الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique
جامعة وهران 2 محمد بن أحمد
Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed

معهد الصيانة والأمن الصناعي
Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

Département de maintenance en Électromécanique

MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Électromécanique

Spécialité : Électromécanique industrielle

Thème

Étude de fiabilité d'une chaine de production a la cimenterie de CHLEF (ECDE)

Présenté et soutenu publiquement par :

MOKHEFI Ikram

ZEMMOUR Mohamed Lotfi

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
Adjeloua Abdelaziz	MCA	IMSI	**Président**
Labair Hakima	MCB	IMSI	**Encadreur**
Mimouni Chahinez	MCB	IMSI	**Examinateur**

Année 2023/2024

Remerciements

Nous aimerions remercier avant tout ***Dieu*** *le Clément, le Miséricordieux le Tout-Puissant, de nous avoir donné la force et la puissance pour pouvoir mener ce travail à terme.*

Nous tenons à exprimer notre gratitude et nos remerciements les plus sincères à notre encadrante, Mme ***Labair Hakima****, pour avoir accepté de diriger ce travail et pour toute la confiance, l'aide et le soutien fournis durant l'accomplissement de cette étude.*

Nos remerciements vont également à notre enseignant, Mr ***Metahri Dhiyaeddine****, pour son aide, son écoute et ses conseils constants, sans jamais se lasser.*

Nous remercions sincèrement ***les membres du jury*** *d'avoir consacré leur temps à examiner ce travail malgré leurs nombreuses responsabilités.*

Nous tenons aussi à remercier les responsables et les travailleurs de l'entreprise des Ciments et Dérivés d'Ech-Chlef (ECDE) pour leur accueil durant notre stage pratique surtout l'ingénieur ***Djebbar Ahmed Kadour****.*

Nous ne manquons pas de remercier nos deux familles, nos collègues et amis qui nous ont soutenus.

Enfin, Merci à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

Mon cher père ***Larbi***

Ma chère maman ***Luiza***

Ma chère tante ***Malika****, ma deuxième maman*

Qui sont toujours à mes côtés avec leurs conseils et leur soutien, usant de tous les sacrifices possibles.

Que Dieu vous préserve et vous prête une longue vie de joie.

Mes frères ***Zaki*** *et* ***Adem***

Mes sœurs ***Amina****,* ***Hakima****,* ***Zohra*** *et* ***Ritadj***

Toute ma famille

Toutes mes meilleures amies.

Ikram

Dédicace :

Premièrement Je dédie ce modeste travail comme remerciement A mes Chères parents c'est grâce à eux et grâce à leur soutient et leur encouragement et leur sacrifice que je suis Là c'est eux la deuxième raison de ma réussite après le grand dieu.

A Ma sœur Pour son aide et Motivation au Moment et épreuves difficile

Je suis et je serai reconnaissant pour vous

Je dédie Ce travaille aussi A ma famille paternelle et maternels.

A tous les gens qui m'ont soutenue de loin ou de près pendant tout mon cursus une durée de 17 ans d'étude : Amis, Profs, Personnelle …

Merci à tous et toutes.

Lotfi

Résumé :

La fiabilité industrielle est impérieuse. C'est une étape clé de l'analyse des risques. Elle garantit la maîtrise des processus, impacte la maintenance et la sûreté des équipements. Elle permet également de faciliter les évaluations et les contrôles.

Dans notre PFE on va faire une étude de fiabilité de la chaine de production de la cimenterie de Chlef (ECDE) en utilisant la méthode d'analyse statistique (Pareto) pour identifier l'équipement critique ainsi que les lois et les indicateurs de fiabilité à l'aide du logiciel Minitab et proposons des actions préventives pour améliorer la fiabilité globale de la chaine de production.

Mots clés : Maintenance, Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité

ملخص:

الموثوقية الصناعية أمر حتمي. هذه خطوة أساسية في تحليل المخاطر. فهو يضمن التحكم في العمليات ويؤثر على صيانة المعدات وسلامتها. كما أنه يسهل التقييمات والضوابط.

في عملنا هذا، سنقوم بإجراء دراسة موثوقية لسلسلة إنتاج لمصنع إسمنت الشلف باستخدام طريقة التحليل الإحصائي (باريتو) لتحديد المعدات الهامة بالإضافة إلى القوانين ومؤشرات الموثوقية عند استخدام برنامج Minitab واقتراح الإجراءات الوقائية. لتحسين الموثوقية الشاملة لسلسلة الإنتاج.

كلمات مفتاحية: الصيانة، الموثوقية، قابلية الصيانة، الاتاحة

Abstract:

Industrial reliability is imperative. This is a key step in risk analysis. It guarantees process control and impacts the maintenance and safety of equipment. It also facilitates evaluations and controls.

In our PFE we will carry out a reliability study of the production chain of the CHLEF cement plant (ECDE) using the statistical analysis method (Pareto) to identify critical equipment as well as the laws and reliability indicators at using Minitab software and propose preventive actions to improve the overall reliability of the production chain.

Key words: Maintenance, Reliability, Maintainability, Availability

Table des matières

Introduction générale : 16

Chapitre 1 : Présentation de l'entreprise des ciments et dérivés d'ECH-CHLEF (ECDE)..... 18

Introduction : 19

1. Fiche technique de l'entreprise : 19

2. Historique de l'entreprise : 20

3. Organigramme de l'entreprise : 20

4. Produits fabriqués : 21

5. La nomenclature du ciment : 22

6. Procédé général de fabrication du ciment : 22

7. Les étapes de la fabrication : 23

7.1 Zone carrière : 23

7.2 Zone matières premières : 25

7.3 Zone crue : 26

7.4 Zone cuisson : 28

7.5 Zone ciment : 29

7.6 Zone expédition : 30

8. Laboratoire de l'usine : 31

9. Salle de contrôle de l'usine : 32

Conclusion : 32

Chapitre 2 : Les principaux concepts de la maintenance 33

Introduction : 34

1. Historique de la maintenance : 34

2. Définitions : 35

2.1 Fonction requise : 35

2.2 Bien :. 35

2.3 Panne : 35

2.4 La maintenance :. 35

2.4.1. Stratégie de la maintenance : 35

2.4.2. Le management de la maintenance : 35

3. Type ou Forme de maintenance : 36
3.1 Maintenance corrective : 36
3.2 Maintenance préventive : 36
4. Les niveaux de la maintenance : 37
5. Les actions de la maintenance : 38
5.1 Actions administratives : 39
5.2 Actions techniques : 39
6. Les enjeux de la maintenance : 39
6.1 Enjeux économiques : 39
6.2 Enjeux technologiques : 39
6.3 Enjeux sociaux : 40
7. Les indicateurs de performance : 40
7.1. Taux d'engagement du bien : 40
7.2. Indicateur de disponibilité opérationnelle : 40
7.3. Taux d'utilisation d'un bien : 40
7.4. Indice de comparaison des performances d'exploitation : 41
7.5. Pénalité d'indisponibilité : 41
7.6. Indicateurs des effets externes : 41
7.7. Indicateur d'efficacité globale : 41
7.8. MTBF « Mean Time Between Failure »: 41
7.9. MTTR « Mean Time To Repair »: 41
7.10. MUT (Mean Up Time) : 42
7.11. MDT (Mean Down Time) : 42
8. Objectifs de la maintenance : 42
8.1 Objectifs opérationnels : 42
8.2 Objectifs de coût : 43
9. Rôle de la maintenance : 43
10. Méthode Pareto, ABC, 20-80 : 44
10.1. La méthode ABC de Pareto : 44
10.1.1. Principe de la méthode ABC : 44
10.1.2. Les étapes d'application de la méthode : 44

Conclusion : 45
Chapitre 3 : F.M.D (Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité) 46
INTRODUCTION : 47
1. La fiabilité : 47
1.1. Définition de la fiabilité : 47
1.2. Types de fiabilité : 47
1.2.1. Fiabilité opérationnelle : 47
1.2.2. Fiabilité prévisionnelle : 48
1.3. Les paramètres nécessaires de la fiabilité : 48
1.3.1. Les fonctions F(t) et R(t) : 48
1.3.2. Taux de défaillance instantané λ(t) : 49
1.3.3. Fonction de densité de probabilité f(t) : 50
1.3.4. MTBF : 51
1.3.5. MTTF : 51
1.3.6. MUT : 51
1.4. Fiabilité d'un système : 51
1.4.1. Système avec « n » composants en série : 51
1.4.2. Système avec « n » composants en parallèle : 52
1.5. Les lois de probabilités en fiabilité : 53
1.5.1. Lois discrètes : 53
1.5.2. Lois continues : 53
1.5.3. Test d'adéquation Kolmogorov Smirnov « K-S »: 55
1.6. Objectifs de la fiabilité : 56
2. La maintenabilité : 56
3. Disponibilité : 57
3.1. Types de disponibilité : 57
3.1.1. Disponibilité intrinsèque : 57
3.1.2. Disponibilité instantanée : 57
Conclusion : 57
Chapitre 4 : Analyse statistique des données et étude de fiabilité de La chaine de production 59

Introduction : 60
1. Choix de la chaîne à étudier : 60
2. L'historique des pannes de la première ligne : 60
3. Choix d'équipement à étudier : 67
3.1. Application de la méthode Pareto : 67
4. Étude de fiabilité : 70
4.1. Historique de l'équipement « Broyeur » : 70
4.2. Calcul des Temps de bon fonctionnement : 70
4.3. Calcul des Fonctions F(ti), R(ti) : 71
4.4. Estimation de la fonction de réparation théorique F(t) : 71
4.4.1. Tracer la droite de Wei bull : 72
4.4.2. Estimation des paramètres de la loi de Wei bull : 72
4.4.3. Estimation de F(t) : 73
4.4.4. Test de Kolmogorov-Smirnov : 73
4.4.5. Fonction R(t), λ(t), f(t) : 74
4.4.6. Représentation graphique des fonctions et interprétations : 75
4.4.7. Calcul en fonction de la MTBF : 77
5. Maintenabilité : 77
6. Disponibilité : 78
6.1. Disponibilité intrinsèque : 78
6.2. Disponibilité instantanée : 79
7. Durée d'intervention T : 79
8. Actions préventives pour le broyeur vertical 80
Conclusion : 80
Conclusion générale : 82
Références bibliographiques : 84
Annexes : 88

Listes des figures

Chapitre 1 :

Figure 1.1: La carte géographique de la cimenterie de Chlef ECDE……...19
Figure 1.2: Organigramme de l'entreprise……...20
Figure 1.3: Les types de ciment que produit la cimenterie de Chlef……21
Figure 1.4: La nomenclature du ciment……22
Figure 1.5: Procédé de fabrication du ciment par voie sèche……..23
Figure 1.6: Carrière de l'ECDE……...24
Figure 1.7: Concassages des matières premières au niveau de la carrière……24
Figure 1.8: Trémie de réception mélange (ligne 1et2)……..25
Figure 1.9: Bandes transporteuses……...25
Figure 1.10: Un strackeur (ligne 3)……...25
Figure 1.11: Un pont récupérateur (ligne 3)…….25
Figure 1.12: Un gratteur (ligne 3)……26
Figure 1.13: Zone cru (ligne 3)……26
Figure 1.14: Broyeur LOESHE (ligne 1)…….27
Figure 1.15: Four rotatif de l'ECDE (ligne 2)……..28
Figure 1.16: Tour de préchauffage (ligne 2)……28
Figure 1.17: Zone ciment…….29
Figure 1.18: Silos clinker (ligne3)……29
Figure 1.19: Broyeur ciment (ligne 3)……..30
Figure 1.20: Silos ciment (ligne 3)……...31
Figure 1.21: Expédition en camions (ligne 3)……..31
Figure 1.22: Laboratoire d'ECDE (ligne3)……..31
Figure 1.23: Salle de contrôle (ligne 1et2)……..32
Figure 1.24: écran (ligne 2)…….32

Chapitre 2 :

Figure 2.1: Types de maintenance……37
Figure 2.2: Actions de la maintenance…….39
Figure 2.3: Durées caractéristiques……..42

Chapitre 3 :

Figure 3.1: Fonction de défaillance F(t)……..48
Figure 3.2: Fonctions associées……...49
Figure 3.3: Courbe en baignoire……..50
Figure 3.4: Composants en série…….….52
Figure 3.5: Composants en parallèle……...52

Chapitre 4 :

Figure 4.1 : Représentation graphique des zones A, B et C en fonction de fréquence d'arrêt…..……69
Figure 4.2: La droite de Weibull……..…….72
Figure 4.3 : Les paramètres obtenus de la loi de Wei bull…….…..72
Figure 4.4 : Courbe de fonction de défaillance F(t)…….…75
Figure 4.5: Courbe de fiabilité R(t)……...75
Figure 4.6: Courbe de taux de défaillance λ(t)…….76
Figure 4.7: Courbe de densité de probabilité f(t)……..76
Figure 4.8: La courbe de M(t)…….……..78
Figure 4.9: La courbe de D(t)…….…...79

Listes des tableaux

Chapitre 2 :

Tableau 2.1 : Les niveaux de maintenance 37

Chapitre 3 :

Tableau 3.1 : Les lois de probabilités discrètes 53
Tableau 3.2 : Les lois de probabilités continues. 53

Chapitre 4 :

Tableau 4.1 : Historique des pannes de la 1ére ligne. 61
Tableau 4.2 : Paramètres de diagnostic en fonction de fréquence d'arrêt. 67
Tableau 4.3 : Historique de broyeur. 70
Tableau 4.4 : Temps de bon fonctionnement de broyeur 71
Tableau 4.5 : Calcul des Fonctions F(ti), R(ti) 71
Tableau 4.6 : Les valeurs de F(t) estimées par le modèle de Wei bull..... 73
Tableau 4.7 : Calcul de Dn. 73
Tableau 4.8 : Estimation des fonctions R(t), λ(t) et f(t). 74
Tableau 4.9 : Les Différentes valeurs de M(t) en fonction de TTR. 78
Tableau 4.10 : Les Différentes valeurs de D(t) en fonction de TTR. 79
Tableau 4.11 : Temps d'intervention. 80
Tableau 4.12 : Actions préventives pour le broyeur vertical..... 80

Listes des abréviations

TBF : Temps de bon fonctionnement

TTR : Temps de réparation

MTBF : Temps moyen entre défaillance

MTTR : Temps moyen de réparation

MUT : Temps moyen de disponibilité

MTTF : Temps moyen pour la première défaillance

FMD : Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité

Nomenclature

F(t) : Fonction de défaillance

R(t) : Fonction de fiabilité

f (t) : Densité de probabilité

λ (t) : Taux de défaillance

μ : Taux de réparation

F(ti) : Fonction réelle de défaillance

R(ti) : Fonction réelle de fiabilité

M(t) : Fonction de maintenabilité

D(t) : Fonction de disponibilité

E(X) : Espérance mathématique

σ : Écart type

σ^2 **:** Variance

μ(t) : Moyenne

$\boldsymbol{\beta}$ **:** Paramètre de forme de la loi de Wei bull

$\boldsymbol{\eta}$ **:** Paramètre d'échelle de la loi de Wei bull

$\boldsymbol{\gamma}$ **:** Paramètre de position de la loi de Wei bull

Introduction Générale

Introduction générale :

L'aspiration à l'excellence demeure le gage de pérennité et de sécurité de toute organisation, de surcroit en milieu industriel. L'enjeu de positionnement en leader sur un marché dit, est un enjeu crucial, et ne peut être garanti dans le temps que par la combinaison rationnelle d'un ensemble de procédés alliant qualité et coûts afin de garantir une excellence continuelle. Toutefois, cette quête d'excellence implique la maîtrise de multiples concepts, principalement la productivité, la disponibilité, la qualité et le respect des délais.

Ces concepts, restent étroitement liés à la qualité des chaines et processus de production. Inévitablement, l'effet homme, obsolescence et amortissement ne sera pas sans effet sur les équipements de production et viendra réduire tant les taux de productivité que de rentabilité. Seule, une politique fiable de contrôle, maintenance et prévoyance, est susceptible de garantir le cycle de production,

Dans ce sens, il est indispensable de réaliser une étude de fiabilité basée sur des modèles probabilistes et l'historique des équipements. Cette approche permettra l'estimation et l'appréciation des comportements futurs des équipements et d'intervenir en amont en approche préventive évitant ainsi toute rupture du cycle de production (pannes...).

