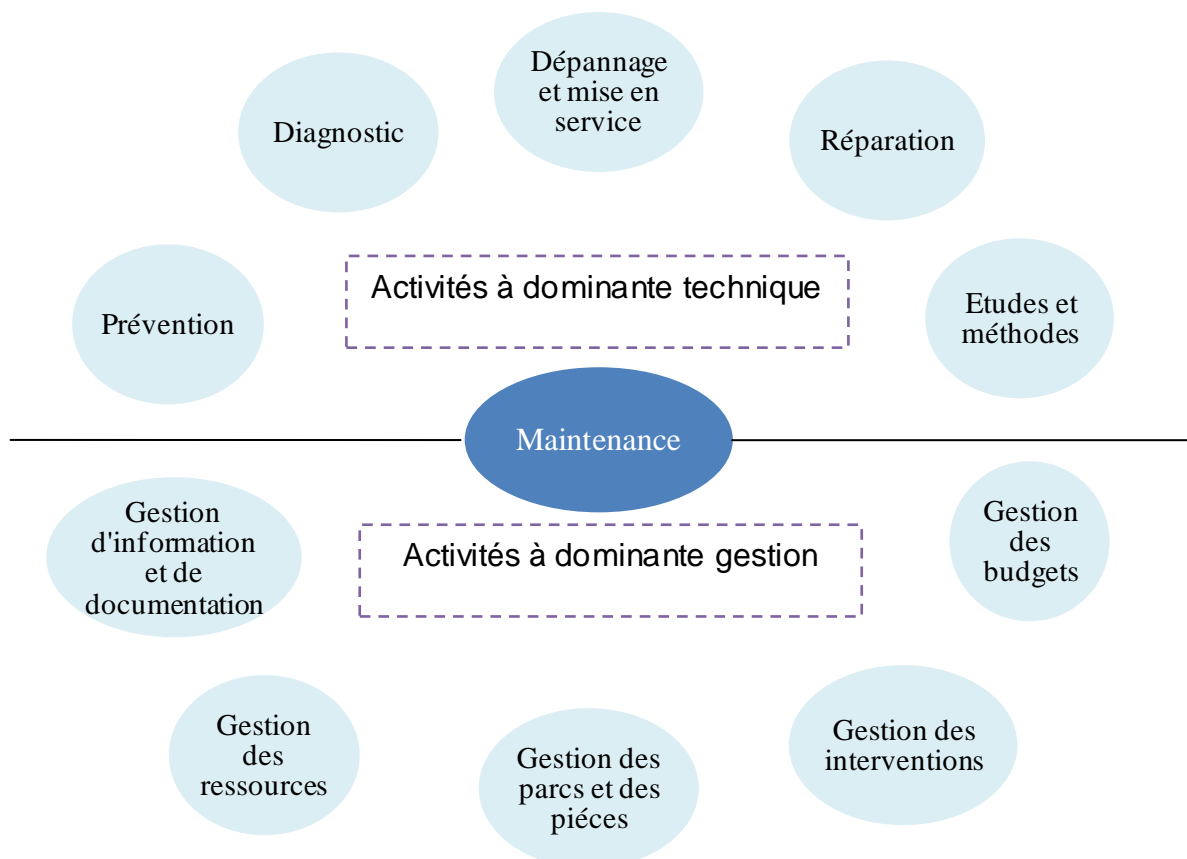


Figure 2.1. Fonction de maintenance [5].

Ainsi, la fonction maintenance est devenue, avec le temps, un domaine complexe où interviennent différentes compétences, parmi lesquelles on trouve les méthodes pour l'optimisation des divers aspects, comme : l'optimisation des coûts, la gestion des stocks des pièces de rechanges, la planification et l'ordonnancement des interventions compte tenu des capacités d'action de l'entreprise [6].

2.2.3. Objectifs de la maintenance

Les objectifs de la maintenance schématisés dans la figure 2, sont nombreux :

- Assurer la qualité et la quantité des produits fabriqués tout en respectant les délais.
- Optimiser les actions de maintenance (exemple : réduire la fréquence des pannes).
- Contribuer à la création et au maintien de la sécurité au travail.
- Consolider la compétitivité de l'entreprise (exemple: améliorer la productivité).

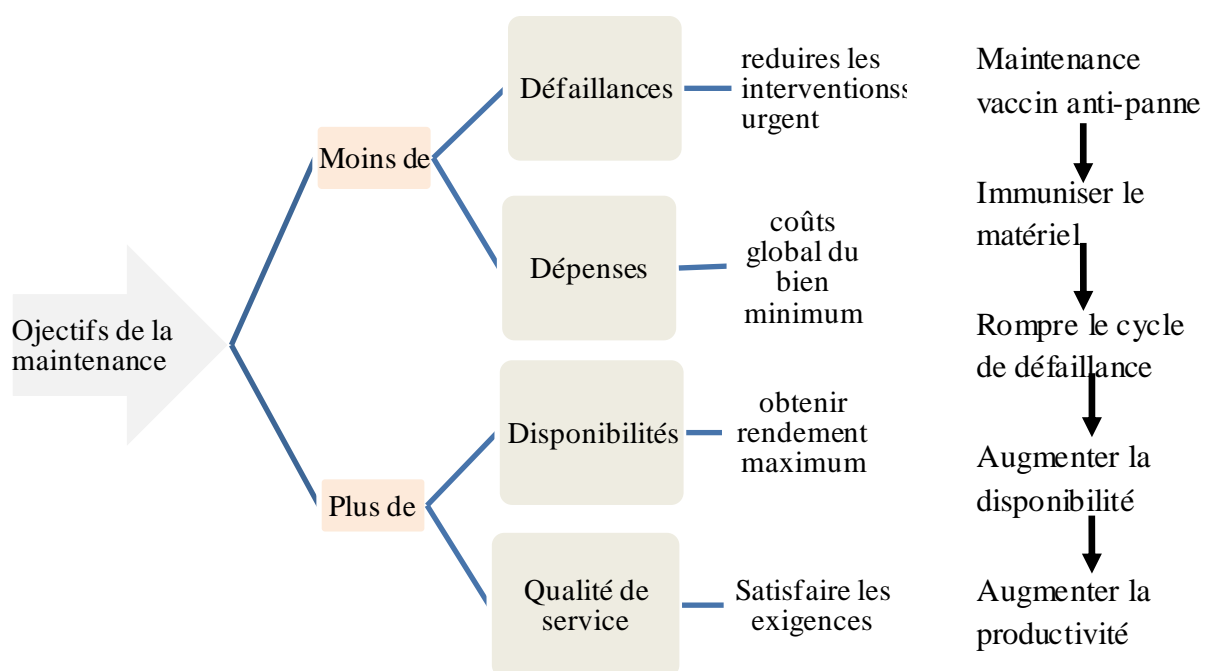


Figure 2.2. Objectifs de la maintenance [5].

2.3. Types de maintenance

La maintenance des équipements constitue une contrainte réglementaire pour les entreprises possédant des matériels sur lesquels travaillent des salariés. (Article R. 4322-1 et suivants du code du travail du **Décret n° 2008-244 du 7 mars 2008**). L'entreprise a le choix pour la mise en œuvre de cette maintenance (interne ou externe, planifiée ou non).

Ce choix est à la fois technique, organisationnel et économique. Il doit répondre aux besoins des utilisateurs des équipements (de production en général). Le diagramme suivant montre les différents types de maintenance accessibles à une entreprise. Des types différents peuvent être appliqués à des équipements différents.

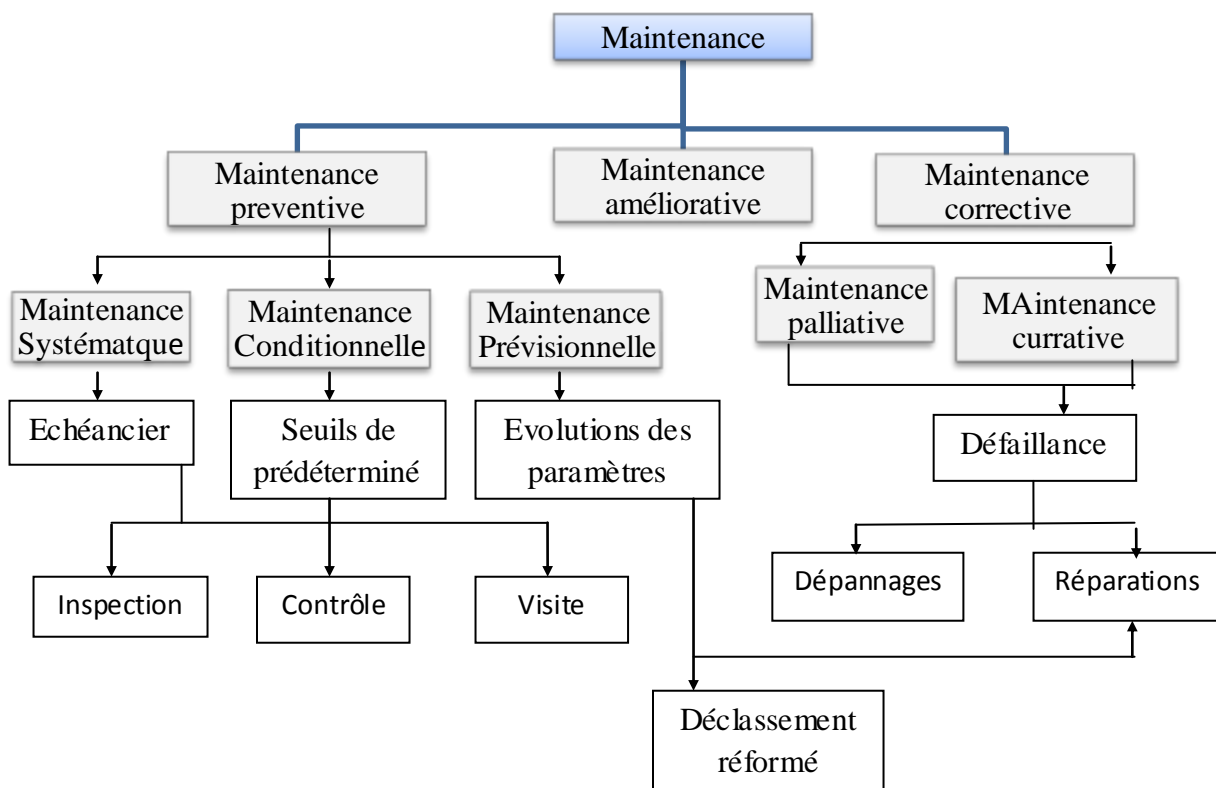


Figure 2.3. Différents types de maintenance [5].

2.3.1. Maintenance préventive (Extraits norme NF EN 13306 X 60-319)

C'est une maintenance exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinée à réduire la probabilité des défaillances ou des dégradations d'un bien ou d'un service rendu. Elle doit permettre d'éviter les défaillances des matériels en cours d'utilisation.

La maintenance préventive peut être définie comme :

- Maintenance systématique.
- Maintenance conditionnelle.
- Maintenance prévisionnelle.

2.3.1.1. Maintenance systématique

C'est une maintenance préventive effectuée suivant un échéancier et établi selon le temps ou le nombre des unités d'usage. Même si le temps est l'unité la plus répandue, d'autres unités peuvent être retenues telles que : la quantité de produits fabriqués, la longueur de produits fabriqués, la distance parcourue, la masse de produits fabriqués, le nombre de cycles effectués, ...etc. Cette périodicité d'intervention est déterminée à partir de la mise en service ou après une révision complète ou partielle. Cette méthode de maintenance nécessite de connaître:

- Le comportement du matériel.
- Les modes de dégradation.
- Le temps moyen de bon fonctionnement entre 2 avaries.

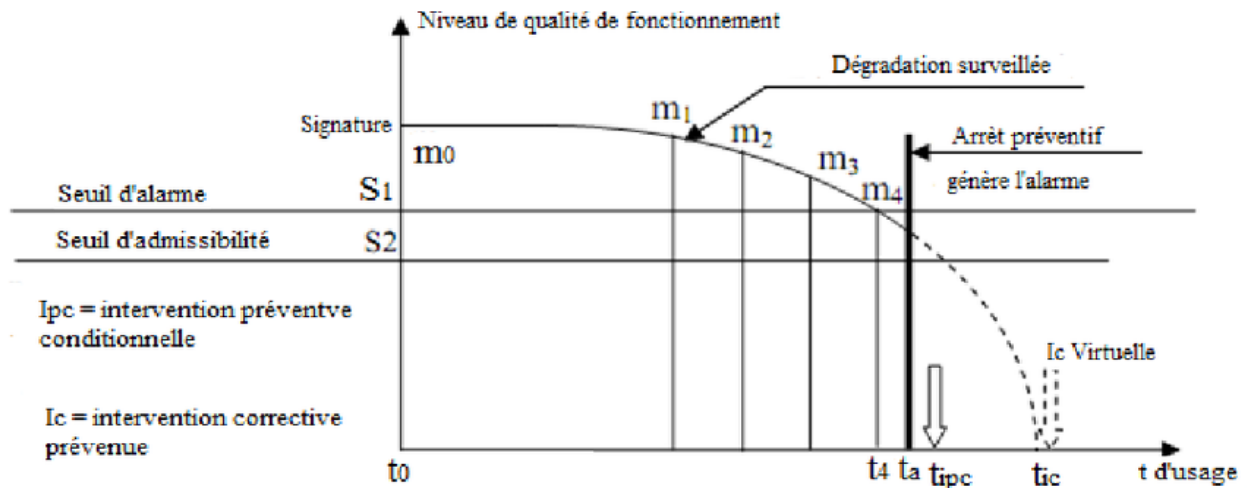
Remarque : de plus en plus, les interventions de la maintenance systématique se font par échanges standards.

2.3.1.2. Maintenance conditionnelle

C'est une maintenance préventive est subordonnée à un type d'événement prédéterminé (auto diagnostic, information d'un capteur, mesure d'une usure, etc.). La maintenance conditionnelle est une maintenance dépendante de l'expérience et fait intervenir des informations recueillies en temps réel. On l'appelle aussi maintenance prédictive. La maintenance préventive conditionnelle se caractérise par la mise en évidence des points faibles. Suivant le cas, il est souhaitable de les mettre sous surveillance et, à partir de là, de décider d'une intervention lorsqu'un certain seuil est atteint. Mais les contrôles demeurent systématiques et font partie des moyens de contrôle non destructifs. Tous les matériels sont concernés par ce type de maintenance. Les paramètres mesurés peuvent porter sur :

- Le niveau et la qualité de l'huile.
- Les températures et les pressions.
- La tension et l'intensité des matériels électriques.
- Les vibrations et les jeux mécaniques.