Le présent mémoire a pour objet la présentation de l'étude de fiabilité menée sur l'une chaîne de production de la cimenterie de Chlef ECDE. Ce travail se déclinera en quatre chapitres distincts, organisés comme suit :

Le premier chapitre, sera dédié à la présentation de l'entreprise de ciment et dérivés d'ECH-CHLEF ECDE, Nous passerons en revue son organisation, ses produits, ainsi que ses lignes de production, en mettant en exergue les étapes clés du processus de fabrication du ciment.

Le deuxième chapitre, sera dédié au concept de la maintenance, nous détaillerons les principes généraux de la maintenance industrielle, enjeux et objectifs, nous examinons également la méthode de Pareto.

Sur le troisième chapitre, nous expliquons le concept de FMD « Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité », en présentant quelques modèles probabilistes qui nous aident à estimer la fiabilité et l'état des équipements.

Le quatrième et dernier chapitre, détaillera les aspects clés de notre étude. On débutera par identifier la chaîne de production à étudier, et dresser le tableau historique des pannes rencontrées sur une période

donnée. Nous procèderons à l'analyse de ce tableau à travers la méthode Pareto, pour nous permettre l'identification de l'équipement présentant la fiabilité la plus faible, dont nous concentrerons notre analyse. Nous utiliserons le logiciel Minitab conformément à la loi de Wei bull, après avoir également évalué sa maintenabilité et sa disponibilité. Enfin, nous procèderons à l'interprétation des résultats obtenus avec proposition de solutions adéquates visant l'amélioration de la fiabilité de la chaine de production objet de notre étude.

Ce mémoire, s'articulant autour de ces quatre chapitres, aspire une contribution significative à la compréhension et à l'amélioration des pratiques de maintenance pour réelle fiabilité dans le contexte spécifique de la cimenterie de Chlef ECDE.

En associant théorie, analyse pratique et solutions concrètes, nous aspirons à fournir des outils concrets pour l'optimisation des performances opérationnelles de l'entreprise.

Chapitre 1 :

Présentation de l'entreprise des ciments et dérivés d'ECH-CHLEF (ECDE)

Introduction :

L'entreprise des ciments et dérivés d'ECH-CHLEF(ECDE) est située dans la zone industrielle d'oued Sly, environ à 9km au sud-ouest de la ville de CHLEF, à 40km du port de Ténés, à 10km de l'aéroport de CHLEF et elle est mitoyenne de la Route Nationale 4 et de l'autoroute Est-Ouest. S'étendant sur une superficie de plus de 40 hectares [1], elle est constituée de trois lignes de production.

La Société des Ciments de Chlef (ECDE) est une filiale à 100% du Groupe Industriel des Ciments d'Algérie (GICA). Elle revêt la forme juridique de SPA (société par actions). La part de marché de l'ECDE représente 16% du marché national. [2]

1. Fiche technique de l'entreprise :

- **Capitale :** 6.24 milliards DA

- **Date d'entrée en production :** 1er ligne 1978, 2éme ligne 1980, 3ème ligne 2015

- **Direction Générale :**

Tél : 213 (0)27 77 84 08_ Fax : 213 (0)27 77 81 60_ E-mail : dg.ecde@gica.dz

Adresse : Cité Hammadia Route d'Oran -BP 54 Chlef 02000

- **Direction Commerciale :**

Tél : 213 (0)27 71 27 71/05 72 _ Fax : 213 (0)27 71 02 23_ E-mail : dcc.ecde@gica.dz

Adresse : Zone Industrielle de Oued Sly - Chlef 02000

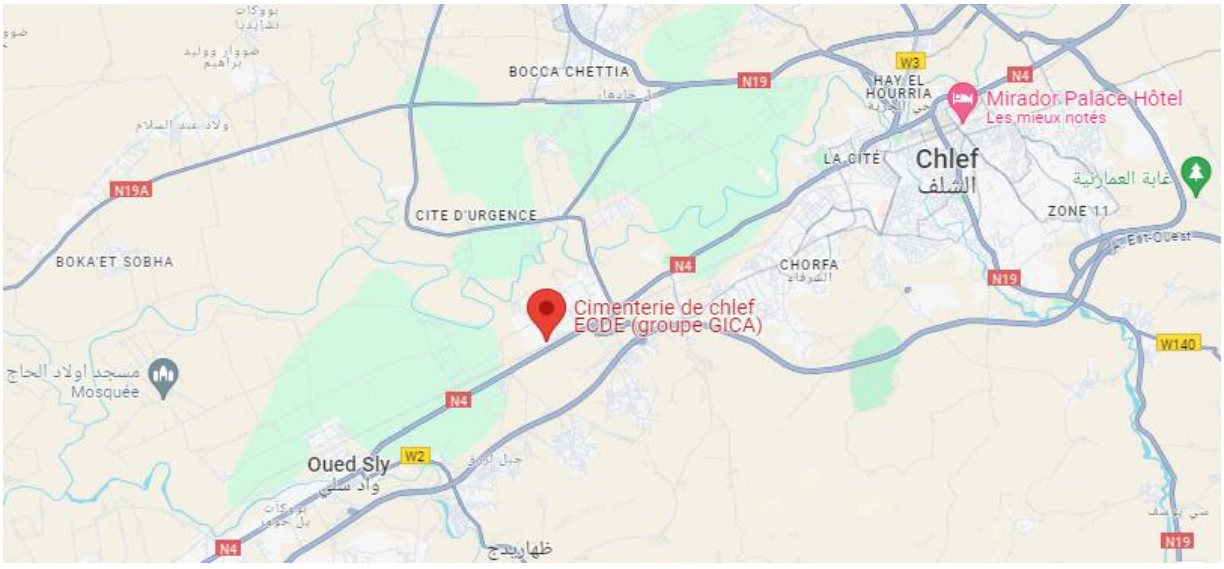


Figure 1.1 : La carte géographique de la cimenterie de Chlef ECDE.

2. Historique de l'entreprise :

L'entreprise a été réalisée par une firme japonaise KAWAZAKY HEAVY INDUSTRY (KHI) en collaboration avec une société belge (ACEC) spécialisée dans les équipements électriques et électroniques, et la société Algérienne (Nord-African) pour les travaux de génie civil. La mise en chantier a commencé en 1975, et entrée en phase de production, avec une seule ligne, en 1978 (d'une capacité de production de 1.000.000 de tonnes /an) c'est à cette date que la deuxième ligne de même capacité a démarré et ce n'est qu'en 1980 que celle-ci est entrée en production.

L'entreprise a été créée par Décret N°82/325 en date du 30 octobre 1982 suite à la réorganisation de la Société Nationale des Matériaux de Construction (S.N.M.C). Elle est devenue une entreprise publique économique (E.P.E) le 9 octobre 1989.

En 2004 dans le cadre d'un programme de modernisation, la cimenterie de CHLEF s'est dotée d'une salle de contrôle à la pointe de la technologie équipée de scanners de surveillance et d'analyseurs de gaz. Elle a également modernisé son laboratoire en le dotant d'équipements plus performants. Pour chaque ligne de cuisson, elle a rénové la tour de préchauffe en substituant les cyclones existants par des cyclones de capacité supérieure, ainsi qu'en installant un calcinateur.

En 2009, l'ECDE a mis en service un nouveau broyeur à ciment d'une capacité de broyage de 100 tonnes/heure afin d'accroître les capacités de broyage du ciment pour répondre aux demandes croissantes de ciment. En raison de sa gestion de la production, la Cimenterie de CHLEF est une référence pour les autres Cimenteries présentes sur le territoire national. [1]

3. Organigramme de l'entreprise :

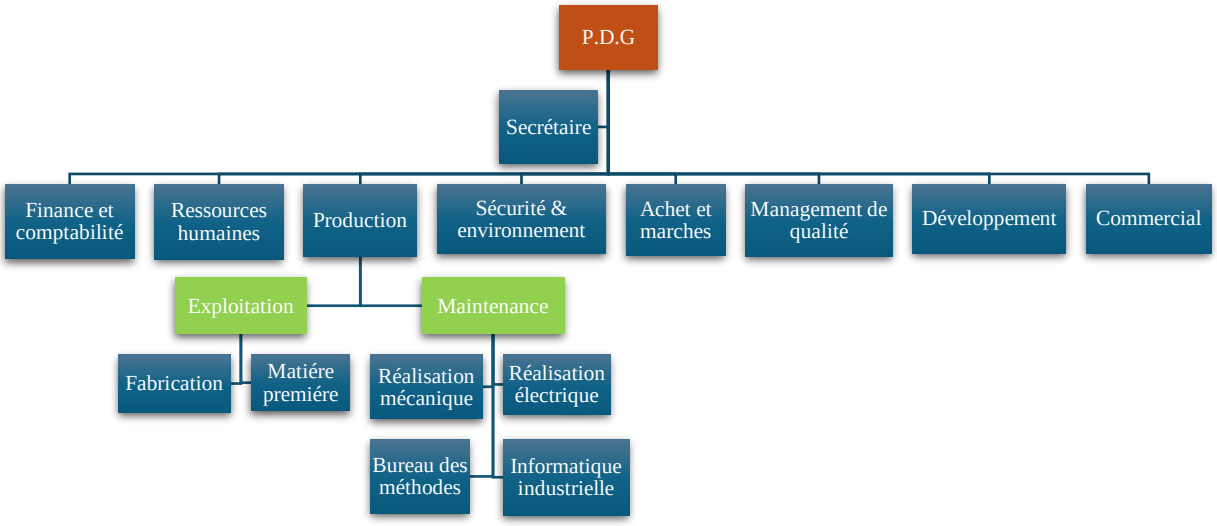


Figure 1.2: Organigramme de l'entreprise.

4. Produits fabriqués :

L'activité principale de l'entreprise est la fabrication (production) et la commercialisation (vente) du clinker et de différents types de ciment.

Les types de ciment que produit la cimenterie de Chlef sont les suivants :

-GICA BÉTON (CEM II/A-L42.5 N & R) : Ciment portland au calcaire pour tous travaux de constructions nécessitants des résistances élevées, il est aussi recommandé pour les utilisations de constructions des ouvrages d'art (ponts et tunnels…), infrastructure et superstructure pour bâtiments.

-GICA BÉTON (CEM I 42.5 N) : Ciment portland pour les bétons à hautes performances, il est recommandé particulièrement pour le bétonnage par temps froid.

-GICA BENIAN (CEM II/B-L 32.5 N) : Ciment portland au calcaire destiné pour tous travaux de maçonnerie, travaux d'aménagement de génie civil industriel et routier, il permet de réaliser toutes les étapes de construction de maisons.

-GICA MOUDHAD (CEM I 42.5 N-SR5) : Ciment portland à haute résistance aux environnements agressifs ayant une faible chaleur d'hydratation (LH-Low Heat), utile pour tous les travaux dans les milieux à haute teneur en sulfates.

-GICA INDJAZAT (CEM I 52.5 N) : Ciment portland gris à des résistances mécaniques élevées et de hautes performances, destiné spécialement pour les grands travaux d'infrastructures et superstructures.

Figure 1.3: Les types de ciment que produit la cimenterie de Chlef [3]

5. La nomenclature du ciment :

Selon [4] le nom des produits industriels (ciments) est régi par une nomenclature qui permet d'indiquer sa composition, à partir de son nom.

Exemple du ciment de Chlef : CPJ-CEM II/A 42, 5 R

- Le chiffre romain II indique le type de ciment (composition).
- La lettre A avec une majuscule signifie Algérienne.
- Les chiffres 42, 5 indiquent la classe de résistance.
- Finalement, la dernière lettre correspond à la résistance (soit R au jeune âge ou soit N normale).

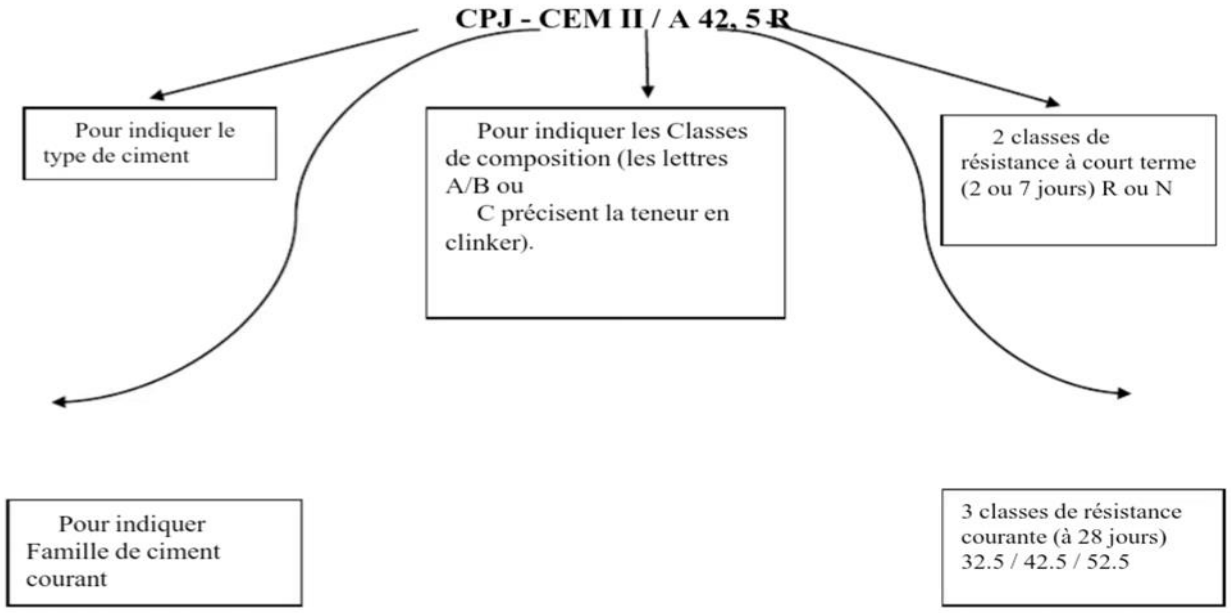


Figure 1.4: La nomenclature du ciment [5]

6. Procédé général de fabrication du ciment :

Le ciment est un liant hydraulique utilisé dans différents domaines, principalement dans le domaine de la construction. Il est obtenu en cuisson, en mélangeant et en broyant diverses matières premières.

La fabrication du ciment est un processus très complexe dans lequel les matières premières sont soumises à des transformations physico-chimiques successives jusqu'à obtenir le produit final.

Tout d'abord, sont mélangés du calcaire, de l'argile et des additifs tels que les minerai de fer est le sable ; ce mélange, connu sous le nom de « cru », est broyé et porté à une température élevée dans un four cylindrique.

Les transformations physico-chimiques provoquent la formation d'un produit nommé clinker. Par la suite l'ajout de différents éléments tels que le gypse, le calcaire nous donne le ciment [6].

*L'entreprise (ECDE) fabrique le ciment par le procédé de la voie Sèche. [7]

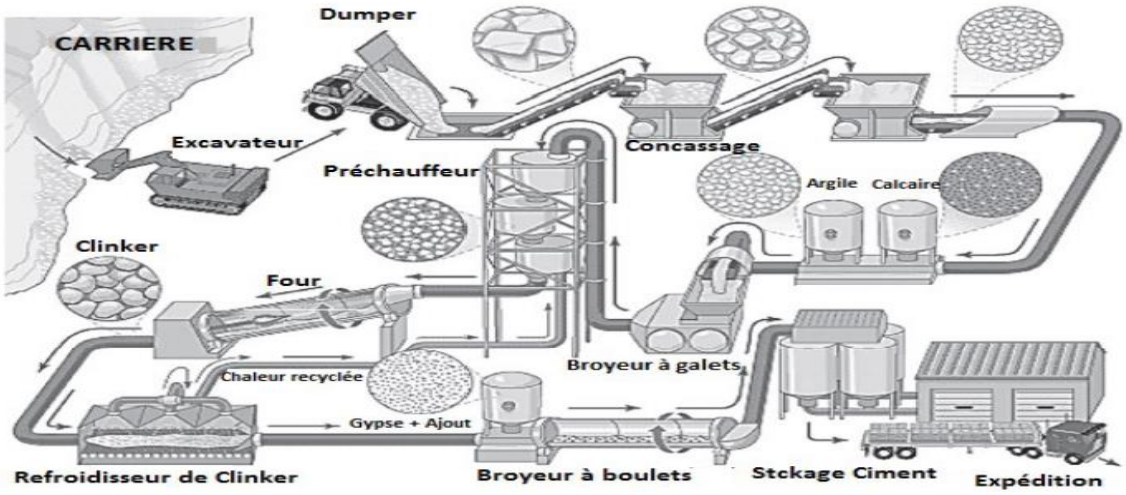


Figure 1.5: Procédé de fabrication du ciment par voie sèche [8].

7. Les étapes de la fabrication :

Le processus de fabrication du ciment passe par des étapes, et au niveau de l'ECDE l'usine est constituée de six grandes zones, chaque zone abrite une étape du processus de fabrication de ciment.

7.1 Zone carrière :

*Carrière SIDI LAROUSSI (calcaire).

*Carrière de MAAMERIA (argile).

*Carrière SIDI AMEUR (sable).

*Carrière de BOUZGHAIA (gypse). [9]

7.1.1. L'extraction des matières premières :

Il s'agit de l'extraction des matières premières vierges (calcaire 75 à 80% et argile 20 à 25%) à partir de carrières naturelles à ciel ouvert. On extrait ces matières premières des parois rocheuses en utilisant des explosifs ou une pelle mécanique. La roche est transportée vers un atelier de concassage

à l'aide de tombereaux (dumpers) ou de bandes transporteuses. Il est nécessaire d'échantillonner, de doser et de mélanger les matières premières afin d'obtenir une composition régulière au fil du temps. La prise d'échantillons en continu permet de déterminer la quantité des différents ajouts nécessaires (oxyde de fer, alumine et silice). [2]

Figure 1.6: Carrière de l'ECDE [1]

7.1.2. Le concassage :

L'objectif est de réduire la taille des blocs de 1 à 30 mm dans des concasseurs situés généralement sur le site de la carrière pour faciliter leur manutention. Ainsi, le mélange sera plus facile à transporter par bande, à stocker, à rependre de stocks et son écoulement des silos sera amélioré. Les camions transportent la matière première jusqu'à la trémie du concasseur, avec une capacité de 200 tonnes de calcaire et 100 tonnes d'argile. La matière descend vers les tabliers métalliques superposés entraines par des moteurs à courant continu et à vitesse variable (300 à 1500 t/mn), de puissance de 11 kW et 75 kW, des doseurs placés sous des tabliers métalliques permettent de contrôler la quantité de matière et le dosage du mélange demandé par le laboratoire. [7]

Figure 1.7: Concassages des matières premières au niveau de la carrière [9]

La matière ainsi obtenue est amenée par une bande transporteuse de 2.7 Km environ de capacité 1500 TH jusque dans l'usine. [10]

Figure 1.8: Trémie de réception mélange [1]

Figure 1.9: Bandes transporteuses.

7.2 Zone matières premières :

7.2.1. Stockage matière première, pré homogénéisation :

Le mélange (calcaire+argile) est stocké dans un hall de pré homogénéisation. La matière première est stockée automatiquement à l'aide d'un « strackeur » par couches horizontales, en deux tas de 50.000 tonnes chacun, ce qui garantit une sécurité de marche et une indépendance relative par rapport à la carrière. L'extraction de la matière ainsi stockée se fait verticalement à l'aide d'un appareil appelé « pont récupérateur ». La reprise sera de sorte que lors d'une passe on aura un produit mélangé ou toutes les couches stockées entrent dans la composition. Un transporteur à courroie envoie la quantité extraite de l'aire de stockage à la trémie mélange après que le laboratoire ait effectué le calcul matriciel du cru afin de déterminer les proportions des additifs pour des corrections éventuelles [6].

Figure 1.10: Un strackeur (ligne 3).

Figure 1.11: Un pont récupérateur (ligne 3).

7.2.2. Stockage des additifs de correction :

Un hall de stockage est utilisé pour stocker le minerai de fer, le calcaire pur et le sable, avec une capacité de 4000 tonnes pour le minerai de fer, 4000 tonnes pour le calcaire pur et 2000 tonnes pour le sable. Un gratteur latéral est utilisé pour extraire les produits additifs. La matière déversée sur un transporteur à bande est ensuite acheminée vers les silos de correction ou silos additifs, qui ont une capacité de 1000 tonnes chacun (calcaire, fer, sable). Ces silos sont équipés de doseurs automatiques qui respectent les normes du laboratoire. [10]

Figure 1.12: Un gratteur (ligne 3).

7.3 Zone crue :

Figure 1.13: Zone cru (ligne 3).

7.3.1. Broyage et séchage :

Une fois que la composition du cru est conforme aux exigences du processus, le produit est envoyé vers l'atelier de broyage. Le broyeur cru utilisé dans l'entreprise ECDE est le broyeur vertical à 4 galets (broyeur LOESHE). Le broyage s'effectue par écrasement et friction entre la table rotative et les meules tournantes à poste fixe. Le processus de séchage est obtenu grâce à l'échange thermique entre les gaz chauds provenant de la tour de préchauffage et la matière première, ce qui simplifie mécaniquement le processus de broyage. [1]

Figure 1.14: Broyeur LOESHE (ligne 1).

7.3.2. Séparateur :

Il est monté directement sur le corps supérieur du broyeur. La farine finement broyée est séparée à l'aide d'un séparateur centrifuge. Les grains qui dépassent la granulométrie souhaitée et dont la vitesse a été réglée sont refusés par force centrifuge et retournent sur la table pour être broyés à nouveau (circuit fermé). Les autres particules les plus fines, accompagnées de gaz, quittent la sortie du séparateur et sont aspirées dans la chambre de détente par un ventilateur. [1]

7.3.3. Chambre de détente :

Le grain, provenant du broyage, débouche sur une grande chambre constituée de six cyclones où la vitesse du gaz diminue brusquement, ce qui empêche l'emport des grosses particules (environ 80%) qui tombent au fond, tandis que les fines particules (20%) continuent d'être emportées vers les électrofiltres situés après la chambre de détente et qui sont utilisés pour le dépoussiérage. La chambre de détente n'effectue donc qu'une séparation grossière. La matière crue recueillie dans la chambre de détente et au niveau des filtres de dépoussiérage est récupérée par des vis sans fin et acheminée vers les silos d'homogénéisation. [1]

7.3.4. Homogénéisation :

Chaque ligne de fabrication est équipée par des silos d'homogénéisation de la matière Crue (farine) dont la capacité de chacun est de 6000 tonnes. Les aéroglisseurs transportent la matière vers les silos, les remplissant successivement. Une fluidisation continue de la matière est assurée par un système de circulation d'air, ce qui lui confère une stabilité et une homogénéisation de sa composition chimique et de sa finesse, avant d'être introduite dans la tour de préchauffage, garantissant ainsi une cuisson parfaite. [1]

7.4 Zone cuisson :

L'opération essentielle de la préparation du ciment est la cuisson pendant laquelle le clinker est fabriqué dans un four rotatif droit.

Pour optimiser le bilan thermique, le four est précédé d'un tour de préchauffage composé d'un ensemble de gros cyclones alignés en série, où la matière est chauffée. [7]

Figure 1.15: Four rotatif de l'ECDE (ligne 2).

Figure 1.16: Tour de préchauffage (ligne 2).

Les différentes étapes de la préparation d'après [7] :

1. Préchauffage et déshydratation des minéraux argileux à une température de matière de 500 à 600 C.
2. Décarbonatation est le début de la réaction de formation des minéraux du clinker entre 600 1000C°.

3. Chauffage et calcination de la matière avec apparition de la phase liquide entre 1000 et 1300C°
4. Poursuite de la formation des minéraux du clinker et clinkérisation totale à 1400C°.
5. Refroidissement du clinker par diminution de la température à 1300C°.

7.5 Zone ciment :

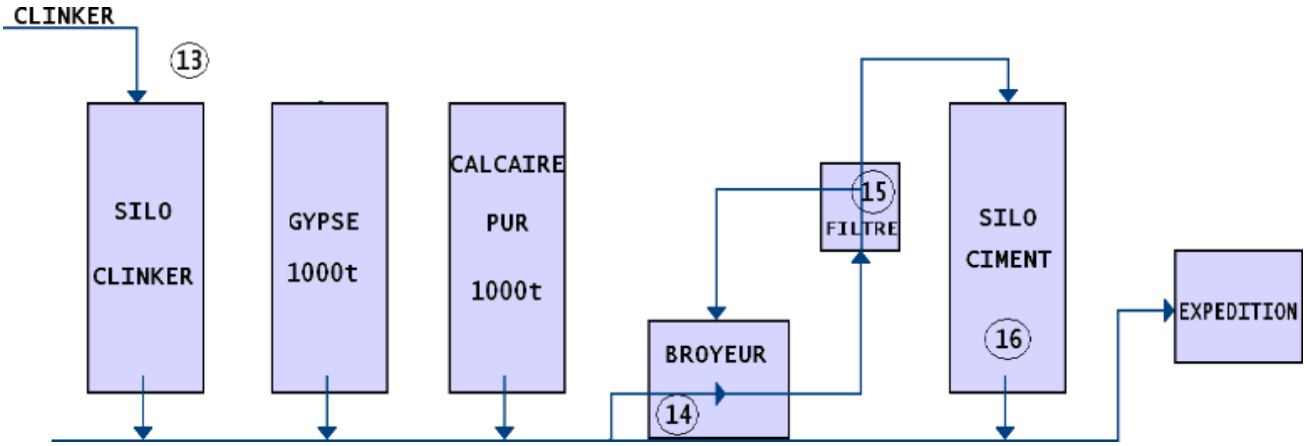


Figure 1.17: Zone ciment [1]

7.5.1. Stockage du clinker :

Le clinker se présente sous la forme des granulats de différents diamètres. Une fois que le clinker est refroidi, il est évacué par un tapis vers un silo où il sera conservé en attendant d'être broyé pour obtenir du ciment. [4]

Figure 1.18: Silos clinker (ligne3).

7.5.2. Broyage du ciment :

Le clinker est déposé sur un tablier métallique où des doseurs indiquent la proportion des ajouts consignée pour l'opération selon les analyses du laboratoire. On introduit le mélange (clinker + ajouts) dans un broyeur à boulets, un appareil cylindrique composé de deux compartiments chargés de boulets d'acier de diamètres allant de 60 à 80 cm [1], et qui est mis en rotation (20 tours/minute). Au niveau de l'entreprise ECDE, les ajouts principaux sont le gypse qui agit comme un retardateur de prise et le calcaire pour minimiser les couts de fabrication ainsi d'obtenir des quantités en plus [9].

Figure 1.19: Broyeur ciment (ligne 3).

7.5.3. Séparateur :

C'est un séparateur centrifuge à vis qui se compose de pâles de ventilation et de plaques de distribution. Les grosses particules tombent en chute libre, tandis que les particules plus fines sont réparties en mouvement hélicoïdal sur les parois du séparateur pour tomber dans l'aéroglisseur qui les achemine vers les silos ciment comme produit final. Les grosses particules sont renvoyées vers le broyeur afin d'être encore une fois broyées. [1]

7.6 Zone expédition :

7.6.1. Stockage et expédition du ciment :

Le ciment est acheminé vers des silos ciment par des aéroglisseurs de type ouvert, ce qui facilite sa fluidisation vers l'élévateur à godets. Ce dernier alimente les trémies à travers un sas vibrant à l'aide d'aéroglisseurs. Les ensacheuses rotatives ou les dispositifs de distribution de ciment en vrac sont alimentés par des trémies. [1]

L'expédition se fait automatiquement selon deux modes :

- Expédition en vrac camions et wagons.
- Expédition en sacs de 50 Kg : camions. [1]

Figure 1.20: Silos ciment (ligne 3).

Figure 1.21: Expédition en camions (ligne 3).

8. Laboratoire de l'usine :

L'industrie du ciment exige un contrôle rigoureux à tous les stades de la fabrication, matières premières, mélange cru, produits cuits et produits finis. La connaissance de la composition chimique et des caractéristiques physiques, permet de déterminer et de maintenir constantes les formules les plus favorables, tant au point de vue de l'aptitude à la cuisson des crus que de la qualité des produits finis. [1]

Figure 1.22: Laboratoire d'ECDE (ligne3).

9. Salle de contrôle de l'usine :

Les installations de production sont dirigées et contrôlées à distance par un seul opérateur depuis la salle de commande, celle-ci a été complètement rénovée en 2005 et équipée d'analyseurs de gaz et de scanners de surveillance. Ces moyens techniques très performants permettent d'assurer la bonne marche des opérations 24h sur 24h et 07 jours sur 07. En effet la salle est équipée par des écrans sur lesquels s'affichent en direct toutes les phases du processus de fabrication, au moindre problème l'opérateur intervient sur le champ soit pour le régler depuis la salle de contrôle ou dicter les mesures à prendre directement aux parties concernées. [1]

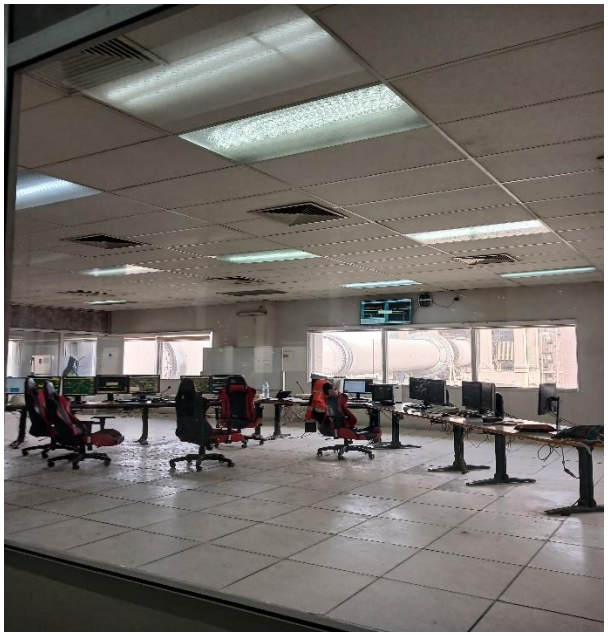


Figure 1.23: Salle de contrôle (ligne 1et2).

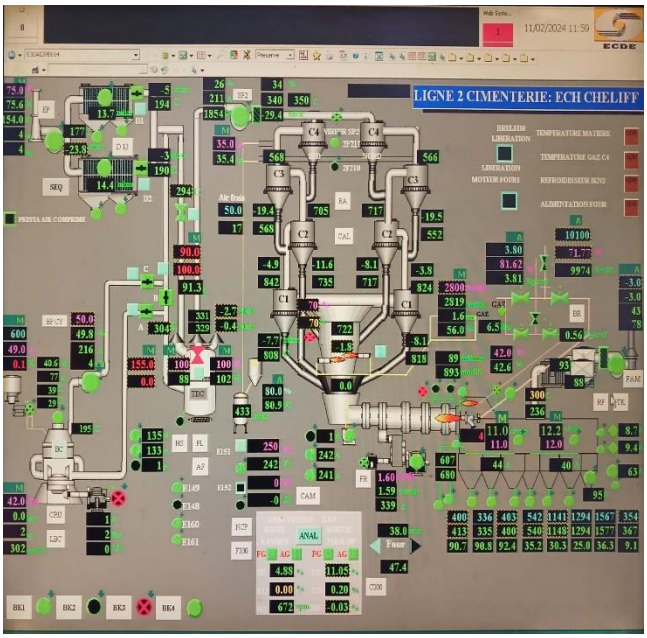


Figure 1.24: écran (ligne 2).

Conclusion :

Compte tenu de l'importance économique de la cimenterie et de son emploi d'un grand nombre de travailleurs avec un potentiel de production théorique de plus de 2 millions de tonnes de ciment, l'ECDE de Chlef, se hisse parmi les unités de production les plus performantes de son secteur en termes de capacité de production et de distribution couvrant une bonne partie du territoire national.