Certaines méthodes comme l'analyse vibratoire, l'analyse d'huile...etc. sont très riches quant aux informations recueillies. Leur compréhension autorise la prise des décisions qui sont à la base d'une maintenance préventive conditionnelle. La surveillance est soit périodique, soit continue



2.3.1.3. Maintenance prévisionnelle

La maintenance préventive prévisionnelle est subordonnée à l'analyse de l'évolution surveillée des paramètres significatifs de dégradation, permettant de retarder et de planifier les interventions. La maintenance préventive prévisionnelle peut s'appliquer à tous les matériels. Son efficacité est grandement accrue par l'utilisation de l'outil informatique, mais elle est en général coûteuse [9].

2.3.2. Maintenance corrective

Il s'agit de la maintenance effectuée après la détection d'une panne, elle a pour objectif de remettre un matériel défaillant à un état lui permettant d'accomplir une fonction requise, il peut être utilisé en complément d'une maintenance préventive pour l'élimination d'une avarie. Le fonctionnement de la maintenance corrective est divisé en deux parties :

2.3.2.1. Maintenance palliative

La maintenance palliative est une maintenance qui s'attache à la correction de tout incident identifié, et empêche la poursuite de celui-ci, c'est une intervention rapide pour pallier au plus urgent, en attendant de trouver une solution ou une correction définitive plus rassurante. La maintenance palliative permet de :

- Localiser l'incident.
- Mettre en place une solution provisoire permettant de poursuivre l'exploitation.

2.3.2.2. Maintenance curative

La maintenance curative est une maintenance qui s'attache à corriger tout incident identifié, il s'agit d'une intervention en profondeur et définitive pour réparer un équipement de façon définitive. La maintenance curative permet de :

- Localiser l'incident.
- Développer une solution.
- Permettant de rendre la machine conforme.

2.3.3. Opérations de maintenance

2.3.3.1. Opérations de maintenance corrective

a) Dépannage

C'est une action en vue de remettre le matériel en état de fonctionnement. Compte tenu de son objectif, c'est une action de dépannage s'accommode avec les résultats provisoires (maintenance palliative) et avec des conditions de réalisation, 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. Certains indicateurs de maintenance prennent en compte le problème du dépannage. Ainsi, le dépannage peut être appliqué par exemple sur des équipements fonctionnant de façon continu dont les impératifs de production interdisent toute visite ou intervention à l'arrêt.

b) Réparation

C'est une intervention définitive et limitée de la 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 un dépannage, soit après une visite de maintenance préventive conditionnelle ou systématique.

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

2.3.3.2. Opérations de maintenance préventive

a) Inspections

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

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 des opérations définies préalablement qui peuvent entraîner des démontages des organes et une immobilisation du matériel. Une visite peut entraîner une action de maintenance corrective.

c) Contrôles

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

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

2.3.3.3. Opérations de surveillance

C'est des contrôles, visites et inspections nécessaires pour maîtriser l'évolution de l'état réel du matériel. Elles sont effectuées de manière continue ou à des intervalles prédéterminés ou non, calculés sur le temps ou le nombre d'unités d'usage.

2.3.3.4. Autres opérations

a) Révision

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

b) Echanges standards

Reprise d'une pièce ou d'un organe ou d'un sous-ensemble usagé, et vente au même client d'une pièce, d'un organe ou d'un sous-ensemble identique, neuf ou remis en état

conformément aux spécifications du constructeur, moyennant le paiement dont le montant est déterminé selon le coût de remise en état.

2.4. Temps de maintenance

2.4.1. Classification des temps de la maintenance

La maintenance a pour devoir de maîtriser à la fois les temps machines (alternances de temps de bon fonctionnement et des temps d'arrêts) et les temps d'activité des techniciens d'intervention.

2.4.1.1. Temps machines

Ils concernent les états successifs caractérisant la disponibilité et la non disponibilité des systèmes. Pour ces temps, des saisies automatiques de dates et de durées, ou des relevés de compteurs associés à des systèmes d'imputation des causes d'arrêts seront nécessaires.

2.4.1.2. Temps d'activité

Comme ces temps relèvent des interventions humaines, ils se posent un problème de saisie délicat. Comme leur connaissance est aussi indispensable que la connaissance des temps machines, un effort d'explication destiné aux techniciens est souvent nécessaire. La maîtrise des temps, résulte de la performance intrinsèque de l'équipement (fiabilité) et de la performance humaine associée aux arrêts (maintenabilité), va donc permettre de gérer la maintenance d'un équipement à partir des causes d'indisponibilité à l'aide d'indicateurs de maintenance [7].

2.4.4. Nature des durées des interventions de maintenance

Les temps de maintenance comprennent les temps de la maintenance préventive et les temps de la maintenance corrective. Il sera nécessaire pour améliorer le temps d'une intervention coûteuse ou considérée anormalement longue, d'obtenir une décomposition détaillée du temps comme suit :

2.4.4.1. Temps en maintenance corrective

Parmi les temps actifs de la maintenance corrective on trouve :

- Le temps de localisation de la défaillance.
- Le temps de diagnostic.
- Le temps de dépannage ou de réparation.
- Le temps de contrôle et d'essais finaux.

Parmi les temps annexes de la maintenance corrective on trouve :

- Les temps administratifs (temps de saisie, traitement de documents).

- Les temps logistiques ou durées d'attente des ressources nécessaires à l'exécution de la maintenance.
- Les temps techniques annexes (ex : phase de refroidissement d'un équipement).
- Les temps de préparation du travail (études, méthodes, ordonnancement)

2.4.4.2. Temps en maintenance préventive

- Temps logistiques.
- Temps de préparation.

2.5. Niveaux de maintenance

Les niveaux de la maintenance se définissent par rapport :

- À la nature de l'intervention
- À la qualification de l'intervenant
- Aux moyens mis en œuvre

Les interventions de maintenance peuvent être classées par ordre croissant de complexité (norme X60-000) [8].

2.5.1. Premier niveau de maintenance

Actions simples, nécessaires à l'exploitation et sont réalisées sur des éléments facilement accessibles en toute sécurité à l'aide des équipements de soutien intégrés au matériel. Ce type d'opération peut être effectué par l'utilisateur du matériel avec, le cas échéant, les équipements de soutien intégrés au matériel et à l'aide des instructions d'utilisation.

2.5.2. Deuxième niveau de maintenance

Actions qui nécessitent des procédures simples et des équipements de soutien (intégrés au matériel) d'utilisation ou de mise en œuvre simple. Ce type d'actions de maintenance est effectué par un personnel qualifié avec les procédures détaillées et les équipements de soutien définis dans les instructions de maintenance.

Le personnel est qualifié lorsqu'il a reçu une formation lui permettant de travailler en sécurité sur un matériel présentant certains risques potentiels, et reconnu apte pour l'exécution des travaux qui lui sont confiés, compte tenu de ses connaissances et de ses aptitudes.

2.5.3. Troisième niveau de maintenance

Opérations qui nécessitent des procédures complexes et des équipements de soutien portatifs, d'utilisation ou de mise en œuvre complexes. Ce type d'opération de maintenance

peut être effectué par un technicien qualifié, à l'aide de procédures détaillées et des équipements de soutien prévus dans les instructions de maintenance.

2.5.4. Quatrième niveau de maintenance

Opérations dont les procédures impliquent la maîtrise d'une technique ou technologie particulière et la mise en œuvre des équipements de soutien spécialisés. Ce type d'opération de maintenance est effectué par un technicien ou une équipe spécialisée à l'aide de toutes instructions de maintenance générales ou particulières.

2.5.5. Cinquième niveau de maintenance

Opérations dont les procédures impliquent un savoir-faire, faisant appel à des techniques ou technologies particulières, des processus et des équipements de soutien industriels. Par définition, ce type d'opérations de maintenance (rénovation, reconstruction, etc.) est effectué par le constructeur ou par un service ou une société spécialisée avec des équipements de soutien définis par le constructeur et donc proches de la fabrication du matériel concerné.

CHAPITRE 3 : ÉTUDE ET
ANALYSE DES LOIS DE LA
FIABILITÉ

CHAPITRE 3 : ÉTUDE ET ANALYSE DES LOIS DE LA FIABILITÉ**3.1. Plan de maintenance****3.1.1. Définition**

Selon la norme NF X 60-010, c'est « un document énonçant les modes opératoires, les ressources et la séquence des activités liées à la maintenance d'un matériel ».

Ce document est établi dans une phase d'analyse et de conception de la maintenance à effectuer sur un matériel. Il rentre totalement dans une démarche de préparation et constitue souvent le cœur du dossier de préparation. Le plan de maintenance doit permettre l'organisation de la maintenance du matériel et concourir à sa réalisation [10].

3.1.2. Objectifs

L'établissement du plan de maintenance permet d'atteindre les objectifs suivants :

- Garantir une continuité de service.
- Garantir un niveau de disponibilité connu à un coût global maîtrisé.
- Maintenir une qualité de service contractuelle.
- Prévenir les risques.

3.1.3. Conditions d'établissement

Connaitre ou disposer des éléments suivants:

- Taux d'engagement du matériel: temps d'ouverture, temps utile de production ...
- Objectifs de production: les plans de production, les performances des équipements concernés ...
- Produits fabriqués: interaction produit-machine, précautions d'usage (milieu alimentaire) ...
- L'historique machine: taux de défaillance, anomalies répétitives
- Standards: état de l'équipement (caractéristiques, valeurs standard ...
- Modes opératoires: Gammes de démontage, remontage, lubrification ...
- Ressources: compétences et disponibilités du personnel technique.

3.1.4. Contenu du plan de maintenance

- Les consignes de préparation du chantier: matériels, outillage, pièces de rechange, balisage, consignation...
- Echancier des opérations, basé sur un compteur horaire (réel ou total) ou sur les unités produites.
- Ressources allouées à chaque opération: nombre des personnes, temps ...

- Les consommables utilisés: types et quantités avec les fiches de sécurité si nécessaire.
- Les gammes comprenant le détail de chaque tâche, l'outillage utilisé, les côtes et les valeurs à respecter...
- Prévoir un compte rendu de l'intervention, renseignement de la GMAO ... laisser le chantier propre (surplus de graisse, traces ...) et rangé (restituer l'état initial).

3.2. Analyse de la mise en place d'un plan de maintenance

Elaborer un plan de maintenance, c'est lister et décrire toutes les opérations de maintenance qui devront être effectuées sur chacun des organes d'un équipement. La réflexion sur l'affectation des opérations de maintenance se fait en balayant chacun de ces organes et en tenant compte de son utilisation, de sa technologie, de son risque de défaillance et de son impact sur la production et sur la sécurité (humaine, produit fini et matérielle). L'affectation des opérations de visite ou de contrôle a donc pour objet la détection des dysfonctionnements pouvant intervenir sur chacun des organes d'un équipement, et les effets que ces dysfonctionnements pourraient induire.

3.2.1. Etats de l'art d'un équipement

Dans le monde industriel actuel, la course à la rentabilité ne permet pas de faire l'impasse sur la recherche d'une plus grande efficacité d'exploitation des équipements. La mise en place d'un plan de maintenance préventive permet d'optimiser les opérations de maintenance et surtout de les effectuer au bon moment. L'objectif étant d'améliorer le taux de disponibilité des équipements et ainsi d'augmenter la productivité de l'entreprise. Un tel plan vise à réduire les coûts des pannes mais aussi ceux de la maintenance. En effet, la plupart des réparations et des immobilisations coûteuses peuvent être réduites ou évitées par un entretien constant et préventif.

La disponibilité est définie comme « l'aptitude d'un dispositif, sous les aspects combinés de sa fiabilité, de sa maintenabilité et de la logistique de maintenance, à remplir ou à être en état de remplir une fonction à un instant donné ou dans un intervalle de temps donné» (Norme Française NF EN 13306 X 60-319) . Cette définition comporte trois parties importantes :

- Les aspects combinés de sa fiabilité, de sa maintenabilité et de la logistique de maintenance.

3.2.2. Fiabilité et maintenance des équipements industriels

3.2.2.1 Définition

Selon la norme « X05-501 », la fiabilité est l'aptitude d'un dispositif à accomplir une fonction requise, dans des conditions données d'utilisation et de maintenance, pendant une durée donnée. Les activités de maintenance sont donc étroitement liées aux caractéristiques de la « fiabilité » des équipements et des produits.

On dit d'un système, d'un équipement ou d'un produit qu'il est fiable lorsque la probabilité pour accomplir ses fonctions prévues sur une durée donnée correspond à celle spécifiée au cahier des charges. La fiabilité d'un système, d'un équipement ou d'un produit caractérise son aptitude à fonctionner sans défaillance. C'est une composante de la qualité qui fait intervenir le temps. Elle ne peut être vérifiée avec certitude à la réception [11].

3.2.2.2 Principales caractéristiques de la fiabilité

a) 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 :

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

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

$F(t)$ 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, ...

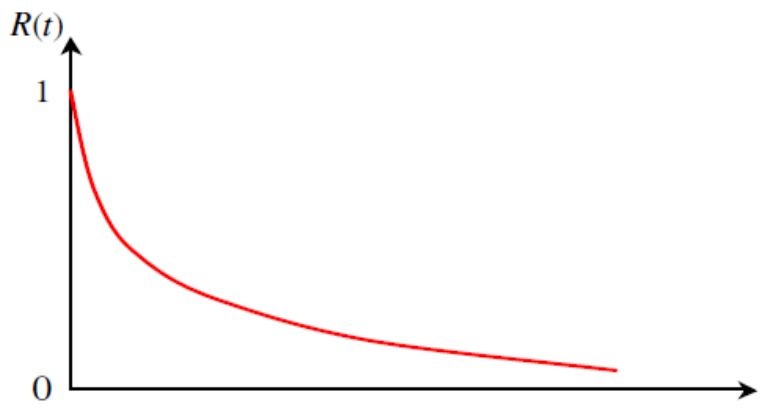


Figure 3.1. Fonction de fiabilité [11].

La caractéristique contraire de la fiabilité est appelée probabilité de défaillance du système. Elle est le complément à 1 de la fiabilité.

b) Taux de défaillance instantané

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

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

Physiquement le terme $\lambda(t)$, 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:

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

Sa connaissance suffit à déterminer la fiabilité, grâce à la formule suivante :

$$R(t) = \exp \left\{ - \int_0^t \lambda(s) \cdot ds \right\} \quad (3.4)$$

c) Temps moyen de bon fonctionnement

Le temps moyen de bon fonctionnement (défaillance ou de panne) correspond à l'espérance de la durée de vie T , on le note MTTF (en anglais Mean Time To Failure):

$$MTTF = E[T] = \int_0^{+\infty} t \cdot f(t) dt = \int_0^{+\infty} R(u) du \quad (3.5)$$

Par définition le MTTF est la durée de vie moyenne du système.