Chapitre 2 :

Les principaux concepts de la maintenance

Introduction :

La maintenance occupe une place fondamentale dans le fonctionnement efficace et durable des équipements industriels. Au cœur de toute activité de production, elle vise à garantir la disponibilité, la fiabilité et la performance des machines et des installations. Dans un environnement où les coûts de production, la compétitivité et la satisfaction client sont des enjeux majeurs, la maintenance revêt de plus en plus une importance stratégique pour les entreprises de tous secteurs.

1. Historique de la maintenance :

Dans le domaine industriel, jusqu'aux années 1800, l'accent était principalement mis sur l'entretien. Cela impliquait la surveillance de l'équipement ainsi que des tâches de nettoyage, de lubrification et de réparation en cas de panne. À cette époque, l'idée dominante était que la conception des équipements était fiable et que les pannes étaient considérées comme rares. Paradoxalement, la fiabilité des conceptions s'est révélée être en contradiction avec cette attente.

Au début du 20ème siècle, les organisations nationales et les entreprises ont commencé à mettre en place des contrôles et une surveillance rigoureuse en raison des dommages potentiellement dangereux causés par les dysfonctionnements des équipements.

Entre 1940 et 1945, une nouvelle méthodologie a émergé, connue sous le nom de maintenance préventive systématique. Bien qu'elle ne soit pas considérée comme optimale, elle impliquait de planifier les interventions de maintenance sur les équipements et de remplacer les pièces susceptibles de tomber en panne lors de ces interventions. Cette approche a été largement adoptée et est devenue la pratique dominante dans le domaine de la maintenance.

Entre les années 1960 et 1970, les principes de fiabilité et de maintenabilité ont commencé à émerger. Pendant cette période, l'approche de la maintenance était basée sur l'historique des pannes et des modèles statistiques, ce qui la rendait plus rentable pour les entreprises. Dès lors, la maintenance est devenue une fonction majeure, surpassant même la production en termes de dépenses et d'investissements. L'introduction de la maintenance conditionnelle a ajouté une nouvelle dimension en mettant l'accent sur le fait que les interventions ne devraient être effectuées qu'après l'analyse des équipements et la détection des pannes. Cette approche était considérée comme supérieure à une intervention systématique, qui pouvait causer des anomalies inexistantes auparavant.

Depuis les années 1970, la maintenance productive totale (TPM) est devenue une approche de maintenance prédominante, mettant l'accent sur l'optimisation des équipements en impliquant les opérateurs dans les processus de maintenance, en particulier au niveau 01. La participation de tous les

membres des cercles de maintenance est également encouragée pour améliorer la qualité de la maintenance.

Les années 2000 ont vu d'importantes avancées en informatique, conduisant à de nouvelles pratiques de maintenance telles que la gestion de la maintenance assistée par ordinateur (GMAO), la maintenance assistée par ordinateur (MAO) et la télémaintenance pour surveiller les équipements à distance. La maintenance 4.0 a également été introduite à cette époque, impliquant l'intégration de l'intelligence artificielle dans diverses applications de maintenance. [11]

2. Définitions :

D'après [12], selon la norme NF EN 13306 :

2.1 Fonction requise : fonction ou ensemble de fonctions d'un bien considérées comme nécessaires pour fournir un service donné.

2.2 Bien : Tout élément, composant, mécanisme, sous-système, unité fonctionnelle, équipement ou système qui peut être considéré individuellement.

2.3 Panne : État d'un bien inapte à accomplir une fonction requise, excluant l'inaptitude due à la maintenance préventive ou à d'autres actions programmées ou à un manque de ressources extérieures. Elle se subdivise en :

- **Panne masquée :** situation dans laquelle une panne existe dans une partie du bien, mais ne peut être détectée en raison d'une panne du bien lui- même ou à cause d'une autre panne de cette même partie ou d'une panne d'une autre partie.
- **Panne latente :** panne existante, mais qui n'a pas encore été détectée.
- **Panne partielle :** panne caractérisée par le fait que le bien ne peut accomplir que quelques-unes de toutes les fonctions requises.

2.4 La maintenance : Ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise.

2.4.1 Stratégie de la maintenance : Méthode de management utilisée en vue d'atteindre les objectifs de maintenance.

2.4.2 Le management de la maintenance : Toutes les activités des instances de direction qui déterminent les objectifs, la stratégie et les responsabilités concernant la maintenance et qui les mettent

en application par des moyens tels que la planification, la maîtrise et le contrôle de la maintenance, l'amélioration des méthodes dans l'entreprise, y compris dans les aspects économiques.

3. Type ou Forme de maintenance :

Il existe deux formes principales de maintenance : la maintenance préventive et la maintenance corrective. Chaque type regroupe plusieurs sous-types, chacun ayant sa signification dans le domaine d'intervention. Dans la partie suivante, nous explorerons toutes les formes et sous-formes de maintenance applicables dans différents systèmes.

3.1 Maintenance corrective (norme EN 13306) :

Maintenance exécutée après détection d'une panne et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise.

3.1.1 Maintenance palliative (X60-319/NF EN 13306) :

Action de maintenance corrective destinée à permettre à un bien d'accomplir provisoirement tout ou une partie d'une fonction requise, appelée couramment dépannage.

3.1.2 Maintenance curative (X60-319/NF EN 13306) :

Une action de maintenance corrective ayant pour objet de rétablir un bien dans un état spécifié pour lui permettre d'accomplir une fonction requise. Le résultat des actions réalisées doit présenter un caractère permanent.

3.2 Maintenance préventive (norme FD X 60-000) :

Maintenance effectuée dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance d'un bien ou la dégradation d'un service rendu. Elle se subdivise en :

3.2.1 Maintenance conditionnelle (norme FD X 60-000) :

Maintenance préventive subordonnée à un type d'événement révélateur de l'état du bien.

3.2.2 Maintenance systématique (norme FD X 60-000) :

Maintenance préventive effectuée selon un échéancier établi, suivant le temps ou le nombre d'unités d'usage.

3.2.3 Maintenance prévisionnelle (norme AFNOR NF X 60-000) :

Maintenance préventive subordonnée à l'analyse de l'évolution surveillée de paramètres significatifs de la dégradation du bien permettant de retarder et de planifier les interventions. Elle est parfois improprement appelée maintenance prédictive. [12]

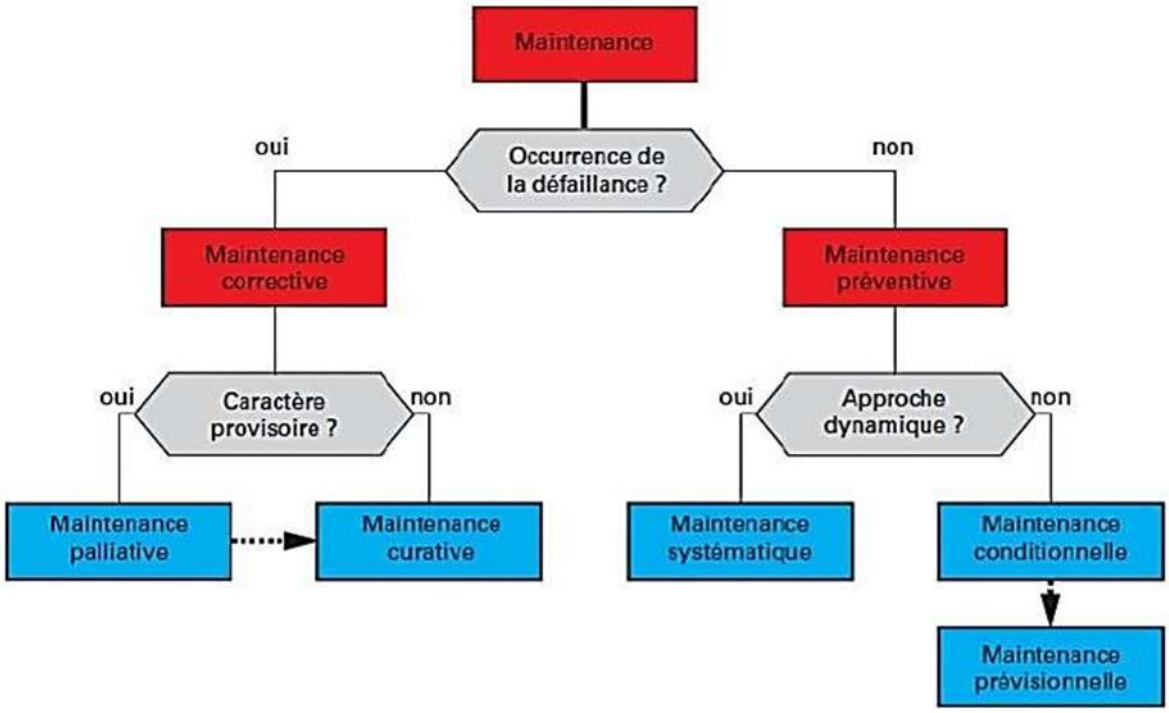


Figure 2.1 : Types de maintenance [11]

4. Les niveaux de la maintenance :

Les interventions de maintenance varient selon leur complexité et leurs exigences techniques. Ci-dessous, nous définissons les différents niveaux de maintenance :

Tableau 2.1 : Les niveaux de maintenance [12]

Niveau	Définitions	Exemple
Niveau 01	Le niveau le plus basique de maintenance, impliquant des interventions simples sur des équipements facilement accessibles. Qui peuvent être réalisées à l'aide d'équipements de soutien, de biens ou selon les instructions d'utilisation.	**Maintenance préventive :** - Graissage quotidien. - Purge des éléments filtrants. - Contrôle et remplacement des valeurs d'état ou des unités d'usage. **Maintenance corrective :** - Remplacement des composants sur des équipements facilement accessibles.

Niveau 02	Ce niveau nécessite une main-d'œuvre qualifiée suivant des procédures simples et/ou des équipements de soutien définis dans les instructions de maintenance.	**Maintenance préventive :** - Suivi des paramètres des équipements pendant le fonctionnement à l'aide de moyens de mesure intégrés ou externes. - Graissage à périodicité réduite (hebdomadaire, mensuelle). **Maintenance corrective :** - Remplacement par échange standard de pièces telles que les fusibles, les courroies.
Niveau 03	Ce niveau nécessite un technicien qualifié suivant des procédures complexes et/ou utilisant des équipements de soutien spécifiques définis dans les instructions de maintenance.	**Maintenance préventive :** - Visite de maintenance préventive sur des équipements complexes. **Maintenance corrective :** - Réparation de fuites de fluide frigorigène.
Niveau 04	Il s'agit d'opérations nécessitant la maîtrise des techniques et des technologies par un technicien ou une équipe spécialisée, en suivant toutes les instructions de maintenance.	**Maintenance préventive :** - Révisions partielles ou générales. - Révisions d'une pompe en atelier. **Maintenance corrective :** - Remplacement de clapet sur un compresseur.
Niveau 05	Ces opérations concernent la reconstruction ou la rénovation, nécessitant un savoir-faire ainsi que la maîtrise des techniques, des processus et/ou des équipements de soutien industriels.	**Maintenance préventive :** - Révisions générales avec démontage complet de la machine. **Maintenance corrective :** - Rénovation d'une machine.

5. Les actions de la maintenance :

La maintenance englobe non seulement l'ensemble des interventions techniques, mais également l'organisation et la gestion administrative qui garantissent, par exemple, la

disponibilité de pièces de rechange pour maintenir un bien. Les actions de maintenance sont divisées en deux catégories :

5.1 Actions administratives : Il s'agit de l'ensemble des actions dédiées à l'organisation et à la gestion de la maintenance.

5.2 Actions techniques : Ces actions regroupent toutes les interventions techniques réalisées au niveau des équipements. [12]

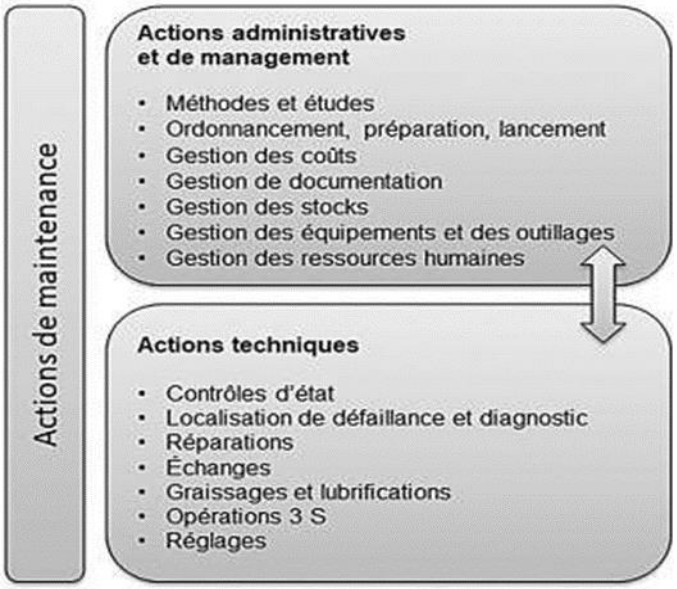


Figure 2.2 : Actions de la maintenance [11]

6. Les enjeux de la maintenance :

6.1 Enjeux économiques :

La négligence ou l'insuffisance de la maintenance au sein d'une entreprise peut entraîner des pertes financières considérables ainsi que des dommages qui affectent non seulement les équipements, mais aussi le personnel. Une gestion inadéquate de la maintenance peut avoir des répercussions indirectes sur la part de marché de l'entreprise, en réduisant la disponibilité des équipements, le taux de production et la qualité des produits, ce qui peut entraîner une détérioration de l'image de marque.

6.2 Enjeux technologiques :

La maintenance joue un rôle crucial dans l'amélioration des connaissances humaines et contribue à la croissance technologique. Par exemple, une simple opération de démontage/remontage d'un équipement ou le remplacement d'un composant peut considérablement améliorer son état et sa conception.

6.3 Enjeux sociaux :

La maintenance influence la sécurité et la protection de l'environnement en assurant le bon fonctionnement des biens, particulièrement crucial dans un contexte où les dangers dans divers secteurs sont en augmentation. De plus, la maintenance crée de nouveaux emplois et des opportunités professionnelles, ce qui contribue à réduire le chômage et à exploiter pleinement les compétences disponibles. [12]

7. Les indicateurs de performance :

Le département de maintenance a implémenté des mesures visant à surveiller et à améliorer à la fois l'état des équipements et leur efficacité. Ces mesures sont organisées sous forme d'indicateurs de performance, qui peuvent être subdivisés en deux mesures principales, d'après [11] :

- **Mesure de disponibilité d'un bien :**

5.2.Taux d'engagement du bien :

C'est l'indicateur qui donne une estimation d'engagement du bien à la production :

$$\frac{\textbf{Temps requis}}{\textbf{Temps total}}$$

7.2. Indicateur de disponibilité opérationnelle :

Un bon indice de savoir l'état de disponibilité de l'équipement, peut se calculer par :

$$\frac{\textbf{Temps effectif de disponibilité}}{\textbf{Temps requis}}$$

Ou bien :

$$\frac{\boldsymbol{MTBF}}{\boldsymbol{MTTR + MTBF}}$$

7.3. Taux d'utilisation d'un bien :

Aussi dit « Taux d'exploitation du bien » : Indicateur permettant de connaitre le taux d'utilisation d'équipement :

$$\frac{\textbf{Temps de fonctionnement}}{\textbf{Temps effectif de disponibilite}}$$

7.4. Indice de comparaison des performances d'exploitation :

Dédier pour la mesure du niveau d'exploitation d'un équipement :

$$\frac{\textbf{Temps de bon fonctionnement}}{\textbf{Temps requis}}$$

- **Mesure d'indisponibilité pour maintenance :**

7.5. Pénalité d'indisponibilité :

Puisque l'indisponibilité d'un équipement cause des pertes financières dus à la pénalité des retards, on la mesure comme suit :

$$\frac{\textbf{Temps propre d'indisponibilite pour maintenance}}{\textbf{Temps requis}}$$

7.6. Indicateurs des effets externes :

Il nous permet de savoir les causes externes qui influent l'indisponibilité pour maintenance :

$$\frac{\textbf{Temps propre d'indisponibilite pour maintenance}}{\textbf{Temps effectif d'indisponibilite}}$$

7.7. Indicateur d'efficacité globale :

Mesure la charge du personnel de maintenance relativement a des prévisions de fonctionnement ou production :

$$\frac{\textbf{Temps propre d'indisponibilite pour maintenance}}{\textbf{Temps de fonctionnement ou quantite de production}}$$

7.8. MTBF « Mean Time Between Failure »:

Signifie le temps de bon fonctionnement entre deux pannes, s'écrit :

$$\textbf{MTBF} = \sum \frac{\textbf{Temps de bon fonctionnement}}{\textbf{Nombre de defaillance}}$$

7.9. MTTR « Mean Time To Repair »:

C'est le temps moyen de réparation d'un bien :

$$\mathbf{MTTR} = \sum \frac{\textbf{Temps des activites de maintenance corrective}}{\textbf{Nombre de defaillance}}$$

7.10. MUT (Mean Up Time) :

Après une réparation, $MTTF$ et MUT sont presque équivalents en supposant que le système revient à son état d'origine. Essentiellement, cela signifie que MUT mesure le temps moyen entre les pannes suite à une réparation.

7.11. MDT (Mean Down Time) :

En additionnant les temps de réparation, de détection et de mise en service, vous obtenez le temps d'arrêt moyen. La détection du problème et la résolution du problème sont parfois considérées comme insignifiantes, ce qui conduit à une équation qui ressemble à ceci : $MDT \approx MTTR$.

Dans la figure 3 on aura les différents temps vécus par un bien entre deux pannes :

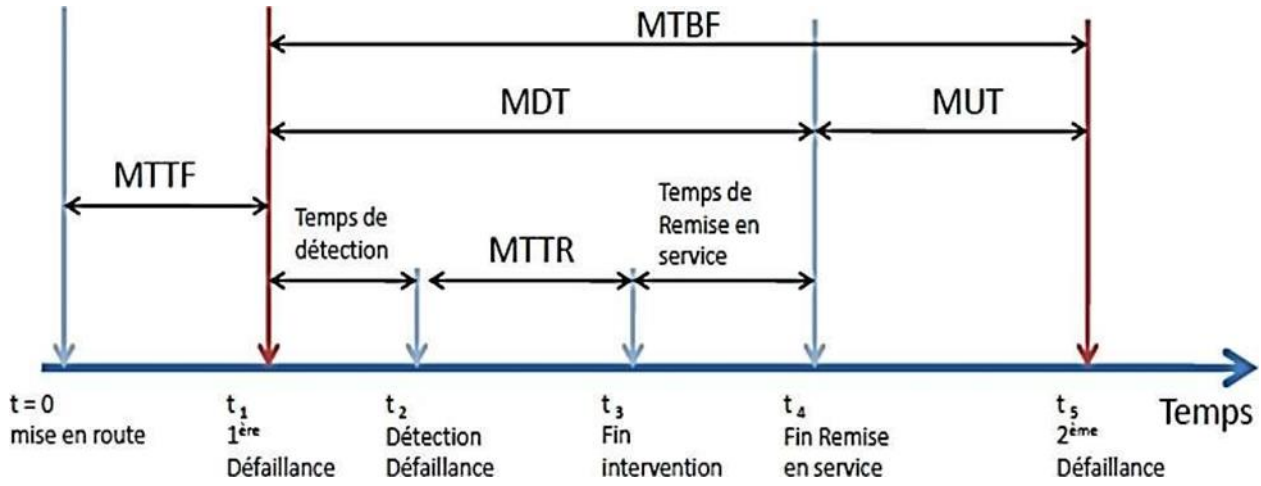


Figure 2.3 : Durées caractéristiques [13]

8. Objectifs de la maintenance :

8.1 Objectifs opérationnels :

- Maintenir le bien dans un état acceptable et optimal sur le long terme.
- Garantir une disponibilité maximale à un coût raisonnable.
- Éliminer les pannes de manière proactive et économique.
- Maximiser la durée de vie du bien.

- Planifier le remplacement du bien selon des périodes prédéterminées.
- Assurer des performances de haute qualité pour le bien.
- Garantir un fonctionnement sûr et efficace du bien.
- Obtenir un rendement maximal de l'investissement dans le bien.
- Maintenir le bien dans un état de propreté optimale.

8.2 Objectifs de coût :

- Minimiser les dépenses liées à la maintenance.
- Respecter les contraintes budgétaires définies pour la maintenance.
- Examiner les dépenses de maintenance en fonction du service requis, du taux d'utilisation et de l'âge des installations.
- Autoriser une certaine flexibilité budgétaire pour faire face à des dépenses imprévues, sous la responsabilité du responsable de la maintenance. [14]

9. Rôle de la maintenance :

La maintenance est essentielle pour garantir la rentabilité des investissements matériels de l'entreprise, tout en préservant son potentiel d'activité et en respectant la politique définie par la direction. Dans ce contexte, la fonction maintenance doit prendre en compte plusieurs aspects [15] :

- **Les prévisions à long terme** sont généralement liées à des investissements ou des projets majeurs qui s'étendent sur de longues périodes. Elles reposent principalement sur les projections établies par les politiques de l'organisation.
- **Les prévisions à moyen terme** nécessitent une exécution des travaux de maintenance avec discrétion afin de ne pas perturber le calendrier de production. Il est crucial que l'équipe de maintenance soit préparée et anticipe ses interventions en fonction des programmes de production. De même, le service de production doit intégrer les exigences de maintenance dans son processus de planification des matériaux.
- **Les prévisions à court terme** peuvent aller de quelques heures à une journée voire une semaine. Même dans de tels cas, les interventions doivent être planifiées de manière à perturber le moins possible la production. [11]

10.Méthode Pareto, ABC, 20-80 :

Cette méthode est devenue universelle, à tel point que toutes les méthodologies la récupèrent et l'utilisent.

La maintenance brasse de nombreuses données : des travaux, des équipements, des défaillances, des pièces de rechange, etc., qu'il faut pouvoir traiter sélectivement, c'est-à-dire en étant sûr de se concentrer sur les phénomènes principaux.

Pareto est l'outil de base. Dès que l'on dispose de plusieurs centaines de données, il permet de rester concentré sur les 20% de causes qui produisent 80% des effets.

Il en existe trois formes d'usages complémentaires :

- La méthode ABC de Pareto.
- Le diagramme de Pareto en bâton.
- Les trois diagrammes de Pareto en NT. [16]

10.1.La méthode ABC de Pareto :

10.1.1. Principe de la méthode ABC :

Wilfredo Pareto (1848-1923) était un économiste italien, précurseur de l'économie mathématique. Ayant à étudier la répartition de l'impôt foncier aux États-Unis, il constata que 15% des contribuables payaient 85% du total. Cette loi de Pareto, dite loi ABC ou loi des 20-80, illustre de nombreuses répartitions. Quelques exemples en maintenance :

- 20% des équipements comptent 75% des défaillances enregistrées ;

- 20% des pièces en magasin représentent 85% de la valeur en stock ;

La méthode ABC permet donc au gestionnaire d'identifier des cibles d'actions prioritaires, mais également de déterminer les éléments négligeables pour alléger l'étude. [16]

10.1.2. Les étapes d'application de la méthode :

D'après [11] et [17] Ordonné comme suit :

- Créer une liste des acteurs du phénomène. Ces acteurs peuvent être : des équipements, des articles en stocks etc.

- Classer ces acteurs selon l'objet de l'étude de façon décroissante. Par exemple selon : le nombre des pannes, les temps etc.

- Calculer le pourcentage de chaque acteur par rapport au total.

- Faire le cumul de ces pourcentages.

- Tracer la courbe en fonction des pourcentages cumulés.

- Deviser les zones 80%, 95%,100%.

- Interpréter les résultats.

Conclusion :

Ce chapitre a permis de retracer l'évolution de la maintenance industrielle à travers les âges, mettant en lumière son passage d'une simple surveillance à une discipline complexe et stratégique. De l'entretien de base à la maintenance prédictive et à la maintenance 4.0, nous avons vu comment les pratiques de maintenance ont évolué pour répondre aux exigences croissantes de fiabilité et d'efficacité des équipements industriels. Comprendre l'histoire et les principes de la maintenance est essentiel pour appréhender son rôle crucial dans la gestion des actifs et la performance globale des entreprises. Ce chapitre consolide les bases nécessaires pour approfondir notre analyse de la fiabilité de la chaîne de production et identifier les meilleures pratiques à adopter.

Chapitre 3 :

F.M.D

(Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité)

INTRODUCTION :

Le concept de FMD, qui signifie fiabilité, maintenabilité et disponibilité, est une approche intégrée qui vise à garantir le bon fonctionnement des équipements en mettant l'accent sur la fiabilité, la maintenabilité et la disponibilité.

La notion de combinaison des trois termes susmentionnés est fréquemment employée pour faire l'évaluation de l'efficacité d'un système et faire des choix éclairés concernant son entretien, sa réparation et son amélioration.

La notion fiabilité d'un bien se définit comme son aptitude à accomplir une fonction requise dans des conditions données pendant un temps déterminé, Ceci est réalisé en réduisant la possibilité d'erreur, en garantissant quels composants cruciaux du système sont conçus pour fonctionner de manière fiable.

La notion de maintenabilité concerne la facilité à remettre ou maintenir un bien en bon état de fonctionnement

Enfin, la disponibilité est la durée pendant laquelle un système est prêt à remplir sa fonction désignée.

La FMD est un concept clé pour garantir la performance, la durabilité et la rentabilité des systèmes, ainsi que la satisfaction des utilisateurs.

Dans ce chapitre, nous allons détailler chaque terme séparément, les méthodes de l'évaluer ainsi que les lois contribuant à son calcul.

1. La fiabilité :

1.1. Définition de la fiabilité :

D'après [18] :

« La fiabilité est la caractéristique d'un dispositif exprimée par la probabilité que ce dispositif accomplisse une fonction requise dans des conditions d'utilisation données et pour une période de temps déterminée. »

« La fiabilité est l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise, dans des conditions données, pendant un intervalle de temps donné. »

1.2. Types de fiabilité :

1.2.1 Fiabilité opérationnelle :

C'est la fiabilité d'un produit en période d'utilisation normale elle consiste à analyser les performances d'un ensemble des dispositifs identiques dans des environnements d'exploitation réels.

Cette analyse statistique est basée sur le retour d'expérience. Lorsqu'il s'agit d'un nombre important d'appareils, la probabilité moyenne dérivée de cette rétroaction devient pertinente.

Son expression est :

$$\mathbf{R(t)} = \frac{\textbf{Nombre moyen d'entités non défaillantes a l'instant « t »}}{\textbf{Nombre total d'entités } [\mathbf{O, t}]}$$

Le système est supposé être sans défaillance à l'instant « t = 0 ». [11] et [19]

1.2.2. Fiabilité prévisionnelle :

Elle estime la fiabilité future du produit, elle est basée sur des considérations de conception du système et sa fiabilité opérationnelle.

Cette estimation se fonde sur : « l'évaluation du taux de défaillance probable » et « le temps moyen sans défaillance ». [11] et [19]

Mathématiquement est donnée comme suit :

$$\boldsymbol{R(t)} = \textbf{Probabilité } (\textbf{systeme non défaillant sur } [\mathbf{0}, \boldsymbol{t}])$$

1.3. Les paramètres nécessaires de la fiabilité :

1.3.1. Les fonctions F(t) et R(t) :

Selon [20] F(t) est la fonction qui désigne la probabilité qu'un dispositif choisi d'une population au hasard a l'instant t soit défaillant :

$$\boldsymbol{F(T)} = \boldsymbol{P}\ (\boldsymbol{T} \leq \boldsymbol{t})\ ;\ \mathbf{t} \geq \mathbf{0}$$

La figure ci-dessous donne l'allure de cette fonction :

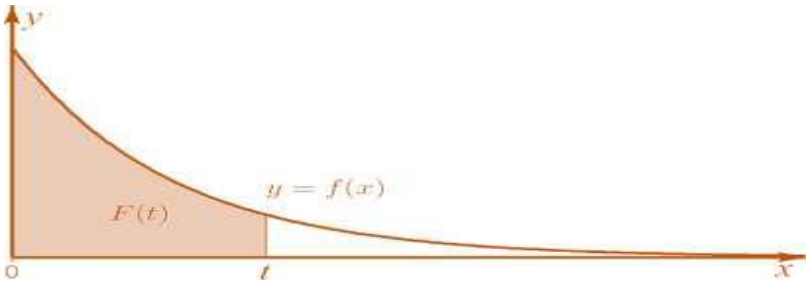


Figure 3.1 : Fonction de défaillance F(t) [11]

La fonction R(t) est le complémentaire de la fonction F(t) représente la probabilité d'un élément choisi aléatoirement d'être en bon état et fiable avant l'instant t. [20]

$$\boldsymbol{F(t)} + \boldsymbol{R(t)} = \mathbf{1} \Rightarrow \boldsymbol{R(t)} = \mathbf{1} - \boldsymbol{F(t)}$$

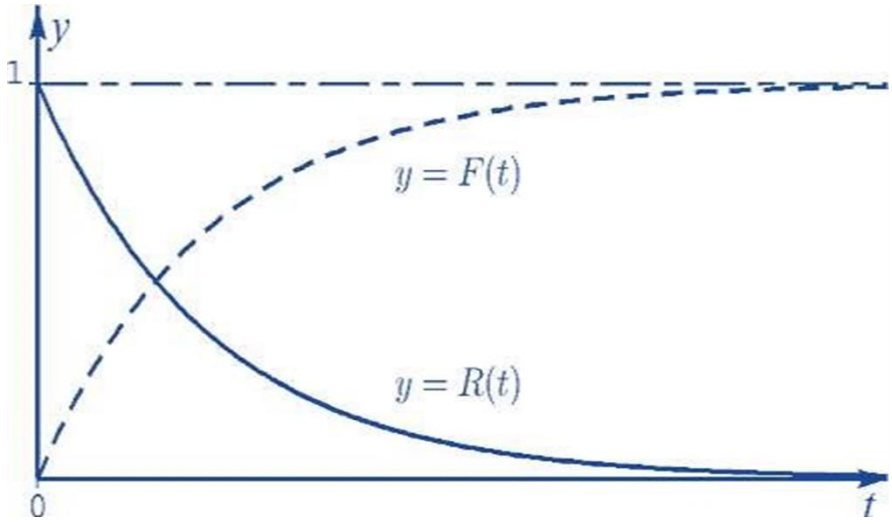


Figure 3.2 : Fonctions associées [11]

1.3.2. Taux de défaillance instantané λ(t) :

Le taux de défaillance instantané décrit par :

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

Le terme λ(t)×Δt mesure la probabilité de défaillance d'un dispositif sur l'intervalle [t+Δt] avec une condition que ce dispositif a fonctionné correctement jusqu'à t. [11]

$$\lambda(t) = -\frac{dR(t)}{dt} \times \frac{1}{R(t)} \quad (III.\ 2)$$

$$= \frac{dF(t)}{dt} \times \frac{1}{R(t)} \quad (III.\ 3)$$

On a l'équation différentielle suivante :

$$\frac{dR(t)}{dt} + \lambda(t) \cdot R(t) = 0 \quad (III.\ 4)$$

Sa résolution donne la fonction de fiabilité R puis on déduit la fonction de défaillance F. [20]

On alors :

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(x)\,dx} \qquad \Rightarrow \qquad F(t) = 1 - e^{-\int_0^t \lambda(x)\,dx}$$

La fonction du taux de défaillance λ(t) suit une courbe dite courbe en baignoire :

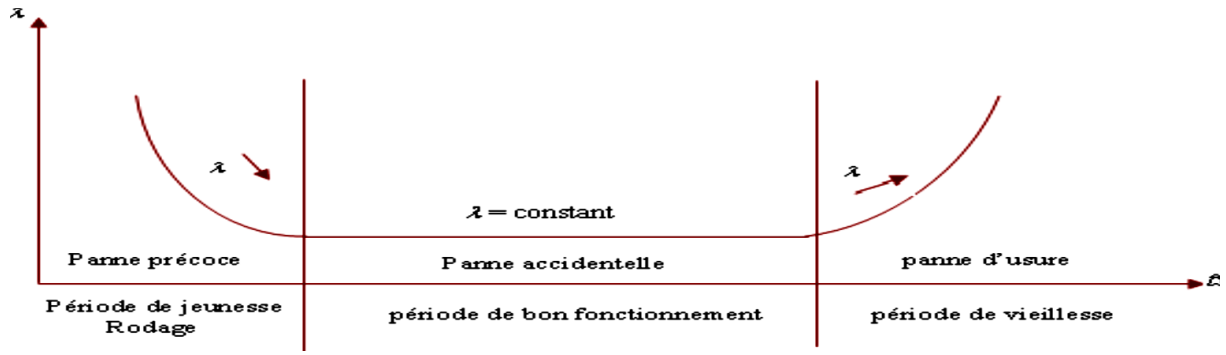


Figure 3.3 : Courbe en baignoire [11]

Selon [19] et [11] elle caractérise trois phases (périodes) principales :

•Phase 1 « Période de jeunesse ou rodage » : Pendant cette phase initiale, le taux de défaillance diminue rapidement en raison de l'élimination des défauts de fabrication et de la sélection des composants. Le système est considéré comme relativement fiable pendant cette période.