3.2.3. Principales lois de probabilité, utilisées en fiabilité

3.2.3.1. 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. La densité de probabilité d'une loi exponentielle s'écrit:

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

La fonction de fiabilité :

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

Le taux de défaillance est constant dans le temps :

$$\lambda(t) = \lambda \quad (3.8)$$

a) Propriétés sans mémoire de la loi exponentielle :

Une propriété principale de la loi exponentielle est d'être sans mémoire ou "Memoryless property" en anglais ([Bon, 1995], [Leemis, 1994]) :

$$P(T \geq t + \Delta t | T \geq t) = \frac{e^{-\lambda \cdot (t + \Delta t)}}{e^{-\lambda t}} = e^{-\lambda \cdot \Delta t} = P(T \geq \Delta t) \quad t > 0, \Delta, > 0 \quad (3.9)$$

Comme l'indique la figure 3.2, ce résultat montre que la loi conditionnelle de la durée de vie d'un dispositif qui a fonctionné sans tomber en panne jusqu'à l'instant t est identique à la loi de la durée de vie d'un nouveau dispositif. Ceci signifie qu'à l'instant t , le dispositif est considéré comme neuf (ou « as good as new » en anglais), de durée de vie exponentielle de paramètre λ .

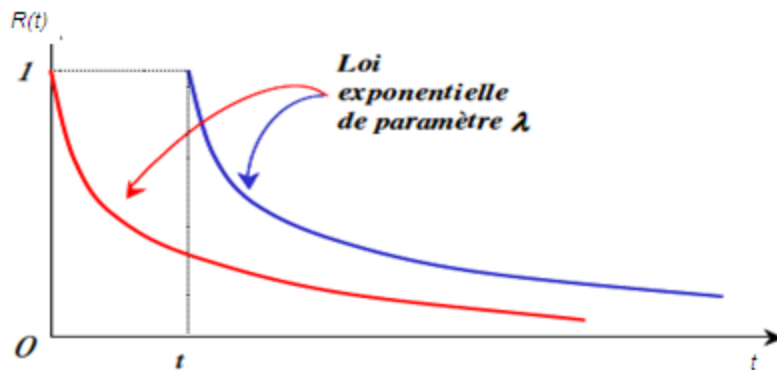


Figure 3.2. Loi exponentielle [11].

3.2.3.2. Loi normale

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 représenter la distribution des durées de vie des dispositifs en fin de vie (usure) car le taux de défaillance est toujours croissant. On ne l'utilisera que si la moyenne des durées de vie est supérieur à 3 fois l'écart type. En effet, t est toujours positif, alors que la variable normale est définie de $-\infty$ à $+\infty$, la restriction imposée réduit la probabilité théorique de trouver une durée de vie négative à environ 0.1 %.

La densité de probabilité d'une loi normale de moyenne μ et d'écart-type σ 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 ($\sigma=1$):

$$\phi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t e^{-\frac{u^2}{2}} du \quad (3.11)$$

3.2.3.3. Loi de Weibull

C'est la plus populaire des lois, elle est utilisée dans plusieurs domaines (aviation, électronique, mécanique,...etc.). Elle permet de modéliser, en particulier, de nombreuses situations d'usure du matériel. Elle caractérise le comportement du système dans les trois phases de sa 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 : β , η et γ . La densité de probabilité d'une loi de Weibull a pour expression :

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

Où : β est le paramètre de forme ($\beta > 0$).

Si :

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

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

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

La fonction de fiabilité s'écrit:

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

Le taux de défaillance est donnée par:

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

3.2.4. Spécificité de la fiabilité

3.2.4.1. Différentes phases du cycle de vie d'un équipement

L'évolution du taux de défaillance d'un produit pendant toute sa durée de vie est caractérisée par, ce qu'on appelle en analyse de fiabilité, la courbe en baignoire, (figure 3.3) Le taux de défaillance est élevé au début de la vie du dispositif. Ensuite, il diminue assez rapidement avec le temps (taux de défaillance décroissant), cette phase de vie est appelée période de jeunesse. Après, il se stabilise à une valeur qu'on souhaite aussi basse que possible pendant une période appelée période de vie utile (taux de défaillance constant). A la fin, il remonte lorsque l'usure et le vieillissement font leurs effets, c'est la période de vieillissement (taux de défaillance croissant) [12]:

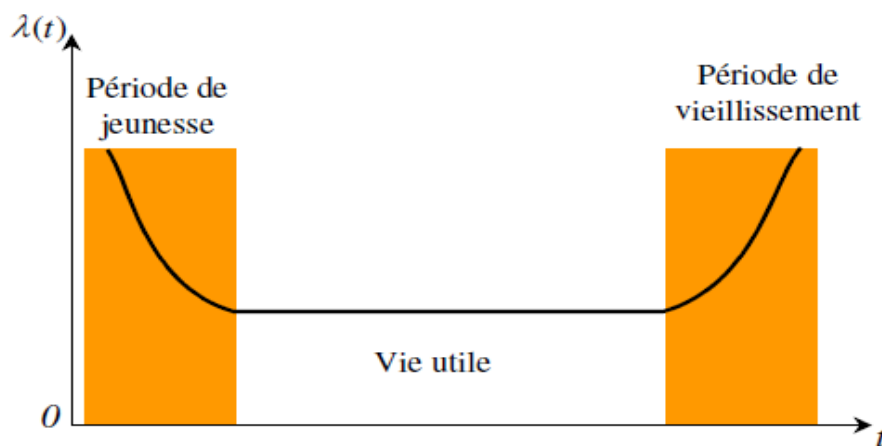


Figure 3.3. Évolution du taux de défaillance (courbe baignoire) [12].

➤ Phase 1

La première phase définit la période de jeunesse, caractérisée par une décroissance rapide du taux de défaillance. Pour un composant cette décroissance s'explique par l'élimination progressive de défauts dus aux processus de conception ou de fabrication mal maîtrisés ou à un lot de composants mauvais. Cette période peut être minimisée pour les composants développés. En effet, les fabricants des composants se sont engagés à vérifier la qualité de leurs produits en sortie de fabrication.

➤ **Phase 2**

La deuxième phase définit la période de vie utile généralement très longue. Le taux de défaillance est approximativement constant. Le choix de la loi exponentielle, dont la propriété principale est d'être sans mémoire, est tout à fait satisfaisant. Les pannes sont dites aléatoires, leur apparition n'est pas liée à l'âge du composant mais à d'autres mécanismes d'endommagement. Les calculs prévisionnels de fiabilité se font presque souvent dans cette période de vie utile.

➤ **Phase 3**

La dernière phase est la période de vieillissement, elle est caractérisée par une augmentation progressive du taux de défaillance avec l'âge du dispositif. Ceci est expliqué par des phénomènes de vieillissement tels que l'usure, la corrosion, l'érosion, etc. Cette période est très nettement au-delà de la durée de vie réelle d'un composant. Parfois, on réalise des tests de vieillissement accélérés pour révéler les différents modes de défaillance des composants. Les composants mécaniques sont soumis, dès le début de leur vie, au phénomène d'usure ou de vieillissement. Si on trace la courbe du taux de défaillance, en fonction du temps, on obtient une courbe qui ne présente pas le plateau de la figure 3.3; la période de vie utile (taux de défaillance constant) n'existe pas ou elle est réduite. Le taux de défaillance du dispositif est une fonction non linéaire du temps et ceci dans chaque phase de sa vie.

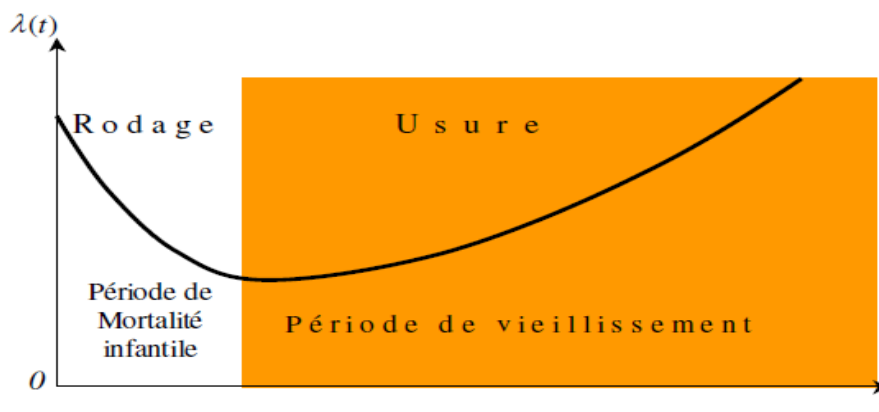


Figure 3.4. Courbe du taux de défaillance en mécanique [12].

- La première phase définit la période de *mortalité infantile*. C'est une durée de vie en principe très courte. Elle est décrite par une décroissance progressive du taux de défaillance avec le temps dû à une amélioration des caractéristiques internes (caractéristiques de défauts) et des interfaces, par un rodage préalable

des pièces. Par conséquent il n'est pas souhaitable de tester les composants mécaniques dans cette période de leur vie.

- La dernière phase définit la période de vieillissement qui compose la majorité de la vie du dispositif. Elle est caractérisée par une augmentation progressive du taux de défaillance. Les pièces mécaniques sont soumises à des phénomènes de vieillissement multiples qui peuvent agir en combinaison: fatigue, usure, déformation, corrosion, etc.

**CHAPITRE 4 : ANALYSE DE LA
FIABILITÉ DES ÉQUIPEMENTS AU
NIVEAU DE L'ATELIER « BROYAGE
CRU »**

CHAPITRE 4 : ANALYSE DE LA FIABILITÉ DES ÉQUIPEMENTS AU NIVEAU DE L'ATELIER « BROYAGE CRU »

4.1. Introduction

Pour optimiser les coûts et le bon fonctionnement des équipements dans le complexe, de nombreuses méthodes sont mises en application. A chacune d'elle, correspond une analyse précise à travers laquelle on recherche un résultat pour mieux interpréter une situation et prendre les décisions appropriées pour l'améliorer si nécessaire. Ce chapitre représente quatre principales méthodes. Dans la première partie on utilise le « diagramme de PARETO » qui permet de visualiser l'importance des différentes parties de l'atelier de broyage cru, analysé et chiffré sous la forme d'un classement. Ensuite, on va exploiter la méthode « AMDEC » qui est tenu de maîtriser l'équipement et de mettre à jour et s'assurer de la validité de toutes les informations utiles à l'étude. Dans la troisième partie on va étudié la loi qui a l'avantage d'être très souple et permette de s'ajuster à différentes situations, c'est la loi de « Weibull » qui contient trois paramètres. En dernier lieu, on exploite l'abaque de Noiret qui aide a prendre une décision sur le choix du type de maintenance.

4.2. Descriptions de la méthode de PARETO

4.2.1. Définition

Le diagramme de Pareto est un outil graphique d'analyse permettant de mettre en évidence les causes principales d'occurrences d'un phénomène. On a pour habitude de dire que 20% des causes entraînent 80% des effets, mais ces pourcentages ne sont qu'un ordre de grandeur, ils illustrent le fait que, dans la plupart des cas, un petit nombre de causes entraînent la majorité des conséquences. Dans le cas de causes de défaillances, il faut s'attacher à éliminer en priorité les 20% de causes qui entraînent 80% des défaillances. Cette règle s'applique aussi aux coûts: les 20% des causes restant à éliminer nécessiteront 80% des efforts humains, financiers, etc.. Cet outil va permettre d'améliorer la maintenance en ciblant les causes les plus critiques qui vont nécessiter une plus grande attention tant en matière de surveillance que d'action.

4.2.2. Objectif d'utilisation

Le diagramme de Pareto est un moyen simple pour classer les phénomènes. Ce diagramme et son utilisation sont aussi connus sous le nom de la « Règle des 20/80 » Ou «Méthode de ABC ».

Les objectifs sont :

- Faire apparaître les causes essentielles d'un phénomène.
- Hiérarchiser les causes d'un phénomène.
- Evaluer les effets d'une solution.
- Mieux cibler les actions à mettre en œuvre.

4.2.3. Mise en place du diagramme de PARETO

La cimenterie de BENI-SAF contient six ateliers on va les présenter sur la figure 4.1 :

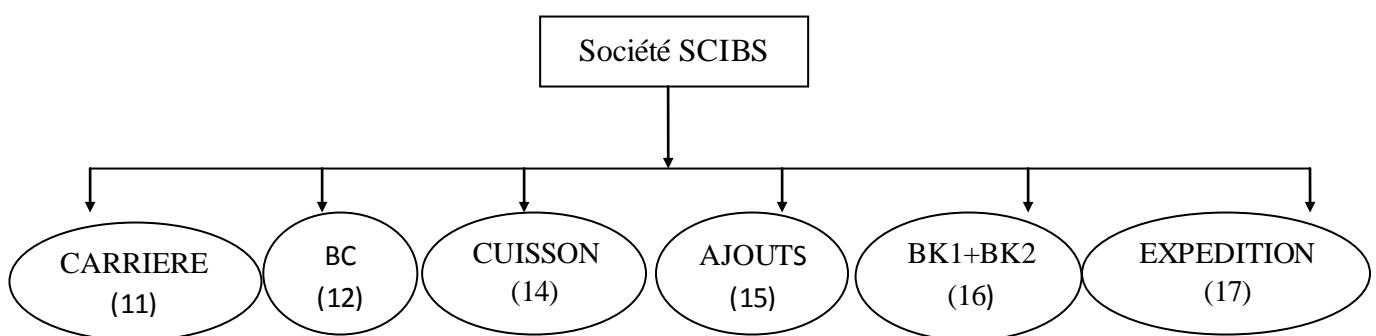


Figure 4.1. Découpages des ateliers [3].

4.2.4. Construction du diagramme de Pareto

Dans notre étude le nombre des ateliers analysés est égal à six. On construit un tableau dans lequel les ateliers sont classés par ordre décroissant du nombre de pannes et la durée d'intervention. D'après les historiques des interventions prélevées de la base de données GMAO, nous avons deux histogrammes :

- 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).

4.2.4.1. 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) « 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 4.1.

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

Tableau 4.1. Tableau de classement des ateliers par coût indirect.

Zone	Fréquence N	Durée d'intervention T	N x T	N x T %	Cumulé (%)
Expédition	153	4539:50:00	694594	44,58%	44,58%
Broyeur cru (12)	267	2007:08:00	535904	34,40%	78,98%
Broyeur Ciment	66	1952:36:00	128871	8,27%	87,25%
PRESSE A ROULEAUX (12-1)	33	2837:37:00	93641	6,01%	93,26%
CARRIERE (11)	65	866:55:00	56349	3,62%	96,88%
CUISSON (14)	146	333:05:00	48630	3,12%	100,00%
			1557991		

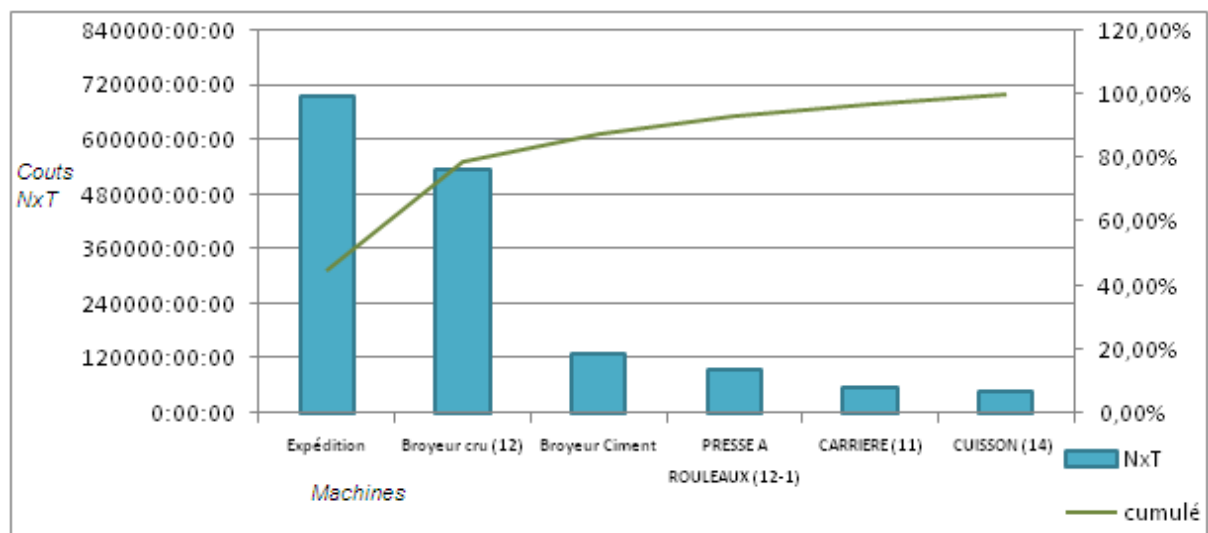


Figure 4.2. Diagramme de Pareto des coûts indirects (l'indisponibilité des ateliers).

Interprétation

Dans le cas des coûts indirects le diagramme PARETO montre que les ateliers suivants : broyage du cru, broyage clinker1 sont responsables de 80% de l'indisponibilité des équipements.

4.2.4.1. 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 4.2.

Tableau 4.2. Tableau de classement des ateliers par coût direct.

Zone	Total OT million DA	Fréquence %	Cumul %
EXPEDITIONS (17)	132,675	40%	40%
CUISSON (14)	118,059	36%	76%
BC (12)	56,388	17%	92%
CARRIERE (11)	10,846	3%	96%
PRESSE A ROULEAUX (12-1)	7,512	2%	98%
AJOUTS (15)	3,271	1%	99%
BK1 (16-1)	1,788	1%	100%
BK2 (16-2)	1,512	0%	100%
	332,051		

On trace le diagramme de Pareto illustré dans Figure 4.3 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.

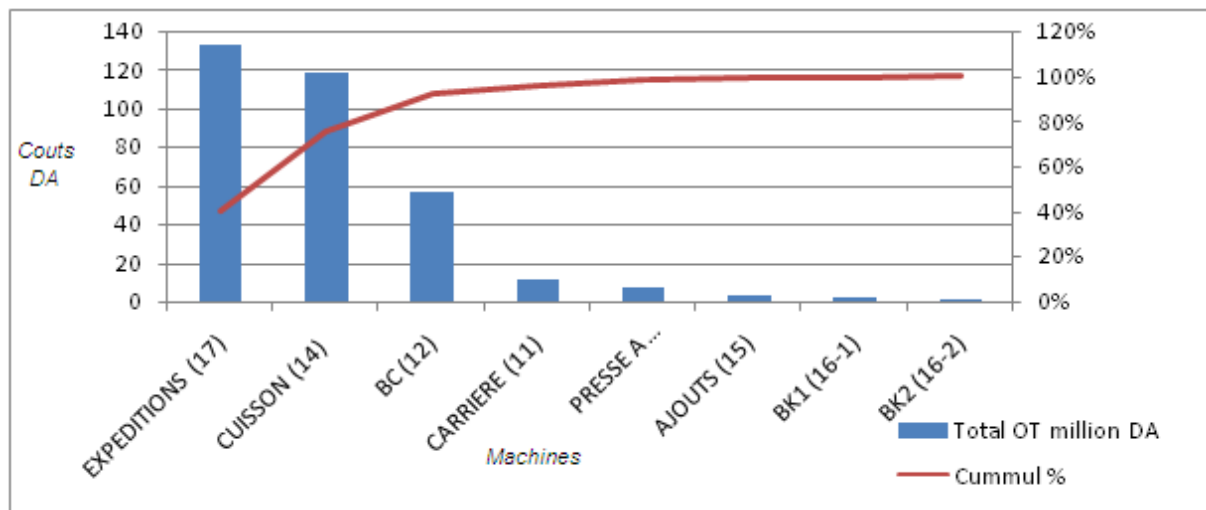


Figure 4.3. Diagramme de Pareto des coûts directs des ateliers.

Interprétation

Dans le cas des coûts directs le diagramme PARETO montre que les ateliers suivants : atelier d'expédition et atelier cuisson sont responsables de 80% des coûts total, mais vue que

la production s'arrête au niveau d'atelier de broyage ciment donc on peut négliger l'atelier d'expédition, on peut dire c'est un atelier indépendant.

4.3. Sélection de l'équipement critique

4.3.1. Découpage de l'atelier broyage cru

Le découpage de l'entreprise sera suivi par un second qui permet de descendre au niveau de l'organe critique. Le tableau 4.3 représente le découpage de l'atelier broyage cru.

Tableau 4.3. Découpage de l'atelier de broyage cru.

Description Equipement
BROYEUR CRU
PRESSE A ROULEAUX
CONCASSEUR PRESSE A ROULEAUX
TRANSPORTEUR
STATION DE GRAISSAGE WOERNER COURONNE BC
PONT GRATTEUR (AUMUND)
TRANSPORTEUR
GRAISSAGE COURONNE BC
SEPARATEUR STATIQUE LS78
STATION DE LUBRIFICATION CENTRALISE CHAINE
VENTILATEUR DE CIRCULATION D'AIR (1200 KW)
TREMIE MELANGE BC
TRANSPORTEUR RECUPERATION MATIERE SOUS 12P007
STATION DE GRAISSAGE WOERNER PALIER PORTEUR 2 A COUSSINET BC
SEPARATEUR DYNAMIQUE
REDUCTEUR PRESSE A ROULEAUX FIXE
VIS DE RECUPERATION
TURBO-BRULEUR N2
ELEVATEUR COTE CHATEAU
TURBO-BRULEUR N1

4.3.2. Construction du diagramme de Pareto (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 4.4 dans lequel les données des équipements sont classées par ordre décroissant.

Tableau 4.4. Classement des équipements de l'atelier broyage cru.

Description Equipement	Total OT million DA	Fréquence %	Cumul %
BROYEUR CRU	25 611 683,04	42,540%	42,540%
PRESSE A ROULEAUX	4 487 716,43	7,454%	49,994%
CONCASSEUR PRESSE A ROULEAUX	4 157 009,58	6,905%	56,899%
TRANSPORTEUR	4 127 643,28	6,856%	63,755%
STATION DE GRAISSAGE WOERNER COURONNE BC	3 620 087,31	6,013%	69,768%
PONT GRATTEUR (AUMUND)	1 814 563,47	3,014%	72,782%
TRANSPORTEUR	1 781 733,25	2,959%	75,741%
GRAISSAGE COURONNE BC	1 242 945,38	2,064%	77,805%
SEPARATEUR STATIQUE LS78	1 237 684,55	2,056%	79,861%
STATION DE LUBRIFICATION CENTRALISE CHAINE	1 192 336,61	1,980%	81,842%
VENTILATEUR DE CIRCULATION D'AIR (1200 KW)	1 155 918,50	1,920%	83,762%
TREMIE MELANGE BC	856 274,09	1,422%	85,184%
TRANSPORTEUR RECUPERATION MATIERE SOUS 12P007	836 577,90	1,390%	86,573%
STATION DE GRAISSAGE WOERNER PALIER PORTEUR 2 A COUSSINET BC	812 618,09	1,350%	87,923%
SEPARATEUR DYNAMIQUE	761 913,29	1,266%	89,189%
REDUCTEUR PRESSE A ROULEAUX FIXE	727 589,14	1,209%	90,397%
VIS DE RECUPERATION	660 130,15	1,096%	91,494%
TURBO-BRULEUR N2	490 241,02	0,814%	92,308%
ELEVATEUR COTE CHATEAU	445 474,17	0,740%	93,048%
TURBO-BRULEUR N1	447 521,41	0,743%	93,791%

On trace le diagramme de Pareto illustré dans Figure 4.4 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.

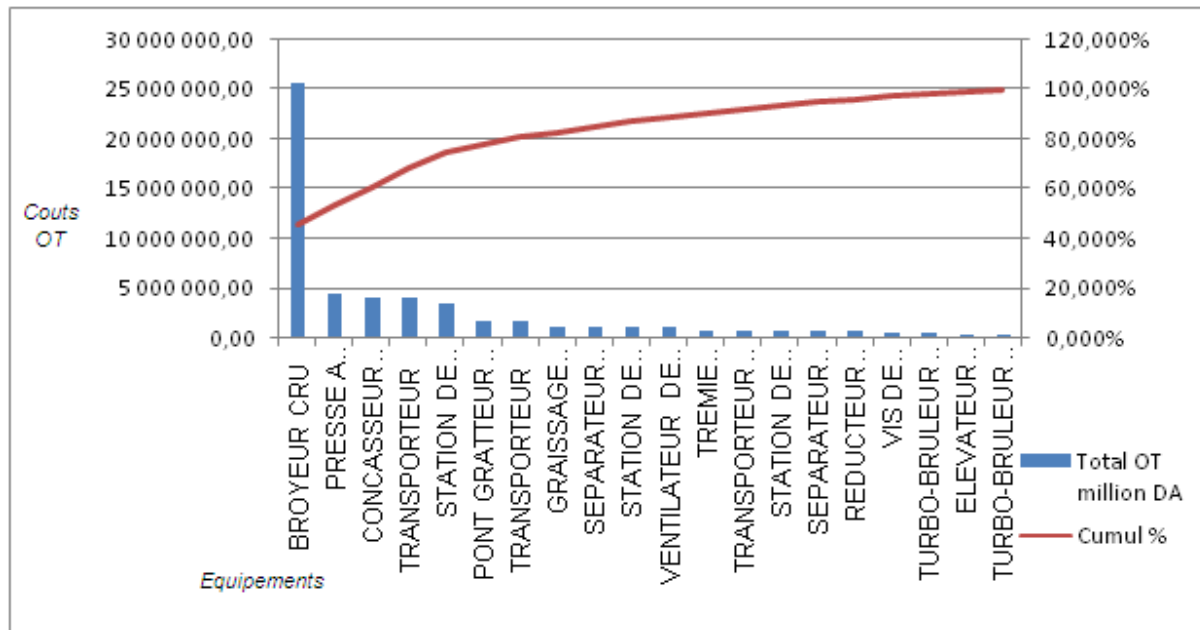


Figure 4.4. Diagramme de Pareto des équipements de l'atelier broyage cru.

Interprétation : Le diagramme montre que les équipements Broyeur cru, Presse à rouleaux, concasseur rouleaux et le pont gratteur sont responsables de 80% de l'indisponibilité, ce qui rendra prioritaire les actions de maintenance envers ces équipements sensible. Pour cela on utilise la méthode développée en analyse de fiabilité et qui est connue sous le nom « AMDEC ». C'est 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 [18].

4.4. Sélection des organes critiques

4.4.1. Description du broyeur cru

Le broyage du cru est réalisé à un débit de 270 t/h dans un broyeur à sortie centrale de 5 m de diamètre et de 13,9 m de longueur, avec un compartiment de séchage et deux compartiments de broyage. L'entraînement est assuré par 2 moteurs de 1 650 Kw. La sélection granulométrique est réalisée au moyen d'un séparateur statique de 7,5 m et d'un séparateur dynamique de 7,2 m alimenté par deux élévateurs pouvant assurer chacun 60% du débit. Le séchage est assuré par les gaz de four à 320 – 330 °C en période normale pour une humidité de 5,5 %, pour une humidité du > 5,5 % un appoint du foyer auxiliaire devient nécessaire. Les gaz de four excédentaires sont refroidis et humidifiés dans une tour de conditionnement en vue de leur épuration par filtre électrostatique. Le dépoussiérage des gaz est assuré par deux électro filtres à deux champs [15].

4.4.2. Caractéristiques du broyeur cru

- Diamètre intérieur virole : 5 000 mm.
- Nombre de compartiment : 03 chambres de séchage + 2 compartiments.
- Longueur chambre de séchage : 3 400 mm.
- Longueur premier compartiment : 3 750 mm.
- Longueur deuxième compartiment : 4 750 mm.
- Charge de corps broyant 1^{er} chambre : 89 tonnes à 28%.
- Charge de corps broyant 2^{ème} chambre : 112 tonnes à 28%.
- Puissance installée : deux moteurs de 1 650 KW chacun.
- Vitesse de rotation : 14,2 tr/mn.

4.4.3. 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 4.3, Il est décomposé en quatre sous ensembles.

Tableau 4.5. Décomposition fonctionnelle du Broyeur Cru.

Broyeur cru			
Couronnes et pignon d'attaques	Tube broyeur	Palier porteurs	Groupes de commandes
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Couronne ✓ Pignon d'attaque ✓ Coussinets des paliers Walfer. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cloison de sortie ✓ Cloison intermédiaire ✓ Boulonne de fixation au niveau de virole ✓ Joint central ✓ Corps broyeur ✓ Equipement de blindage. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Paliers à patins ✓ Palier à coussinet ✓ Groupes de lubrification. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Moteur principal ✓ Moteur de virage ✓ Accouplements FLEXACIER ✓ Réducteur principal ✓ Coupleur hydraulique ✓ Frein électromagnétique ✓ Réducteur de virage ✓ Arbre de commande ✓ Dispositif d'encliquetage ✓ Dispositif anti dériveur

4.5. Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC)

Dans le cas d'organes spécifiques et mal connus, une analyse de type AMDEC peut s'avérer nécessaire. La réalisation d'une AMDEC permet de considérer les causes réelles de défaillance ayant pour conséquence l'altération de la performance du dispositif de production. Cette altération de performance se mesure par une disponibilité faible du moyen de production. Il s'agit d'une analyse critique qui se déroule en six étapes. Cette analyse a pour objectif d'identifier de façon inductive et systématique les risques de dysfonctionnement des machines, puis à en rechercher les origines et leurs conséquences [13].

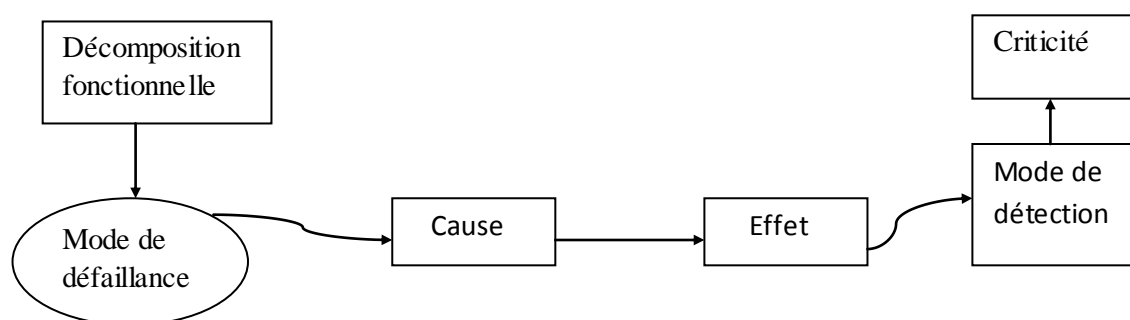


Figure 4.5. Etapes d'une analyse de type AMDEC

4.5.1. Décomposition fonctionnelle

Il s'agit d'identifier clairement les éléments à étudier et les fonctions à assurer. C'est une étape indispensable car il est nécessaire de bien connaître les fonctions de la machine pour en analyser ensuite les risques de dysfonctionnement.