• Phase2 « Période de bon fonctionnement » : Pendant cette phase, le taux de défaillance reste généralement constant à un niveau relativement bas. Le système est considéré comme étant en bon état de fonctionnement et ne nécessite généralement que des opérations de maintenance préventive pour maintenir sa fiabilité.

• Phase 3 « Période de vieillissement » : comme le montre son nom, c'est la période où les composants connaissent un vieillissement et usure, où le taux de défaillance subit une croissance remarquable.

Physiquement λ calculer comme :

$$\lambda = \frac{\textbf{Nombre total de defaillance pendant le service}}{\textbf{Temps de bon fonctionnement}}$$

1.3.3. Fonction de densité de probabilité f(t) :

La densité de probabilité de défaillance peut être calculée par :

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} \quad (III.\ 5)$$

Ou bien :

$$f(t) = -\frac{dR(t)}{dt} \quad (III.\ 6)$$

1.3.4. MTBF « temps de bon fonctionnement » :

Mathématiquement déduire par :

$$MTBF = \int_0^{\infty} R(t)dt \quad (III.\ 7)$$

Ou bien :

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \quad ; \lambda : Cte \quad (III.\ 8)$$

1.3.5. MTTF: « Mean Time To Failure »:

Le temps moyen de fonctionnement jusqu'à l'occurrence de la première panne :

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t)dt \quad (III.\ 9)$$

1.3.6. MUT : « Mean Up Time » :

C'est la mesure des moyens temps de bon fonctionnement après la réparation :

$$MTBF = MTTR + MUT$$

1.4. Fiabilité d'un système :

La fiabilité d'un système, qu'il soit électronique, mécanique ou autre, dépend de la fiabilité de ses composants individuels. Les systèmes électroniques sont généralement plus simples à évaluer car chaque composant contribue significativement à la fiabilité globale. Les calculs reposent sur l'hypothèse de taux de défaillance constants dans le temps. En revanche, pour les systèmes mécaniques, la fiabilité est souvent déterminée par quelques composants clés, rendant l'évaluation plus complexe en raison des relations statiques et dynamiques entre eux. [20]

1.4.1. Système avec « n » composants en série :

RS la fiabilité totale des n composant en série égale le produit des fiabilités de chaque composant [20] :

$$RS = RA \times RB \times RC \times \ldots \times Rn \quad (III.\ 10)$$

Si $\boldsymbol{\lambda}$: $\boldsymbol{cte}$ sera calculée suivant la formule :

$$\boldsymbol{R(S) = (e^{-\lambda At}) \times (e^{-\lambda Bt}) \times (e^{-\lambda Ct}) \times \dots \times (e^{-\lambda nt})} \quad (III.\ 11)$$

Avec :

$$\boldsymbol{MTBF_s = \frac{1}{\lambda_A + \lambda_B + \lambda_C + \dots + \lambda_n}} \quad (III.\ 12)$$

Si les « n » composants ont la même valeur de fiabilité : $\boldsymbol{R(s) = Rn}$

Et si les composants sont identiques :

$$\boldsymbol{R_s = e^{-\lambda_n t}} \qquad \text{Et} \qquad \boldsymbol{MTBF_s = \frac{1}{n \times \lambda}}$$

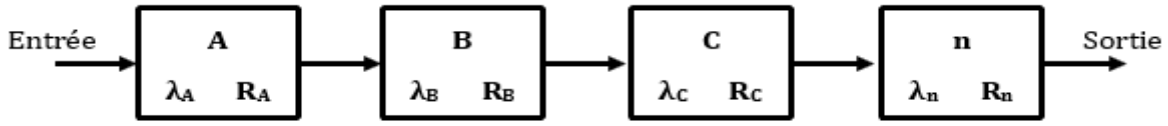


Figure 3.4 : Composants en série [11]

1.4.2. Système avec « n » composants en parallèle :

Le système en parallèle est un système plus fiable que ceci en série : le système parallèle ne peut tomber en panne si les n composants tombent en panne au même moment. [11]

Sachant que : Fi et Ri sont des fonctions complémentaires

Pour « n » composants en parallèle : $\boldsymbol{Rp = 1 - (1 - R)^n}$ $(III.\ 13)$

Si λ est constant :

$$\boldsymbol{R_p = 1 - (1 - R_A)(1 - R_B) = R_A + R_B - R_A.R_B = e^{-\lambda_A t} + e^{-\lambda_B t} - e^{-(\lambda_A + \lambda_B)t}}$$

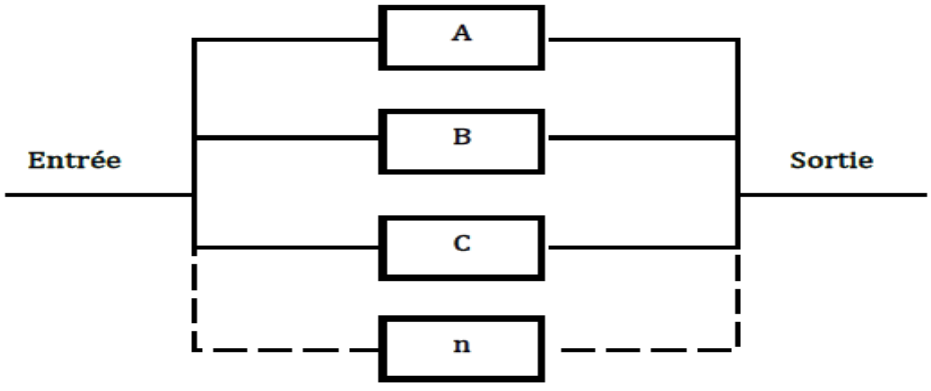


Figure 3.5 : Composants en parallèle [11]

1.5. Les lois de probabilités en fiabilité :

On distingue deux catégories :

1.5.1. Lois discrètes :

Tableau 3.1 : Les lois de probabilités discrètes [11] [19]

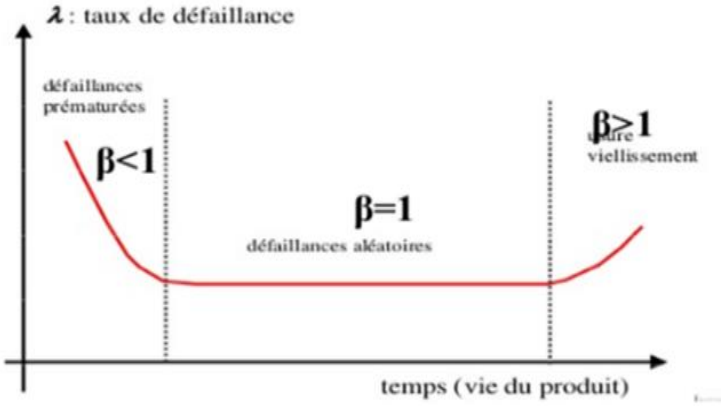
Loi uniforme	• Sur l'intervalle (0, a) : $$f(t) = \begin{cases} \frac{1}{a} & Si: \quad 0 \leq t \leq a \\ 0 & Si: \quad t > a \end{cases}$$ • Sur (a, b) : $$f(t) = \begin{cases} \frac{1}{b-a} & Si: \quad a \leq t \leq b \\ 0 & Sinon \end{cases}$$
Loi binomiale	$$P(x = k) = C_k^n P^k (1-P)^{n-k}$$ Avec : $$C_k^n = \frac{n!}{k!(n-k)!}$$
Loi de poisson	$$P(x = n) = e^{-\lambda} . \frac{\lambda^n}{n!}$$ λ : Paramètre de la loi
Loi de Bernoulli	$$P(X = 0) = q$$ $$P(X = 1) = p$$ $$(p + q) = 1$$

1.5.2. Les lois continues :

Tableau 3.2 : Les lois de probabilités continues [11] [21] [22] [23]

La loi exponentielle	• Fonction de répartition : **F(x)** = 1 − exp(−λx) • La fiabilité : **R(x)** = 1 − F(x) d'où R(x) = exp(−λx) • La densité : **f(x)** = F′(x) = λ exp(−λx) • Le taux de défaillance : **λ(t)**= λ

Loi normale	• Fonction de fiabilité : $$R(t) = 1 - \int_{-\infty}^{t} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\frac{-(t-m)^2}{2\sigma^2}} dt$$ • Moyenne : $\boldsymbol{m} = \boldsymbol{E(t)}$
Loi log-normale	• Fonction de fiabilité : $$R(t) = 1 - \int_{-\infty}^{t} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot \frac{1}{t} e^{\frac{-(\ln(t)-m)^2}{2\sigma^2}} dt$$ m : la moyenne σ : l'écart type
Loi de Weibull	• Le paramètre de position **γ** : •γ>0 : La probabilité de défaillance est nulle dans les premières utilisations du système •γ=0 : Une probabilité de défaillance sera présente dès la mise en service du système •γ<0 : Une probabilité de défaillance est déjà présente au moment de l'installation du système • Paramètre d'échelle **η** >0 : Qui s'exprime dans l'unité de temps Ce paramètre permet d'utiliser le papier d'Allan Plait quel que soit l'ordre de grandeur de de (t). • Le paramètre de forme **β** : •Si β>1 : le taux de défaillance est croissant (la zone de vieillesse). 1,5 < β < 2,5 : fatigue 2,5< β < 4 : usure, corrosion •Si β=1 : le taux de défaillance est constant (caractéristique de la zone de maturité). •Si β<1 : le taux de défaillance est décroissant (caractéristique de la zone de jeunesse).



Courbe de baignoire [22]

- La fonction de densité **f(t)** :

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

- La fonction de défaillance :

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

- Sa fonction fiabilité **R(t)** :

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

- Le taux de défaillance **λ(t)** :

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

1.5.3. Test d'adéquation Kolmogorov Smirnov « K-S »:

Le test d'adéquation est un outil utilisé pour vérifier si un modèle probabiliste hypothétique correspond à la distribution réelle des données étudiées. Le test de Kolmogorov-Smirnov (K-S) est un exemple de test d'adéquation qui compare la fonction de répartition théorique F(t) avec la fonction de répartition empirique F(ti) calculée à partir des données de l'échantillon, où ti représente les valeurs observées dans l'échantillon. Le test compare la différence entre ces deux fonctions pour évaluer si le modèle théorique est une bonne représentation des données observées. [11] On trouve trois méthodes d'estimation :

- Méthode des rangs médians : **N < 20 :** ⇒ $F(t_i) = \frac{\Sigma ni - 0.3}{N + 0.4}$

- Méthode des rangs moyens : **20 < N < 50 :** ⇒ $F(t_i) = \frac{\Sigma ni}{N+1}$

- Méthode des rangs bruts : **N > 50 :** ⇒ $F(t_i) = \frac{\Sigma n_i}{N}$

[11]

Avec **N :** nombre des éléments de l'échantillon.

Donc :

DN, max = Max | F(ti)-F(t) |

Cette valeur est comparée avec **DN,** α : valeur donnée par la table K-S

Si **Dn, max < Dn,** α **:** On accepte l'hypothèse.

Si **Dn, max > Dn,** α **:** On refuse l'hypothèse. [24]

1.6. Objectifs de la fiabilité :

Selon [11] la fiabilité a pour objectif de :

- Mesurer une garantie dans le temps
- Evaluer rigoureusement un degré de confiance ;
- Déchiffrer une durée de vie
- Evaluer avec précision un temps de fonctionnement
- Déterminer la stratégie de l'entretien
- Choisir le stock.

2. La maintenabilité :

« Dans des conditions données d'utilisation, aptitude d'un bien à être maintenu ou rétabli dans un état où il peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, en utilisant des procédures et des moyens prescrits. » [25]

La fonction de maintenabilité déduit par la relation :

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

Avec un taux de réparation **μ(t)** signifie l'aptitude d'un bien d'être dépanné et/ou réparé [13] obtient par la relation suivante :

$$\mu(t) = \frac{1}{MTTR}$$

Et **MTTR** (Mean Time To Repair) il donné par :

$$\mathbf{MTTR} = \frac{\sum \text{Temps d'interventions pour (n)pannes}}{\text{nombre de pannes (n)}}$$

3. Disponibilité :

« Aptitude d'un bien à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données, à un instant donné ou durant un intervalle de temps donné, en supposant que la fourniture des moyens extérieurs est assurée. » [25]

3.1. Types de disponibilité :

3.1.1. Disponibilité intrinsèque :

Ce type de disponibilité est évaluée an compte les moyennes de bon fonctionnement et la moyenne de réparation MTTR [14] dont la relation :

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

3.1.2. Disponibilité instantanée :

$$D(t) = \frac{\mu}{\mu + \lambda} + \frac{\lambda}{\mu + \lambda} e^{-(\lambda+\mu)t} \qquad (III.\ 14)$$

Avec : taux de défaillance λ et taux de réparation μ sont constants [14].

Conclusion :

Dans l'industrie, le concept de Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité (FMD) est crucial pour l'ensemble du site industriel. La partie administrative est influencée par des éléments tels que le respect des délais clients, la gestion de l'offre et de la demande, la réputation et la qualité des produits.

Cependant, son efficacité dépend fortement de la partie opérationnelle, qui doit garantir une production continue.

Pour bien gérer la partie opérationnelle, il est essentiel de comprendre le comportement des équipements, leur durée de vie restante et d'anticiper les scénarios futurs pour intervenir au bon moment. Ces actions reposent sur des données concrètes telles que les temps moyens de bon fonctionnement (MTBF), les taux de défaillance (λ) et les taux de réparation (μ), qui servent d'indicateurs pour une estimation réaliste des besoins et des actions à prendre.

Chapitre 4 :

Analyse statistique des données et étude de fiabilité de La chaine de production.

Introduction :

Le présent chapitre marque le passage de la théorie à la pratique, mettant ainsi en lumière l'application concrète des concepts et des méthodologies abordés dans les chapitres précédents. À travers cette étape cruciale, nous entamons un voyage au cœur de la chaîne de production sélectionnée, avec pour objectif principal l'analyse approfondie de sa fiabilité.

Dans cette optique, nous débuterons par le choix de la chaîne de production étudiée. Ensuite, nous dresserons un tableau historique des pannes rencontrées au sein de cette chaîne, offrant ainsi un aperçu des défis et des problèmes récurrents auxquels elle a été confrontée.

Dans un second temps, nous appliquerons la méthode de Pareto pour identifier l'équipement présentant la plus faible fiabilité.

Par la suite, nous nous appuierons sur le logiciel Minitab pour réaliser une étude de fiabilité en utilisant la loi de Wei bull. Cette analyse sera complétée par l'évaluation de la maintenabilité et de la disponibilité de l'équipement, permettant ainsi une vision globale de sa performance opérationnelle.

Enfin, nous interpréterons les résultats obtenus et proposerons des solutions et des recommandations pour optimiser la fiabilité, la maintenabilité et la disponibilité de la chaîne de production étudiée.