4.5.2. Modes de défaillance

Un mode de défaillance est la manière par laquelle un dispositif peut venir à être défaillant, c'est-à-dire à ne plus remplir sa fonction. Ceci peut intervenir de quatre manières différentes :

- Plus de fonction : la fonction cesse de se réaliser.
- Pas de fonction : la fonction ne se réalise pas lorsqu'on la sollicite.
- Fonction dégradée : la fonction ne se réalise pas parfaitement : altération des performances.
- Fonction intempestive: la fonction se réalise alors qu'elle n'est pas sollicitée.

4.5.3. Causes de défaillance

Une cause de défaillance est l'événement initial pouvant conduire à la défaillance d'un dispositif par l'intermédiaire de son mode de défaillance [17].

Il existe trois types de causes conduisant à une défaillance :

- Causes internes au matériel.
- Causes externes dues à l'environnement, au milieu, à l'exploitation.
- Causes externes dues à la main d'œuvre [17].

4.5.4. Effet de la défaillance

L'effet d'une défaillance est, par définition, la conséquence subie par l'utilisateur. Il est associé au couple mode-cause de la défaillance et correspond à la perception finale de celle-ci. Exemple: arrêt de production, détérioration d'équipement, pollution, etc [17].

Tableau 4.6. Facteurs d'évaluation de la criticité [17].

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 intervention mineure.	4	Catastrophique : défaillance provoquant un arrêt impliquant des problèmes majeurs.
Fréquence d'occurrence 0: Probabilité d'apparition d'une cause ou d'une défaillance.			
1	Exceptionnelle : la possibilité d'une 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.
Non-détection D : Probabilité de la non-perception de l'existence d'une cause ou d'une défaillance			
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 n'est pas décelable ou encore sa localisation nécessite une expertise approfondie.

4.5.5. Mode de détection

Le mode de détection est la manière par laquelle un utilisateur est susceptible de détecter la présence d'une défaillance.

Exemple : détection visuelle, élévation de température, odeurs, bruits, ...

4.5.6. Criticité

La criticité est une évaluation quantitative du risque constitué par l'analyse du scénario mode cause-effet-détection de défaillance. La criticité est alors évaluée à partir de la combinaison de trois facteurs (tableau 4.5 et 4.6):

- La gravité de l'effet.
- La fréquence d'apparition du couple mode-cause.
- La possibilité d'utiliser des signes de détection.

L'indice de criticité, qui vise à évaluer le niveau de risque associé à la fonctionnalité d'un équipement permet de décider l'action à entreprendre (tableau 6). Cet indice est déterminée par:

(C) : Indice de criticité (G) : =Indice de Gravité ; (O) : Indice de fréquence d'Occurrence ; (D) : Indice de non Détection

Tableau 4.7. Echelle de criticité ($C=G \times O \times D$).

Criticité (C)	Action à entreprendre
$C < 16$	Ne pas tenir compte
$16 \leq C < 32$	Mise sous préventif à fréquence faible
$32 \leq C < 36$	Mise sous préventif à fréquence élevée
$36 \leq C < 48$	Recherche d'amélioration
$48 \leq C$	Reprendre la conception

Tableau 4.8. Matrice de défaillance.

Echelle d'occurrence		Probable < 1 an	Possible < 3 ans	Quasi impossible > 3 ans
Classe de gravité		A	B	C
Très critique (arrêt de production)				
Critique (ralentissement ou risque d'arrêt dans quelques jours)				
Sans influence (la dégradation ne peut avoir une influence qu'à moyen terme)				

Pour bâtir un plan de maintenance préventive, l'utilisation d'une matrice de défaillance simplifiée, à deux indices (Tableau 4.8), peut être suffisante :

- Préventif de fréquence élevée pour A 1, A2, A3, B 1, B2 et C 1.
- Préventif de fréquence faible ou pas de préventif pour B3 et C2.
- Pas de préventif pour C3.

4.5.7. 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 [18].

Tableau 4.9. Grille de cotation.

Niveau de cotation	1	2	3	4
FRÉQUENCE	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
NON DÉTECTION	Signes avant-coureurs	Peu de signes	Aucun signe	une expertise approfondie nécessaire
GRAVITE	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 $D > 6h$

4.6. Application au broyeur 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 4.10. Analyse de la couronne et des pignons d'attaque.

Ensemble : Broyeur								
Sous ensemble : couronnes et pignon d'attaque								
Matériels			Caractéristique de la défaillance		Criticités			
Elément	Fonction	Défaillance	Cause	Effet sur le système	F	G	D	C
couronne	Permet tourné la virole	Usure Cassure des dents	Frottement ; manque de graissage choc	Arrêt de production	1	4	4	16
pignon	L'entraînement de la couronne	Usure Cassure des dents	Frottement manque de graissage choc	Arrêt de production	1	4	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	2	3	3	18
G=Gravité ; F=Occurrence ou Fréquence ; D=Détection ; C=Criticité								

Tableau 4.11. Analyse du Paliers porteurs.

Ensemble : Broyeur								
Sous ensemble : palier porteur								
Matériels			Caractéristique de la défaillance		Criticités			
Elément	Fonction	Défaillance	Cause	Effet sur le système	F	G	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	3	3	4	36
Palier à coussin et	Guider la virole en rotation	Usure	Manque d'étanchéité mauvais de montage absence de lubrification	Bruit vibration rotation difficile de la virole déformation de la virole	2	4	4	32
Groupe de lubrification	Lubrification des paliers	Revêtement colmatage	Manque d'étanchéité usure	température élevée de palier usure rapide	2	3	2	12
G=Gravité ; F=Occurrence ou Fréquence ; D=Détection ; C=Criticité								

Tableau 4.12. Analyse du tube broyeur.

Ensemble : Broyeur								
Sous ensemble : Tube broyeur								
Matériels			Caractéristique de la défaillance		Criticités			
Elément	Fonction	Défaillance	Cause	Effet sur le système	F	G	D	C
Corps broyant (boulets)	Broyé la matière	Usure ; Cassure ; Corrosion	Frottement Impact Abrasive des composants d'alimentation	Diminution la broyabilité de matière Arrêt de production	2	3	3	18
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 broyant ou/et la matière ; qualité matériau ;	Diminution la broyabilité de matière diminution la production Arrêt de production	4	2	3	24
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	2	4	4	32
boulonneries de fixation des plaques et les cloisons	Fixation des plaques et les cloisons sur la virole	cisaillement fissuration déformation corrosion	Surcharge de corps broyant ou/et la matière ; choc qualité matériau ; cassure des plaques	Fuit Arrêt de production	2	2	4	16
Cloison intermédiaire	Contrôle le flux de la matière à partir la chambre de séchage vers la lère chambre	Fissuration de squelette Usure des plaques corrosion	Qualité matériau Surcharge de corps broyant ou/et la matière ; choc ; frottement	Fuit ; Arrêt de production diminution de production	2	4	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	2	4	4	32

Tableau 4.13. Analyse du groupe de commande.

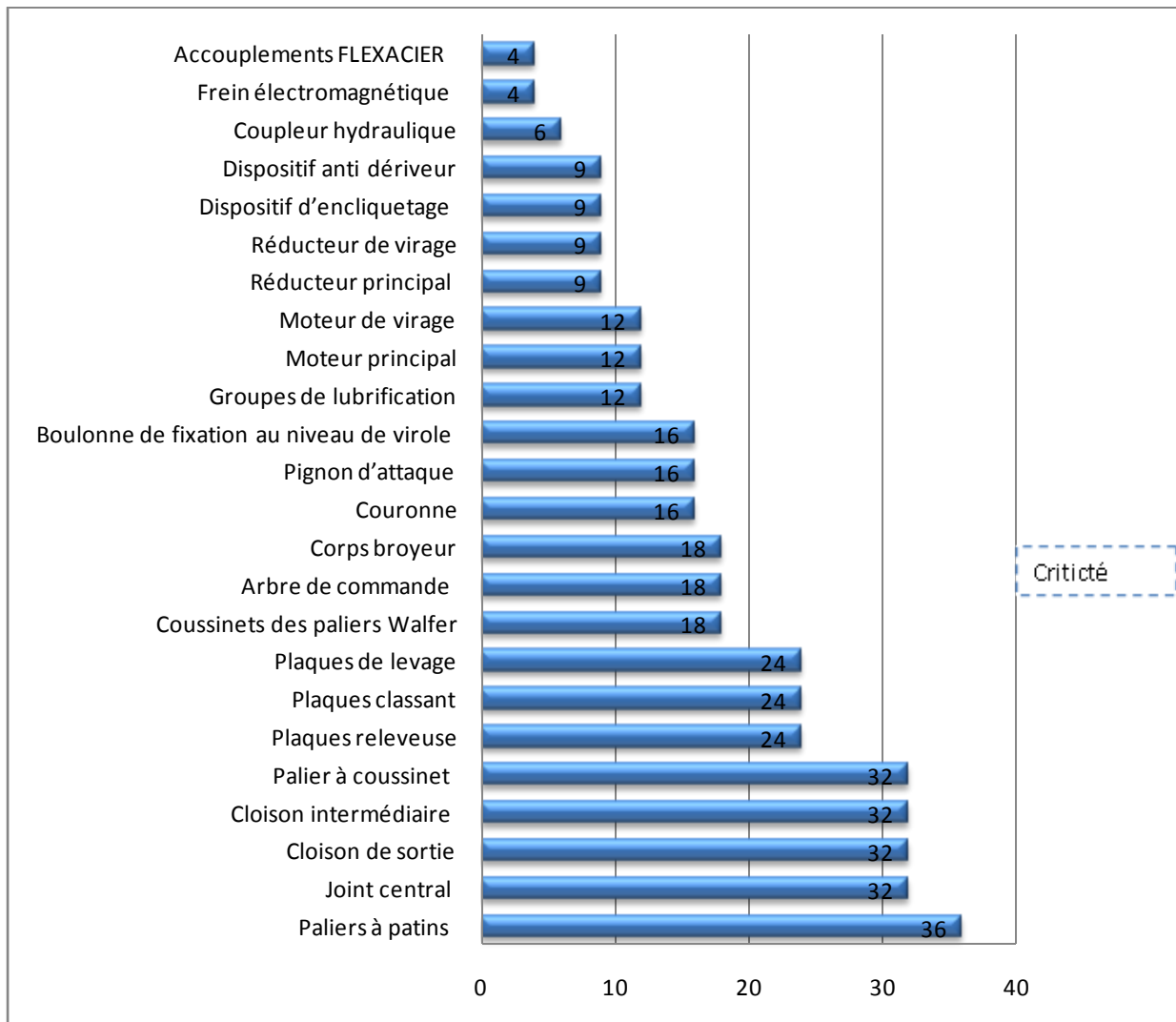
Ensemble : Broyeur								
Sous ensemble : Groupe de commande								
Matériels		Caractéristique de la défaillance			Criticités			
Élément	Fonction	Défaillance	Cause	Effet sur le système				
Moteur principal	Entrainement pour des vitesses important	Usure des charbons; revêtement ; électrique	Basse ou haute tension ; Charge excessive ; Rotor défectueux ; Isolement endommagé	Arrêt de production	2	2	3	12
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	1	4	3	12
Coupleur hydraulique	Transmettre le couple moteur	Usure ; Fuit	Frottement ; manque d'étanchéité	Transmission difficile ; Arrêt de production	1	3	2	6
Réducteur principal	Augment le couple moteur en réduire la vitesse	Jeu de roulements ; Usure des dentures ; Cassure ; revêtement	grippage des roulements ; manque d'étanchéité ; Mauvaise lubrification ; Choc	Bruit ; Transmission difficile ; Arrêt de production	1	3	3	9
Réducteur de virage	Augment le couple moteur en réduire la vitesse	Jeu de roulements ; Usure des dentures ; Cassure ;	manque d'étanchéité ; Mauvaise lubrification ; Choc	Bruit ; Transmission difficile	1	3	3	9

		revêtement						
Accouplement FLEXACIER	Transmettre le couple moteur et jouer un rôle de limiteur de couple pour raison de sécurité	Faiblesse des ressorts ; Cassure	Fatigue ; un couple excessif	Risque d'un arrêt de production	1	2	2	4
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	2	3	3	18
Électrofrein	Freinage de système	Usure	Usure des disques frein	Pas d'arrêt d'urgence	1	2	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	1	3	3	9
Dispositif anti-dériveur	Permet la limitation de la vitesse de l'arbre	Usure ; Faiblesse des ressorts	Frottement élevée ; Fatigue	Pas transmission	1	3	3	9
G=Gravité ; F=Occurrence ou Fréquence ; D=Détection ; C=Criticité								

4.6.1. 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 4.1.



Histogramme 4.1 Classement des résultats de criticité.

Selon l'histogramme nous pouvons dire que la moitié des organes qui ont une criticité importante sont localisés au niveau de l'intérieur du tube broyeur, également le palier d'entrée a une criticité le plus élevée.

4.7. Abaque de NOIRET

L'abaque de NOIRET permet de comprendre l'utilisation de l'abaque de Noiret qui est un outil d'aide à la décision. Il fournit des recommandations quant à la pertinence ou non d'une politique de maintenance préventive sur un équipement de production.

4.7.1. Politiques de maintenance

Il existe principalement deux politiques de maintenance [21] :

4.7.1.1. Maintenance corrective

L'action de maintenance se fait à posteriori, quand une panne se produit sur l'équipement. L'équipement est immobilisé le temps de la réparation. La production s'arrête.

4.7.1.2. Maintenance préventive

L'action de maintenance se fait à priori, pendant les phases où l'équipement n'est pas utilisé. Les pièces d'usure sont remplacées avant de casser selon une période définie par un planning (préventif systématique), ou selon l'état d'un indicateur d'usure (maintenance conditionnelle) [21].

On pourrait penser d'instinct que la maintenance préventive est systématiquement préférable. Ce n'est pas le cas. Il est toujours nécessaire de faire un choix en tenant compte :

- des caractéristiques de l'équipement.
- de son utilisation.
- du coût de la maintenance et donc du gain espéré.

Le résultat final se traduit souvent par un mélange des deux types de maintenance avec une prédominance de l'une ou de l'autre.

4.7.2. Définition de l'abaque de NOIRET

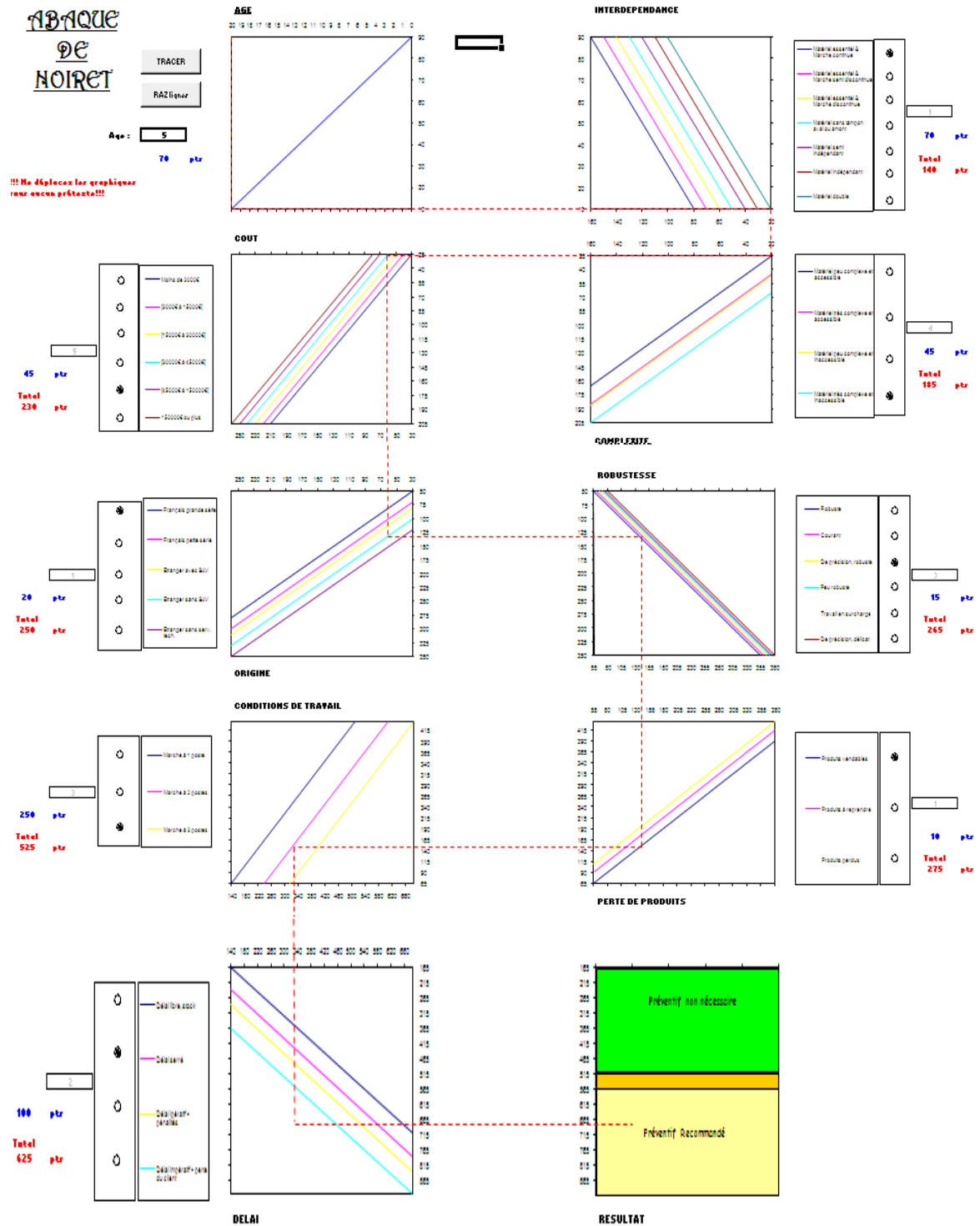
L'abaque de Noiret est un outil de calcul scientifique qui permet d'orienter le choix de la politique de maintenance en fonction :

- des caractéristiques de l'équipement.
- de son utilisation.

Le résultat en est une recommandation offrant trois options possibles :

- Préventif recommandé.
- Préventif possible.
- Préventif non nécessaire.

Cependant, ce résultat doit être complété par une analyse économique portant sur le coût des différentes maintenances et sur le retour sur investissement estimé que peut apporter une maintenance préventive [21].



On distingue que le score est au dessus de 625 points, donc il faut établir une maintenance préventif recommandé.

4.8. Application du modèle de Weibull sur le palier à patin

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 [19].

4.8.1. 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. 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 4.14. Préparation des données historiques.

Rang i	Temps (TBF) par heures	$F(i)$ estimé [%]	$R(i)$ estimé [%]
1	264	6,14%	93,86%
2	456	14,91%	85,09%
3	552	23,68%	76,32%
4	600	32,46%	67,54%
5	648	41,23%	58,77%
6	720	50,00%	50,00%
7	888	58,77%	41,23%
8	960	67,54%	32,46%
9	1128	76,32%	23,68%
10	1920	85,09%	14,91%
11	2856	93,86%	6,14%

4.8.2. Détermination des paramètres de Weibull

Il existe deux méthodes pour déterminer les paramètres de Weibull (graphique et numérique) [19].

4.8.2.1. 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.

➤ Détermination des paramètres β et η .

La valeur de β se lit directement sur l'axe des β , à l'intersection avec la droite parallèle tracée ci-dessus. Voir Figure 4.6 :

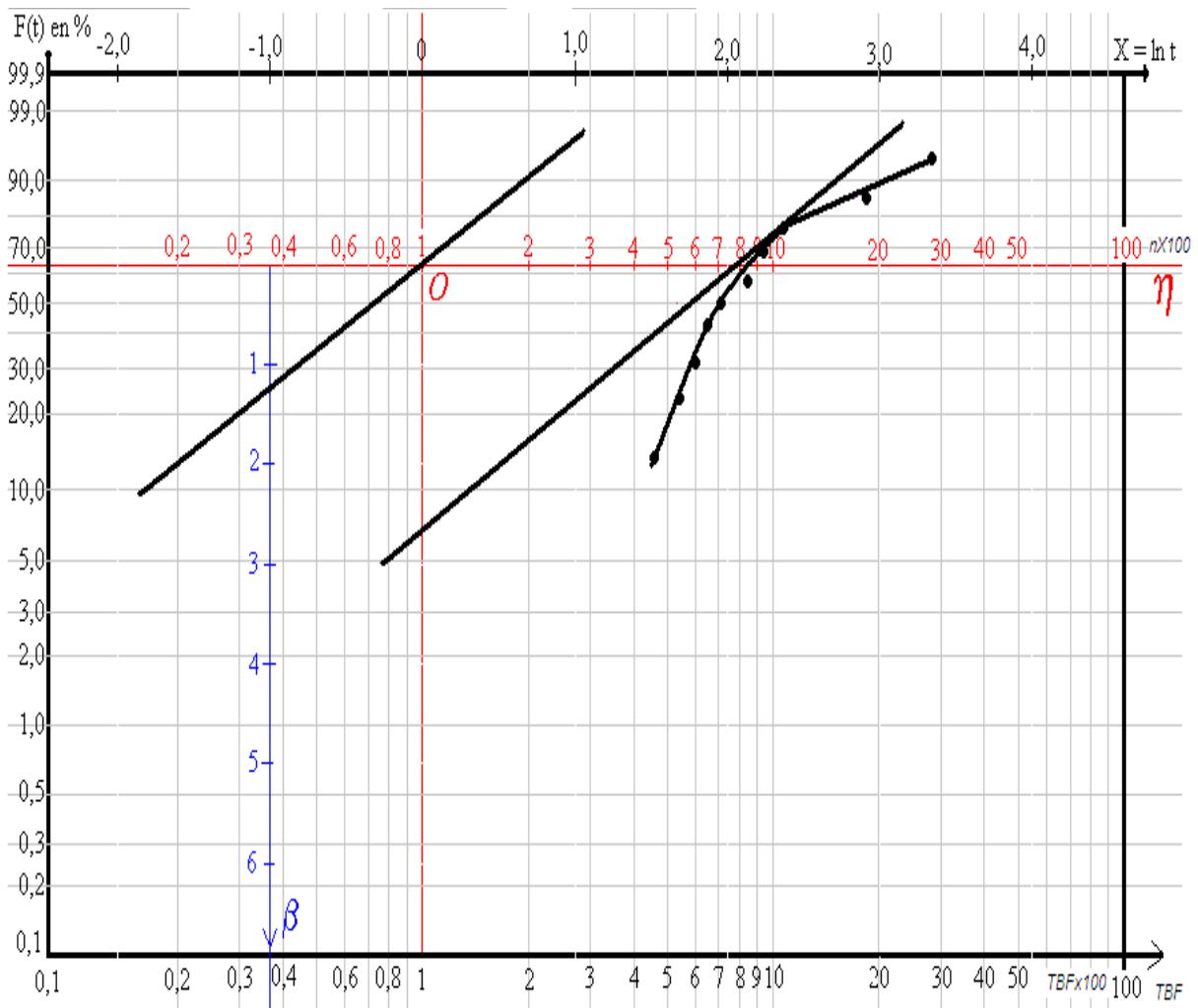


Figure 4.6. Détermination graphique des paramètres de Weibull.

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

$$\beta \approx 1.2 ; \eta \approx 810 ; \gamma = 196.58.$$

On calcule le moyen de temps de bon fonctionnement MTBF :

$$\text{MTBF} = 999.27 \text{ heures.}$$

4.8.2.2. Méthode numérique

En utilisant les fonctions de la fiabilité, voir le tableau 4.15 :

Tableau 4.15. Tableau des résultats.

Rang i	Temps (TBF) par heurs	F(i) estimé [%]	R(i) estimé [%]	LN(TBF)	LN (LN(1/(1-F(i))))
1	264	6,14%	93,86%	5,576	-2,759
2	456	14,91%	85,09%	6,122	-1,823
3	552	23,68%	76,32%	6,314	-1,308
4	600	32,46%	67,54%	6,397	-0,935
5	648	41,23%	58,77%	6,474	-0,632
6	720	50,00%	50,00%	6,579	-0,367
7	888	58,77%	41,23%	6,789	-0,121
8	960	67,54%	32,46%	6,867	0,118
9	1128	76,32%	23,68%	7,028	0,365
10	1920	85,09%	14,91%	7,560	0,643
11	2856	93,86%	6,14%	7,957	1,026

Nous avons obtenu les résultats suivants :

- Les paramètres de Weibull $\beta = 1.181$; $\eta = 855.756$; $\gamma = 196.58$.
- Le moyen de temps de bon fonctionnement MTBF = 999.272 heures.

La Figure 4.7 montre la courbe de Weibull, c'est une droite.

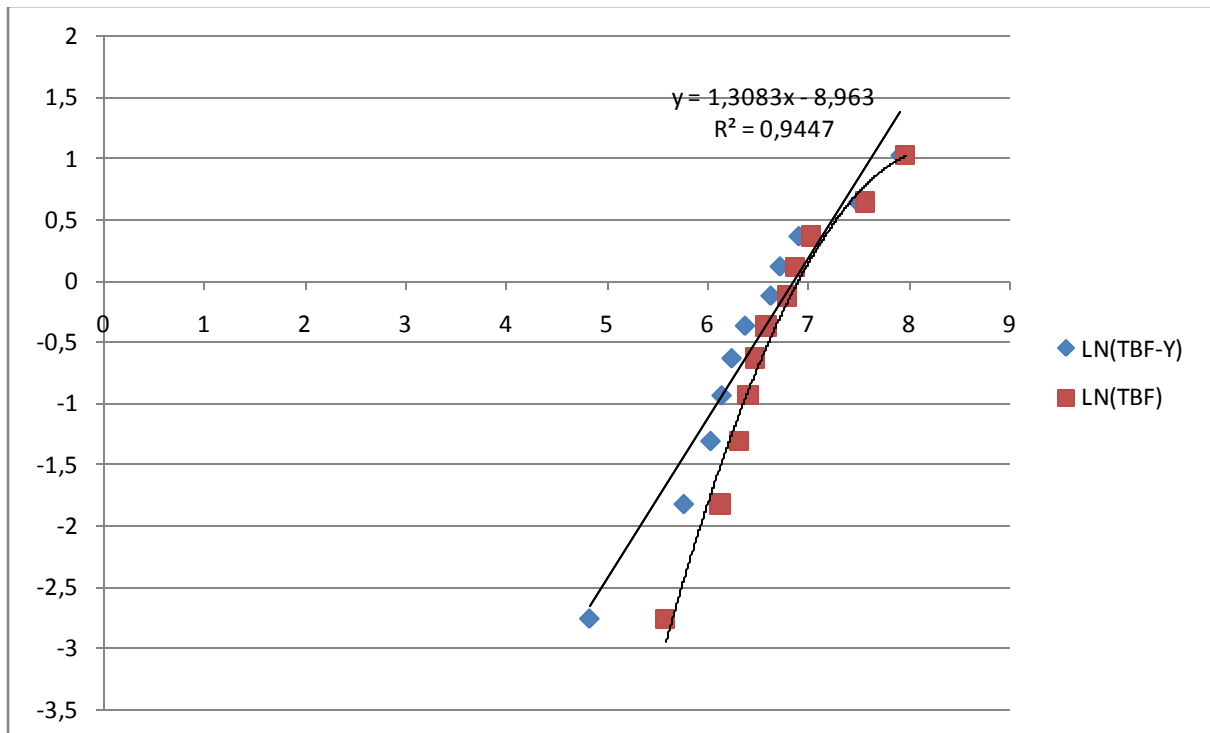


Figure 4.7. Droite de Weibull.