1. Choix de la chaîne à étudier :

L'usine de ciment dans la wilaya de Chlef comprend 3 lignes de production, chaque ligne comportant 6 zones avec plusieurs équipements. Il est à noter que chaque ligne produit du ciment de la même manière et avec les mêmes étapes. Pour notre étude de fiabilité dans ce chapitre, nous avons choisi la première ligne parce qu'elle est la plus ancienne et qu'elle contient de nombreuses informations et documents. [26]

2. L'historique des pannes de la première ligne :

Ces données prises du 03/08/2023 jusqu'à 21/02/2024 sont montrées dans le tableau suivant constitué de :

- « Équipement » : l'acteur principal de l'arrêt.
- « Début de panne » : le début effectif de l'arrêt.
- « Date de début de réparation », « Date de fin de réparation » : la différence de ces deux c'est étant la durée de réparation.

- « Temps d'arrêt » : la différence entre « Date de fin de réparation » et « Date de déclaration de la panne ». [11]

Tableau 4.1 : Historique des pannes de la 1ére ligne.

Équipement	Début de panne	Date de début de réparation	Date de fin de réparation	Temps d'arrêt (H :mm :ss)
Refroidisseur	03/08/2023 10 :00	03/08/2023 10 :00	03/08/2023 14 :00	4 :00 :00
Broyeur	15/08/2023 11 :00	19/08/2023 08 :00	19/08/2023 16 :00	101 :00 :00
Transporteur à bande additifs (B122)	28/08/2023 08 :00	28/08/2023 08 :00	28/08/2023 15 :00	7 :00 :00
Pont récupérateur	31/08/2023 09 :30	31/08/2023 09 :39	31/08/2023 12 :00	2 :30 :00
TOUR préchauffeur 1	12/09/2023 09 :30	12/09/2023 09 :30	12/09/2023 11 :15	1 :45 :00
Concasseur gypse (2MJ100)	26/09/2023 09 :00	26/09/2023 02 :00	27/09/2023 11 :00	26 :00 :00
Transporteur à bande BK2	01/10/2023 08 :00	01/10/2023 09 :00	02/10/2023 16 :00	32 :00 :00
Transporteur à bande d'extraction hall mélange (B113) (1MB021)	01/10/2023 09 :00	01/10/2023 09 :30	01/10/2023 12 :00	3 :00 :00
Tour préchauffeur 1	02/10/2023 10 :50	02/10/2023 10 :53	02/10/2023 13 :51	3 :01 :00

Four	03/10/2023 09 :00	03/10/2023 09 :00	03/10/2023 09 :45	0 :45 :00
Tour préchauffeur 1	08/10/2023 08 :00	08/10/2023 10 :45	08/10/2023 11 :50	3 :50 :00
Transporteur à bande (1MG 030 / 1G122)	16/10/2023 09 :55	16/10/2023 11 :00	16/10/2023 15 :00	5 :05 :00
Concasseur gypse (2MJ100)	22/10/2023 08 :00	22/10/2023 09 :00	23/10/2023 11 :00	27 :00 :00
Broyeur	24/10/2023 09 :00	24/10/2023 09 :08	24/10/2023 10 :00	1 :00 :00
Refroidisseur	24/10/2023 10 :00	24/10/2023 10 :00	24/10/2023 12 :00	2 :00 :00
Transporteur à bande d'alimentation trémie BC (2MD070 /2D107)	24/10/2023 10 :59	26/10/2023 09 :00	26/10/2023 12 :00	49 :01 :00
Broyeur	26/10/2023 16 :00	29/10/2023 08 :00	29/10/2023 11 :00	67 :00 :00
Jeteur (stacker)	29/10/2023 08 :30	29/10/2023 08 :30	29/10/2023 15 :00	6 :30 :00
Concasseur gypse (2MJ100)	29/10/2023 09 :00	29/10/2023 10 :30	29/10/2023 11 :00	2 :00 :00
Concasseur gypse (2MJ100)	29/10/2023 11 :30	29/10/2023 13 :00	29/10/2023 16 :15	4 :45 :00

Transport stockage clinker 1	30/10/2023 13 :00	30/10/2023 14 :00	30/10/2023 16 :00	3 :00 :00
Pont récupérateur	31/10/2023 09 :00	31/10/2023 09 :00	31/10/2023 12 :00	3 :00 :00
Enrouleur	05/11/2023 14 :15	05/12/2023 08 :30	05/12/2023 13 :00	718 :45 :00
Surpresseur silo Homo 1	07/11/2023 09 :00	07/11/2023 09 :05	07/11/2023 12 :00	3 :00 :00
Broyeur	07/11/2023 09 :13	07/11/2023 11 :00	07/11/2023 12 :00	2 :47 :00
Tour préchauffeur 1	13/11/2023 09 :00	13/11/2023 09 :00	13/11/2023 11 :00	2 :00 :00
Four	15/11/2023 08 :00	15/11/2023 08 :00	24/12/2023 10 :00	938 :00 :00
Concasseur calcaire-argile	20/11/2023 10 :06	20/11/2023 13 :00	20/11/2023 15 :15	5 :09 :00
Concasseur calcaire-argile	22/11/2023 09 :00	22/11/2023 10 :30	22/11/2023 13 :15	4 :15 :00
Concasseur gypse (2MJ100)	26/11/2023 10 :00	26/11/2023 13 :00	29/11/2023 15 :00	77 :00 :00
Transporteur métallique T01	28/11/2023 11 :00	28/11/2023 12 :00	28/11/2023 20 :00	9 :00 :00
Airlift cru	30/11/2023 08 :49	30/11/2023 09 :00	30/11/2023 11 :00	2 :11 :00
Distributeur silo Homo 1	30/11/2023 08 :52	30/11/2023 09 :00	30/11/2023 11 :00	2 :08 :00

Broyeur	07/12/2023 09 :00	07/12/2023 09 :00	07/12/2023 15 :00	6 :00 :00
Surpresseur silo Homo 1	11/12/2023 09 :00	11/12/2023 09 :00	11/12/2023 10 :30	1 :30 :00
Transporteur à bande d'alimentation trémie BC (2MD070 /2D107)	11/12/2023 11 :37	19/12/2023 09 :00	19/12/2023 11 :00	191 :23 :00
Gratteur	12/12/2023 08 :00	12/12/2023 08 :15	17/12/2023 11 :10	123 :10 :00
Surpresseur silo Homo 1	12/12/2023 08 :50	12/12/2023 09 :00	12/12/2023 15 :00	6 :10 :00
Transporteur à bande d'alimentation broyeur – (BAEG /1MD082)	17/12/2023 09 :00	17/12/2023 09 :00	17/12/2023 12 :00	3 :00 :00
Broyeur	17/12/2023 09 :36	20/12/2023 09 :00	20/12/2023 12 :00	74 :24 :00
BK1	18/12/2023 10 :11	18/12/2023 11 :00	18/12/2023 12 :00	1 :49 :00
Filtre à manches (refroidisseur)	20/12/2023 09 :39	20/12/2023 10 :00	20/12/2023 11 :00	1 :21 :00
Broyeur	03/01/2024 09 :38	17/01/2024 13 :00	18/01/2024 12 :00	362 :22 :00

Vrac camion	07/01/2024 10 :00	07/01/2024 10 :00	07/01/2024 12 :00	2 :00 :00
Gratteur	07/01/2024 12 :00	07/01/2024 13 :00	07/01/2024 17 :15	5 :15 :00
Gratteur	07/01/2024 21 :00	08/01/2024 09 :00	08/01/2024 15 :00	18 :00 :00
Transporteur à bande stockage hall additif (1MA210/A137)	09/01/2024 09 :30	18/01/2024 09 :00	18/01/2024 12 :00	218 :30 :00
Ensacheuse 2	11/01/2024 09 :00	11/01/2024 09 :00	11/01/2024 11 :00	2 :00 :00
Jeteur (stacker)	15/01/2024 08 :30	15/01/2024 09 :30	15/01/2024 18 :00	9 :30 :00
Four	17/01/2024 08 :00	17/01/2024 08 :00	18/01/2024 16 :00	32 :00 :00
Transporteur à bande alimentation trémie gypse N°03 (2MJ150)	21/01/2024 09 :00	21/01/2024 09 :00	24/01/2024 14 :00	77 :00 :00
Refroidisseur	06/02/2024 09 :00	06/02/2024 10 :00	06/02/2024 11 :00	2 :00 :00
Gratteur	06/02/2024 09 :00	06/02/2024 10 :07	06/02/2024 14 :00	5 :00 :00
Broyeur	06/02/2024 10 :02	06/02/2024 13 :00	06/02/2024 20 :00	9 :58 :00

Camion Gasoil (SNVI K66)	06/02/2024 10 :27	21/02/2024 13 :00	21/02/2024 15 :00	364 :33 :00
Pont récupérateur	11/02/2024 08 :25	11/02/2024 09 :00	11/02/2024 12 :00	3 :35 :00
Bulldozer KOMATSU D375 6R (MR 9235)	12/02/2024 09 :29	12/02/2024 10 :30	12/02/2024 12 :00	2 :31 :00
Concasseur calcaire-argile	14/02/2024 11 :00	14/02/2024 11 :00	14/02/2024 13 :00	2 :00 :00
Tour préchauffeur 1	14/02/2024 11 :00	14/02/2024 13 :00	14/02/2024 14 :00	3 :00 :00
Refroidisseur	18/02/2024 14 :30	18/02/2024 14 :34	18/02/2024 17 :30	3 :00 :00
Refroidisseur	19/02/2024 09 :00	19/02/2024 09 :00	19/02/2024 14 :00	5 :00 :00
Dumper CAT 773G (MR 9963)	19/02/2024 10 :46	20/02/2024 10 :00	20/02/2024 11 :00	24 :14 :00
Ensacheuse 1	20/02/2024 10 :04	25/02/2024 11 :00	25/02/2024 12 :00	121 :56 :00
Transporteur à bande Encamionneuse 1 (MI 152/ OH 199 FF)	21/02/2024 09 :00	21/02/2024 10 :58	21/02/2024 14 :30	5 :30 :00

3. Choix d'équipement à étudier :

Vu le nombre important des machines qui composent la 1 ère ligne, l'étude statistique de chacune d'elles se révélera très longue. Il convient alors de cibler seulement l'équipement critique. Pour orienter notre étude, on s'est basé sur le critère » nombre d'arrêt ».

A cet effet, on a effectué une analyse ABC (Pareto) pour déterminer la classe d'équipements. [17]

3.1. Application de la méthode Pareto :

On reprend sur le tableau ci-dessous le nombre des pannes convenables de chaque équipement d'une façon décroissante, leur pourcentage par rapport au total ainsi que leur cumulé.

Tableau 4.2 : Paramètres de diagnostic en fonction de fréquence d'arrêt.

Équipement	Nbr des pannes	Pourcentage	Pourcentage cumulé
Broyeur	8	12,50%	12,50%
Tour préchauffeur 1	5	7,81%	20,31%
Refroidisseur	5	7,81%	28,13%
Concasseur gypse (2MJ100)	5	7,81%	35,94%
Gratteur	4	6,25%	42,19%
Pont récupérateur	3	4,69%	46,88%
Four	3	4,69%	51,56%
Surpresseur silo Homo 1	3	4,69%	56,25%
Concasseur calcaire-argile	3	4,69%	60,94%
Jeteur (stacker)	2	3,13%	64,06%
Transporteur à bande d'alimentation trémie BC (2MD070 /2D107)	2	3,13%	67,19%
Transporteur à bande additifs (B122)	1	1,56%	68,75%
Transporteur à bande d'extraction hall mélange (B113) (1MB021)	1	1,56%	70,31%
Transporteur à bande BK2	1	1,56%	71,88%

Transporteur à bande (1MG 030 / 1G122)	1	1,56%	73,44%
Transport stockage clinker 1	1	1,56%	75,00%
Enrouleur	1	1,56%	76,56%
Transporteur à bande stockage hall additif (1MA210/A137)	1	1,56%	78,13%
Transporteur métallique T01	1	1,56%	79,69%
Distributeur silo Homo 1	1	1,56%	81,25%
Transporteur à bande d'alimentation broyeur – (BAEG /1MD082)	1	1,56%	82,81%
Vrac camion	1	1,56%	84,38%
Ensacheuse 2	1	1,56%	85,94%
Transporteur à bande alimentation trémie gypse N°03 (2MJ150)	1	1,56%	87,50%
BK1	1	1,56%	89,06%
Camion Gasoil (SNVI K66)	1	1,56%	90,63%
Bulldozer KOMATSU D375 6R (MR 9235)	1	1,56%	92,19%
Dumper CAT 773G (MR 9963)	1	1,56%	93,75%
Ensacheuse 1	1	1,56%	95,31%
Transporteur à bande Encamionneuse 1 (MI 152/ OH 199 FF)	1	1,56%	96,88%
Airlift cru	1	1,56%	98,44%
Filtre à manches (refroidisseur)	1	1,56%	100,00%
Total	64	100,00%	100,00%

La figure ci-dessous est la représentation graphique de la méthode de Pareto.

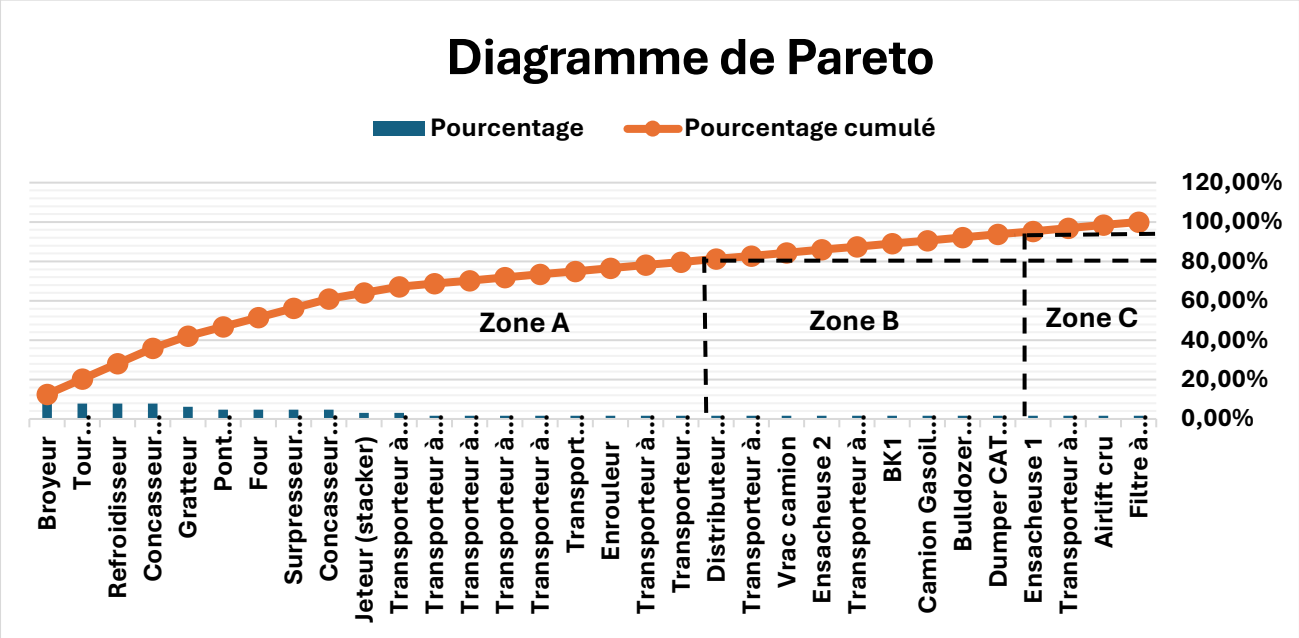


Figure 4.1 : Représentation graphique des zones A, B et C en fonction de fréquence d'arrêt.

- **Interprétation :**

A partir des résultats du tableau et la figure on propose que :

La zone « A » : est celle qui correspond aux équipements (Broyeur, Tour préchauffeur1, Refroidisseur, Concasseur gypse (2MJ100), Gratteur, Pont récupérateur, Four, Surpresseur silo Homo1, Concasseur calcaire-argile, Jeteur (stacker), Transporteur à bande d'alimentation trémie BC (2MD070 /2D107), Transporteur à bande additifs (B122), Transporteur à bande d'extraction hall mélange (B113) (1MB021), Transporteur à bande BK2, Transporteur à bande (1MG 030 / 1G122), Transport stockage clinker 1, Enrouleur , Transporteur à bande stockage hall additif (1MA210/A137), Transporteur métallique T01) avec un pourcentage cumulé de 79,69% , cette zone représente les équipements avec une mauvaise fiabilité.