Nous avons validé notre travail par un code de calcul qui donne les résultats suivants :

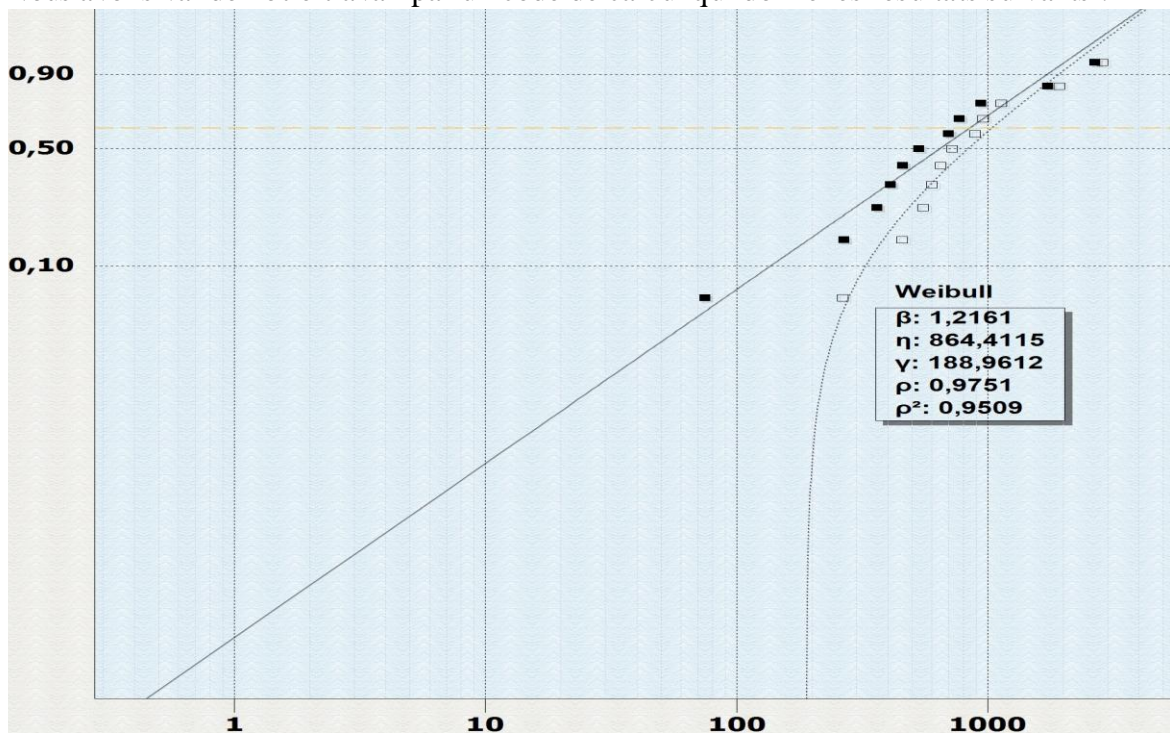


Figure 4.8. Courbe de Weibull

Ci-joint le tableau 4.16 récapitulatif et comparatif des résultats déterminés par calcul à l'aide des formules de la loi de Weibull,

Tableau 4.16. Tableau des résultats.

Rang i	Temps (TBF) par heures	F(i) théorique [%]	R(i) théorique [%]	Taux de défaillance $\lambda(t)$	Densité de probabilité de défaillance f(t)
1	264	10,02%	89,98%	0,003427136	0,000746622
2	456	31,32%	68,68%	0,004508257	0,000749683
3	552	39,99%	60,01%	0,004817462	0,000699902
4	600	43,91%	56,09%	0,004948426	0,000671987
5	648	47,57%	52,43%	0,005067898	0,000643275
6	720	52,62%	47,38%	0,005229927	0,000599897
7	888	62,60%	37,40%	0,005549841	0,000502601
8	960	66,20%	33,80%	0,005668612	0,000463908
9	1128	73,31%	26,69%	0,005915179	0,000382196
10	1920	91,24%	8,76%	0,006750602	0,000143152
11	2856	97,65%	2,35%	0,007411234	4,21216E-05

On a obtenu 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 4.9 Présente la fonction de la fiabilité R(t) et la fonction de répartition F(t) :

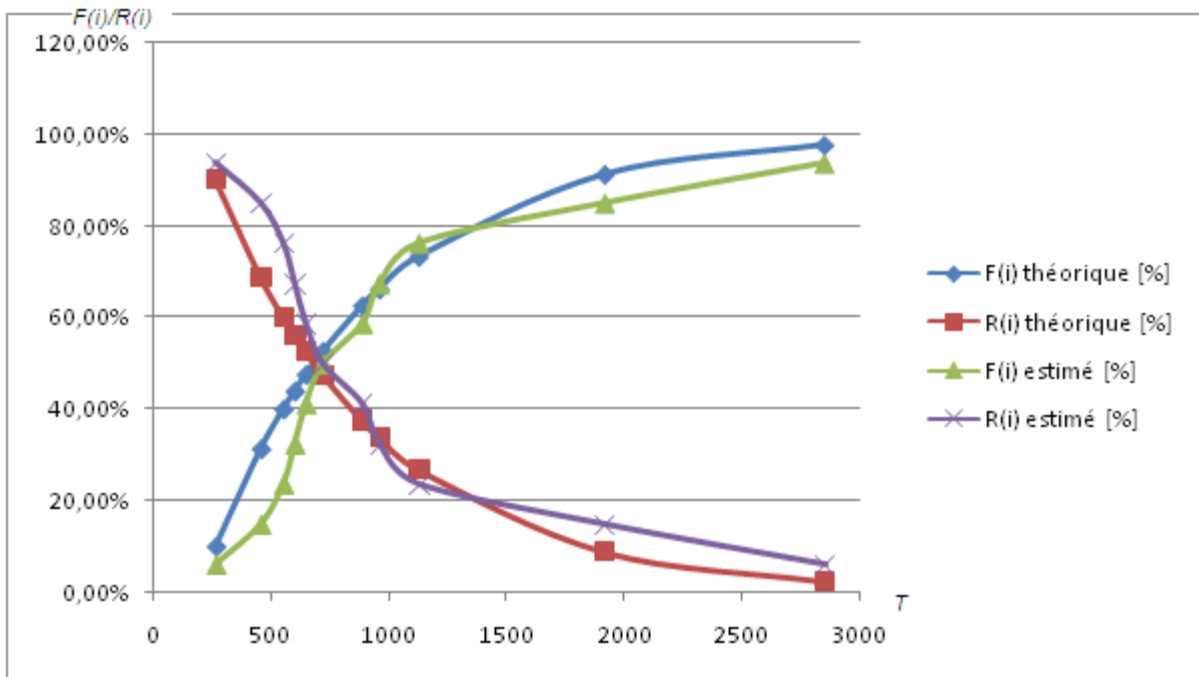


Figure 4.9. Courbe de fiabilité $R(t)$ et la courbe de répartition $F(t)$

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 (4.10 et 4.11). 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.

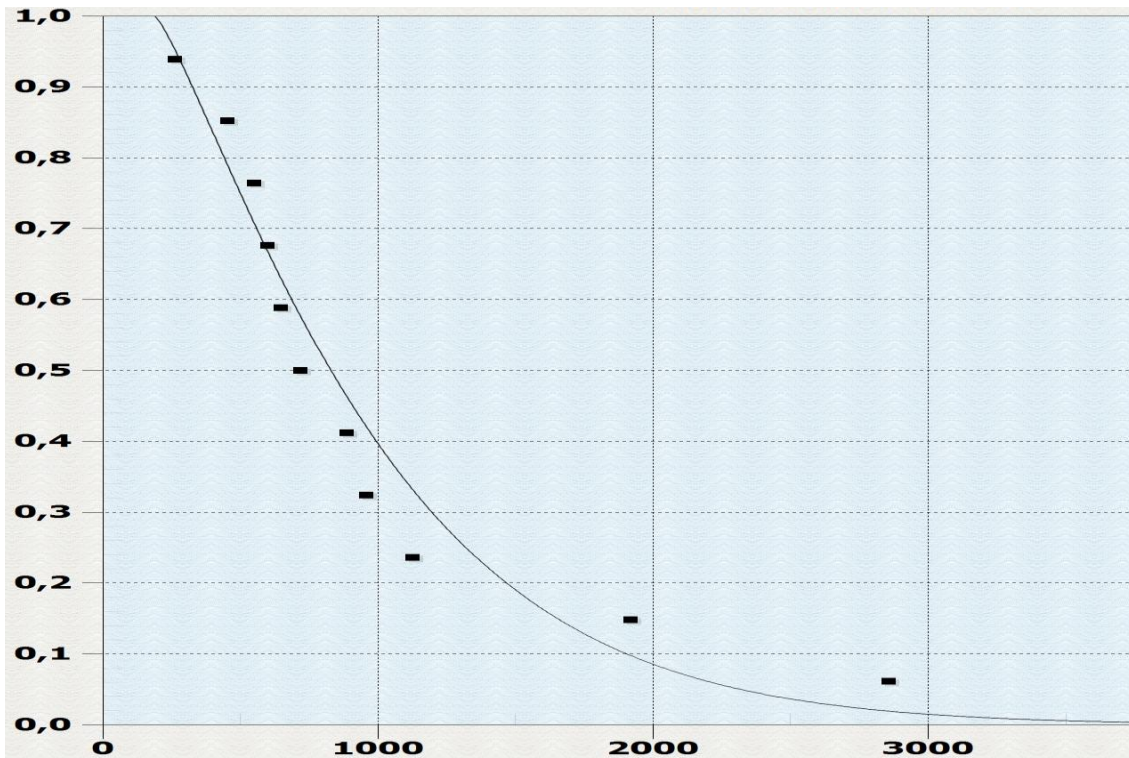


Figure 4.10. Courbe de fiabilité $R(t)$.

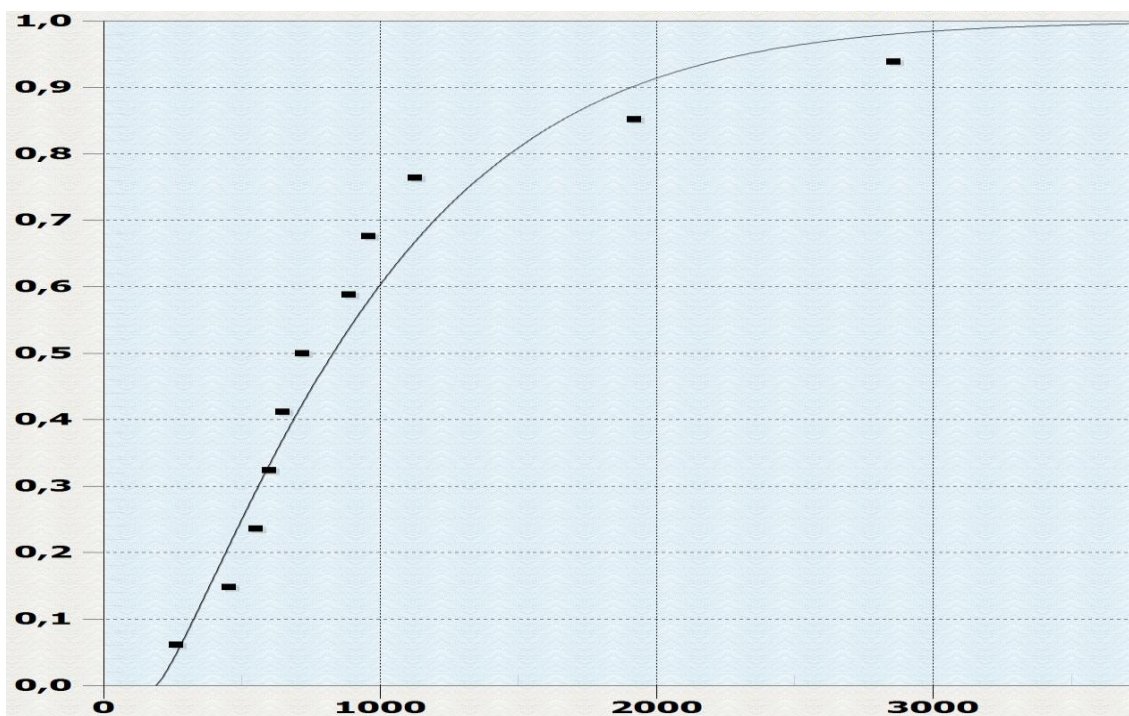


Figure 4.11. Courbe de répartition $F(t)$.

La Figure 4.12 Présente la fonction de taux de défaillance $\lambda(t)$.

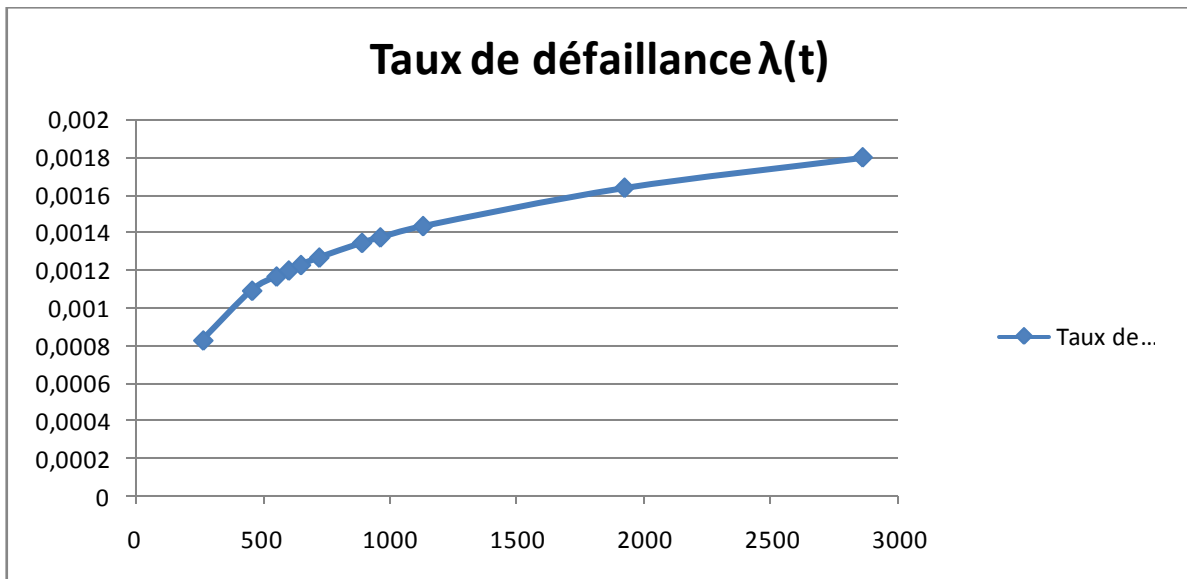


Figure 4.12. Taux de défaillance $\lambda(t)$.

Le taux de défaillance $\lambda(t)$ est bien représenté par un tronçon distinct sur la figure 4.12, On remarque que le taux de défaillance $\lambda(t)$ augmente avec le temps et que la dégradation ce fait de façon calme.



Figure 4.13. Taux de défaillance $\lambda(t)$.

La courbe de la densité de probabilité de défaillance est représentée dans la Figure 4.14 :

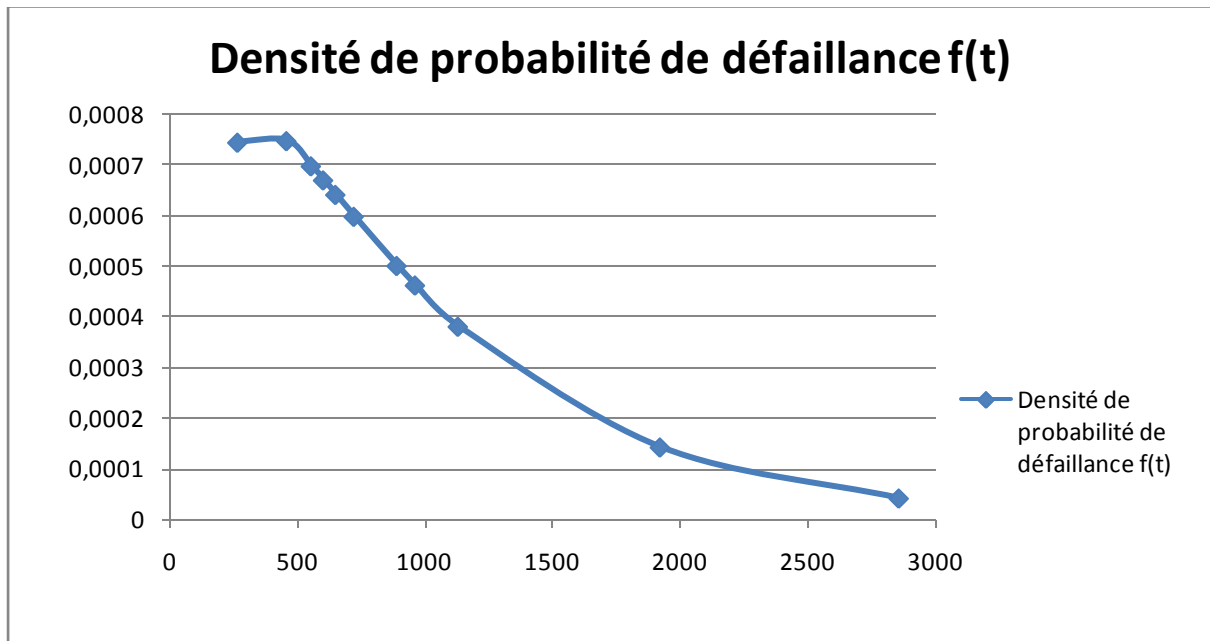


Figure 4.14. Densité de probabilité de défaillance $f(t)$.

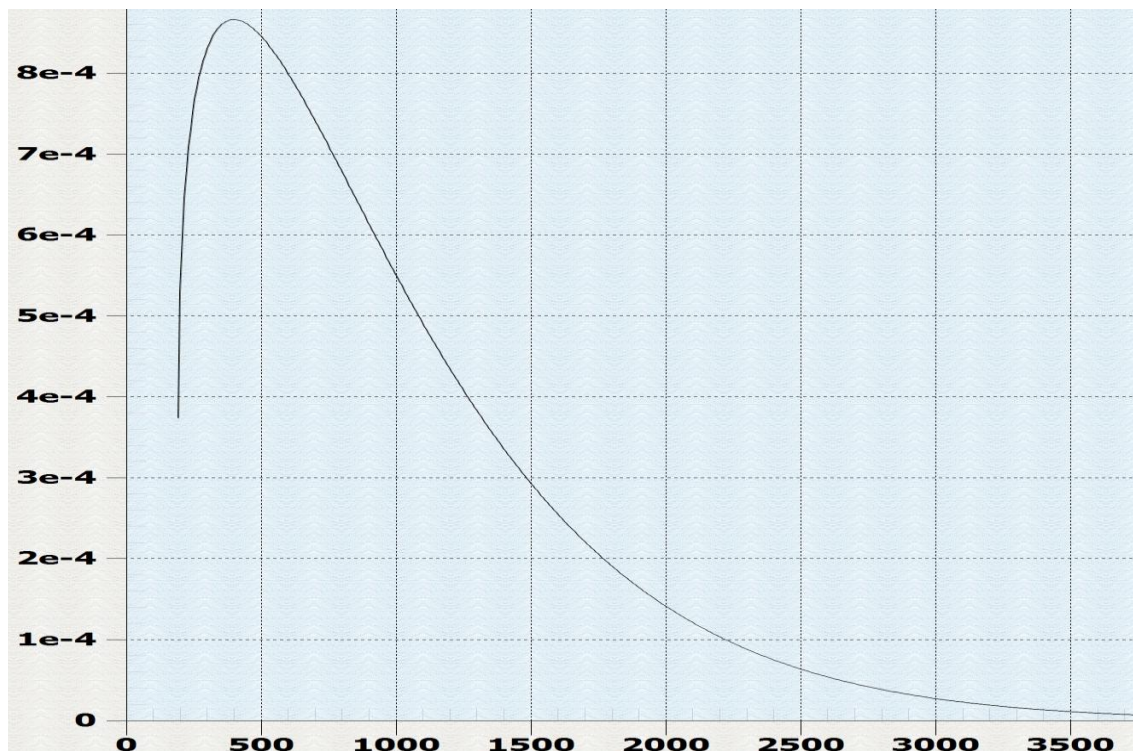


Figure 4.15. Densité de probabilité de défaillance $f(t)$.

On le note que la fonction $F(t)$ de l'organe étudié donnant une bonne corrélation avec le Weibull modèle de $\beta=1.216$, 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 999,272 heure.

4.8.2.3. Analyse des résultats trouvés

Au cours de notre étude nous avons constaté que :

- a. Le paramètre β est supérieur à un (1) ; le taux de défaillance est croissant en fonction de temps, donc le palier a patin est en période de vieillissement.
- b. Le taux de défaillance λ 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 ($\beta=1.216$), 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.
- c. La valeur du MTBF est autours de 999.272 heures.

4.9. 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 36, 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 (palier a patin d'entrée) montre que nous sommes en face d'un organe en phase de vieillissement par fatigue modélisé par le modèle de Weibull de paramètres ($\beta = 1,216$, $\eta = 999,272$ h, $\gamma = 188,96$).

Le résultat obtenu par l'utilisation de « l'abaque de NOIRET » nous permet de prendre une décision sur quel type de maintenance quand peut établir et confirmé le résultat obtenu par la méthode « AMDEC ». Donc on prévoit comme premier résultat de faire un suivi par une maintenance conditionnelle et des visites afin de détecter l'indice de fatigue du palier et surveiller la dégradation de cet équipement.

CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVE

Le complexe SCIBS de Beni Saf, de part son importance stratégique dans le secteur de la construction du ciment civile et industrielle, est toujours en quête d'amélioration de ses performances de compétitivité, aussi bien dans le contexte de la production que dans le contexte de la sécurité.

Par ce modeste travail, j'espère apporter quelques lumières aux problèmes envisagés dans le contexte de mon étude présente sur la dégradation des équipements au niveau des ateliers de la cimenterie de Beni Saf. Dans les limites du temps disponible, et de mes connaissances cumulées durant mon stage de fin des études au sein de la cimenterie SCIBS, je me permets d'apporter quelques éléments de réponses à quelques problèmes reliés à la maintenance. Grâce à la disponibilité de la tutelle d'accueil (les services concernés), j'ai pu élargir mon champ de connaissance et d'accès à différents niveaux d'informations utiles. Ce qui m'a permis une meilleure implication dans ma tâche d'investigation sur les défaillances des équipements.

Nous avons utilisé quelques méthodes de gestion de la maintenance, tel que Pareto, Abaque de Noiret et AMDEC, qui nous ont permis de s'approcher correctement notre analyse sur les défaillances au niveau du complexe. Pour toucher à tous les aspects de la maintenance nous avons appliqué la méthode PARETO qui a servie par la suite à la classification des équipements pour lesquels on doit appliquer AMDEC. Cette étape était très importante car elle a facilité la gestion, l'élaboration des dossiers machine et la préparation des procédures de la maintenance. On a déduit que le broyeur cru de l'atelier broyage cru est le plus sensible et il influe directement sur les coûts de la maintenance et sur la production en générale. Ensuite, on a déduit par la méthode l'AMDEC que le palier a patin au niveau l'entrée de tube broyeur est le plus critique.

Pour éviter la détérioration des patins et l'anneau de glissement de la pièce tournante, il est indispensable d'assurer, en permanence, la lubrification des surfaces de glissement pendant la rotation et, d'arrêter cette rotation dès que l'on constate un mauvais fonctionnement du dispositif de lubrification.

Dans les dispositifs connus actuellement, on se contente de mesurer le débit d'huile envoyé aux patins et de commander l'arrêt de la pièce tournante dès que ce débit tombe au-dessous d'une valeur de consigne. Cette solution est imparfaite, car elle ne prend en compte que l'une

Conclusion générale

des causes possibles qui est la mauvaise lubrification des patins, à savoir le fonctionnement défectueux des pompes et des circuits d'alimentation en huile de patins.

D'autres causes et notamment un mauvais état des surfaces de glissement peuvent diminuer l'efficacité de la lubrification et le but de la présente étude est de réaliser un dispositif permettant de déceler une lubrification insuffisante des patins, quelle qu'en soit la cause et d'y remédier ou d'arrêter la rotation de la pièce tournante au bon moment, cette détection est basée sur une mesure de la température au niveau des surfaces de glissement.

Lors de la mise en service du système de lubrification, après un arrêt prolongé, de l'huile sous pression réduite est envoyée dans les circuits basse pression pour réchauffer les éléments de ces derniers et les patins.

Pour cela, on utilise les pompes à basse pression, dont l'une d'entre elles débite simultanément sur tous les circuits basse pression et, sur une tuyauterie de décharge comportant un clapet taré qui fixe la pression de refoulement et une vanne dont la fermeture est commandée par un thermostat dès que la température de l'huile atteint une valeur prédéterminée. Cette disposition permet d'alimenter progressivement l'ensemble des circuits de lubrification et d'éviter une montée subite en pression, lors du démarrage des pompes, quand les circuits sont obturés par l'huile gelée.

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] F. Monchy, J. P. Vernier, méthodes et organisations pour une meilleure productivité].
Edition Dunod, Paris 2012, ISBN 978-2-10-057967-9.
- [6] L. Jeremy, Mise en place d'un plan de maintenance - Dumas - CNRS, 2014 .
- [8] CRTA, Les niveaux de maintenance, NF X 60-010, 2013.
- [9] S. Bassetto, S. Hubac, méthode employant les connaissances d'experts, thèse, Colloque
C2EI Nancy 1-2 décembre 2004.
- [10] G. Laloux, faire évoluer votre maintenance, Edition expert mai 2013.
- [11] O. TEBBI, Estimation des lois de fiabilité en mécanique par les essais accélérés, thèse,
de doctorat, Université d'Angers, 2005.
- [13] J. Bufferne, fiabiliser les équipements industriels, édition Eyrolles, 2008.
- [14] J. Téboul, La dynamique qualité. Paris: Éditions d'organisation; 1990.
- [17] CRTA, la méthodologie AMDEC, novembre 2004.
- [18] J. Foucher, pratique de l'AMDEC, édition Dunod, Paris, 2004.
- [19] B. Herrou, AMDEC, Ecole Supérieure de Technologie, CPI 2005.
- [20] A. Alhouaij. Contribution à l'optimisation de la maintenance, Doctorat Université de
Grenoble, 2010.
- [21] Maintenance l'abaque de Noiret - CRTA 2012.

WEBOGRAPHIES

- [3] [Http: //www.scibs-dz.com](http://www.scibs-dz.com)
- [4] [Http://www.nouvelleusine.com](http://www.nouvelleusine.com)
- [7] <http://tpmattitude.fr/methodes.html>
- [12] <http://gii.polytech.up.univ-mrs.fr/deuterium/accueil.php>
- [15] [Http://www.infres.enst.frpeoplesaglioiesimQSI..eric.pdf](http://www.infres.enst.frpeoplesaglioiesimQSI..eric.pdf)

RÉSUMÉ

Les opérations de maintenance sont identifiées depuis longtemps comme des situations critiques pour la sécurité des opérateurs et la dégradation des équipements. Cette criticité résulte non seulement de la nature des activités concernées, mais aussi du contexte organisationnel dans lequel elles s'inscrivent. En particulier, les interactions entre les opérateurs de maintenance et d'exploitation apparaissent déterminantes pour la production et pour la sécurité des opérateurs. Une étude relative à l'optimisation de la maintenance, aux interactions de ces opérateurs et à leurs incidences sur la sécurité et la fiabilité a, par conséquent, été initiée.

Ce projet de fin des études traite le problème de l'optimisation de la fonction maintenance dans l'atelier de broyage au niveau du complexe SCIBS de la cimenterie de Beni-Saf. En effet les coûts de maintenance sont répartis en deux types : coûts directs et coûts indirects. Parmi les coûts indirects figure les coûts d'indisponibilité de matériel. Les méthodes et les lois utilisées dans ce mémoire, comme Pareto, AMDEC, Noiret et Weibull seront exploitées pour l'objectif de réduire ces temps d'indisponibilité et améliorer la fiabilité des équipements, ce qui permet d'optimiser la maintenance et d'identifier les éléments les plus critiques. Nous avons utilisé une nouvelle méthode développée (Abaque de Noiret) qui aide les décideurs du service de maintenance à définir la politique de la maintenance appropriée.

Mots clés : Maintenance, Fiabilité, loi de Weibull, Optimisation, Abaque de Noiret

ABSTRACT

Maintenance operations are identified as long situations critical to the safety of operators and equipment degradation. This criticality results not only from the nature of the activities, but also the organizational context in which they operate. In particular, the interactions between maintenance and operations of operators appear critical to the production and operator safety. A study on the optimization of the maintenance, the interactions of these operators and their impact on safety and reliability have therefore been initiated.

This final project study addresses the problem of optimizing the maintenance function in the grinding plant at the complex SCIBS of cement from Beni Saf. Indeed maintenance costs are divided into two types: direct costs and indirect costs. Among the indirect costs lead hardware downtime costs. Methods and laws used in this paper, as Pareto, FMEA, Noiret and Weibull will be exploited to the objective of reducing the downtime and enhance equipment reliability, which optimizes maintenance and identify the most critical elements. We used a new method developed (Abacus Noiret) that helps decision makers of the maintenance department to define the appropriate maintenance policy.

Keywords: Maintainability, Reliability, Weibull Distribution, Optimization, Noiret abacus.

ملخص

يتم تحديد عمليات الصيانة، والحالات الحرجة الطويلة على سلامة العاملين وندهور المعدات. نتائج هذا الدراسة ليست فقط من طبيعة الأنشطة، ولكن أيضا في السياق التنظيمي الذي تعمل به فرق الصيانة. على وجه الخصوص، التفاعلات بين الصيانة وعمليات المشغلين تظهر حاسمة لسلامة الإنتاج والمشغل. ، ولذلك فقد تم المشروع في تفاعلات هذه العوامل وتأثيرها على سلامة و موثوقية الدراسة حول الاستغلال الأمثل للصيانة.

تتناول هذه الدراسة النهائية للمشروع المشكلة من تحسين وظيفية الصيانة في مصنع الطحن داخل المؤسسة SCIBS مجمع الاسمنت في بني صاف. في الواقع تنقسم تكاليف الصيانة إلى نوعين: التكاليف المباشرة والتكاليف الغير المباشرة. ضمن التكاليف الغير المباشرة تكاليف عدم الإنتاج للأجهزة المتوقفة. سيتم استغلال الطرق والقوانين المستخدمة في هذه الورقة، مثل Pareto، AMDEC، Noiret و Weibull في تحقيق هدف الحد من وقت التوقف عن العمل وتعزيز كفاءة المعدات، ال شيء الذي يحسن الصيانة ويجدد العناصر الأكثر أهمية.

استخدمنا طريقة جديدة في تقييم الصيانة وهي (Noiret) التي تساعد صناعات القرار من قسم الصيانة لتحديد سياسة الصيانة المناسبة.

كلمات البحث: صيانة، والموثوقية، وتوزيع وايبل، والتحسين، العداد