La zone « B » : Les équipements (Distributeur silo Homo 1, Transporteur à bande d'alimentation broyeur –(BAEG /1MD082), Vrac camion, Ensacheuse 2, Transporteur à bande alimentation trémie gypse N°03 (2MJ150), BK1, Camion Gasoil (SNVI K66), Bulldozer KOMATSU D375 6R (MR 9235), Dumper CAT 773G (MR 9963)) représentent environ 15% de pourcentage cumulé.

La zone « C » : Le reste des équipements se trouve dans cette zone, participent avec 5% du pourcentage cumulé.

- **Conclusion :**

D'après les résultats de l'analyse de Pareto, il est clairement remarquable que l'équipement **Broyeur** présente la fiabilité la plus faible parmi les autres équipements.

4. Étude de fiabilité :

4.1. Historique de l'équipement « Broyeur » :

Tableau 4.3 : Historique de broyeur.

Equipment	Début de panne	Date de début de réparation	Date de fin de réparation	Temps d'arrêt (H)
Broyeur	15/08/2023 11 :00	19/08/2023 08 :00	19/08/2023 16 :00	101 :00 :00
	24/10/2023 09 :00	24/10/2023 09 :08	24/10/2023 10 :00	1 :00 :00
	26/10/2023 16 :00	29/10/2023 08 :00	29/10/2023 11 :00	67 :00 :00
	07/11/2023 09 :13	07/11/2023 11 :00	07/11/2023 12 :00	2 :47 :00
	07/12/2023 09 :00	07/12/2023 09 :00	07/12/2023 15 :00	6 :00 :00
	17/12/2023 09 :36	20/12/2023 09 :00	20/12/2023 12 :00	74 :24 :00
	03/01/2024 09 :38	17/01/2024 13 :00	18/01/2024 12 :00	362 :22 :00
	06/02/2024 10 :02	06/02/2024 13 :00	06/02/2024 20 :00	9 :58 :00

4.2. Calcul des Temps de bon fonctionnement :

Les temps de bon fonctionnement TBF représentent le temps entre deux pannes successives [11], on peut calculer chaque TBF par la relation suivante :

TBF : la Date du début d'arrêt prochain – date de fin d'arrêt précèdent

Tableau 4.4 : Temps de bon fonctionnement de broyeur.

Nombre des TBF	TBF(H)
1	54
2	214,216
3	234,6
4	333,633
5	454,033
6	717
7	1577

4.3. Calcul des Fonctions F(ti), R(ti) :

Dans notre cas le nombre total des éléments dans l'échantillon **N = 7 < 20** donc on applique la méthode des rangs Médians :

$$\mathbf{F(ti)} = \frac{\sum \boldsymbol{ni} - \mathbf{0.3}}{\boldsymbol{N} + \mathbf{0.4}}$$

Avec :

$$\mathbf{R(ti)=1-F(ti)}$$

Remarque : il est nécessaire d'ordonner et ranger les TBF en ordre croissant.

Tableau 4.5 : Calcul des Fonctions F(ti), R(ti).

TBF	Rang	F(ti)	F(ti) %	R(ti)	R(ti) %
54	1	0,094594595	9,46%	0,905405405	90,54%
214,216	2	0,22972973	22,97%	0,77027027	77,03%
234,6	3	0,364864865	36,49%	0,635135135	63,51%
333,633	4	0,5	50,00%	0,5	50,00%
454,033	5	0,635135135	63,51%	0,364864865	36,49%
717	6	0,77027027	77,03%	0,22972973	22,97%
1577	7	0,905405405	90,54%	0,094594595	9,46%

4.4. Estimation de la fonction de réparation théorique F(t) :

Dans cette partie, nous avons importé les données TBF précédentes sous le logiciel **Minitab** et nous les avons estimées par le modèle de **Wei bull**, car il est le plus adapté à notre cas.

4.4.1. Tracer la droite de Wei bull :

La figure suivante représente la droite de Wei bull qui a été tracée à l'aide du logiciel Minitab.

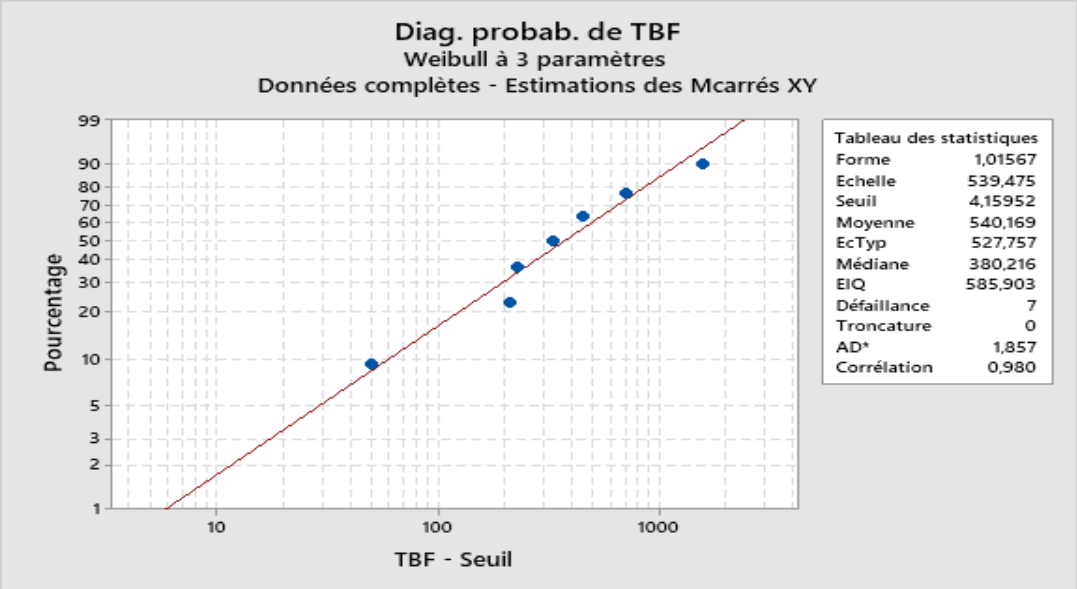


Figure 4.2 : La droite de Wei bull.

4.4.2. Estimation des paramètres de la loi Wei bull :

Analyse de répartition : TBF

Variable : TBF

Troncature

Informations de troncature	Dénombrement
Valeur non tronquée	7

Méthode d'estimation : moindres carrés (moment de défaillance(X) sur rang(Y))

Loi : Wei bull 3 paramètres

Estimations des paramètres

Paramètre	Estimation
Forme	1,01567
Echelle	539,475
Seuil	4,15952

Figure 4.3 : Les paramètres obtenus de la loi de Wei bull.

- **Interprétation :**

β =1.01567 ≈1 ⇒ le taux de défaillance est constant, Caractéristique de la zone de maturité.

Γ = 4.15952 >0 ⇒ La probabilité de défaillance est nulle dans les premières utilisations du système.

4.4.3. Estimation de F(t) :

Calculée par la relation suivante :

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

Tableau 4.6 : Les valeurs de F(t) estimées par le modèle de Wei bull.

Rang	TBF	F(t)
1	**54**	**0,085156678**
2	**214,216**	**0,318636499**
3	**234,6**	**0,343938759**
4	**333,633**	**0,454487186**
5	**454,033**	**0,564621596**
6	**717**	**0,734765811**
7	**1577**	**0,948429221**

4.4.4. Test de Kolmogorov-Smirnov :

Avant la validation de toutes les lois de fiabilité, il est nécessaire de tester l'hypothèse pour savoir si nous devrons accepter ou rejeter le modèle proposé par logiciel Minitab, on à appliquer le test de Kolmogorov-Smirnov.

Tableau 4.7 : Calcul de Dn.

Rang	TBF(H)	F(t)	F(ti)	Dn= |F(t)-F(ti)|
1	54	0,085156678	0,094594595	0,009437917
2	214,216	0,318636499	0,22972973	0,088906769
3	234,6	0,343938759	0,364864865	0,020926106
4	333,633	0,454487186	0,5	0,045512814
5	454,033	0,564621596	0,635135135	0,07051354
6	717	0,734765811	0,77027027	0,035504459
7	1577	0,948429221	0,905405405	0,043023816

D'après la table de Kolmogorov-Smirnov (Tableau -01- en annexe) et pour un seuil de confiance **α=0.05** et un nombre d'échantillons **n=7,** on trouve : **D7. 0.05= 0.486**

D'après le tableau précèdent, on trouve que : **D7, max = 0,088906769**

Par comparaison : **0,088906769 < 0.486** => **D7, max < D7,0.05**

Donc le modèle de Wei bull est acceptable.

4.4.5. Fonction de Fiabilité théorique R(t), le taux de défaillance λ(t) et densité de probabilité f(t) :

Calculer Par les lois suivantes :

La fiabilité R(t) :

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

Le taux de défaillance λ(t) :

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

La densité de probabilité :

$$f(t) = \lambda(t).R(t)$$

Tableau 4.8 : Estimation des fonctions R(t), λ(t) et f(t).

Rang	TBF	R(t)	Y(t)	f(t)
1	54	0,914843322	0,00181373	0,001659278
2	214,216	0,681363501	0,00185508	0,001263983
3	234,6	0,656061241	0,00185777	0,001218813
4	333,633	0,545512814	0,00186821	0,001019132
5	454,033	0,435378405	0,00187735	0,000817358
6	717	0,265234189	0,00189094	0,000501542
7	1577	0,051570779	0,00191454	$9,87341^{E}$-05

4.4.6. Représentation graphique des fonctions et interprétations :

- Fonction de défaillance F(t) :

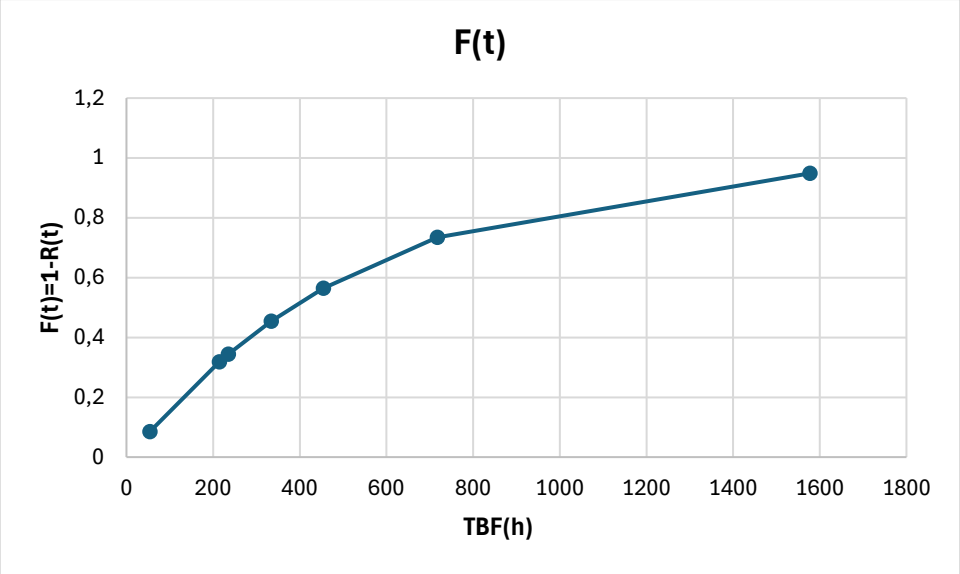


Figure 4.4 : Courbe de fonctions de défaillance F(t).

La figure ci-dessus illustre comment la fonction de défaillance F(t) varie en fonction des temps de bon fonctionnement (TBF), montrant que son augmentation est proportionnelle à l'augmentation du temps de bon fonctionnement.

- Fonction de fiabilité R(t) :

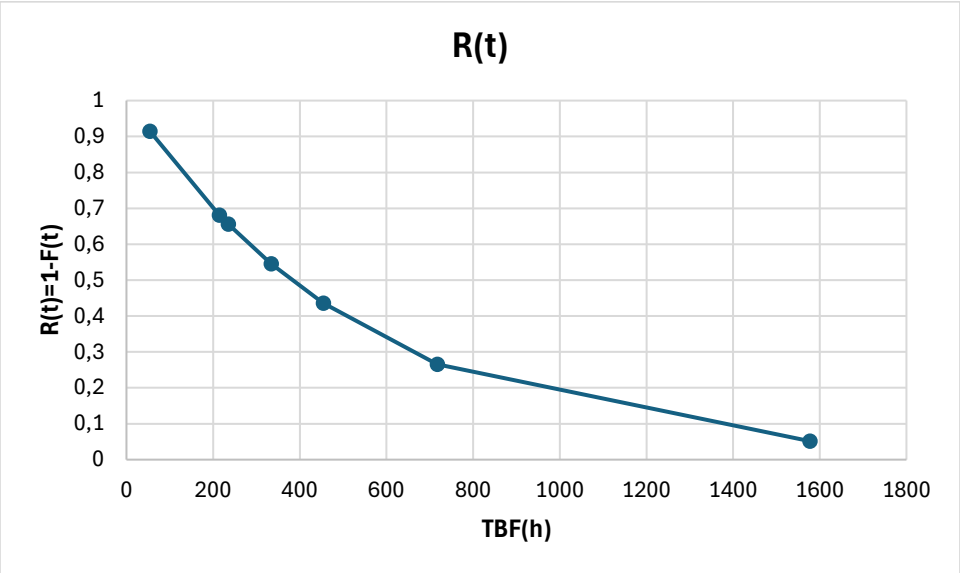


Figure 4.5 : Courbe de fiabilité R(t).

Cette représentation montre la courbe décroissante de la fonction de fiabilité R(t), qui diminue proportionnellement à l'augmentation du temps de bon fonctionnement.

- Fonction de taux de défaillance λ(t) :

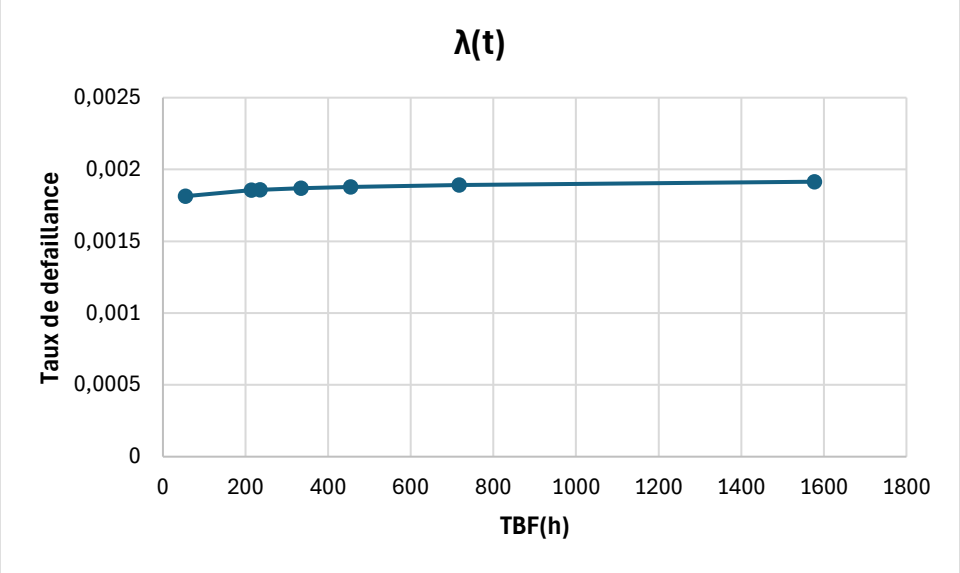


Figure 4.6 : Courbe de taux de défaillance λ(t).

Cette figure représente la courbe du taux de défaillance, on remarque un taux de défaillance presque constant, avec un paramètre de forme égale à 1, donc on est dans la deuxième phase de la courbe en baignoire « maturité ».

- Fonction de densité f(t) :

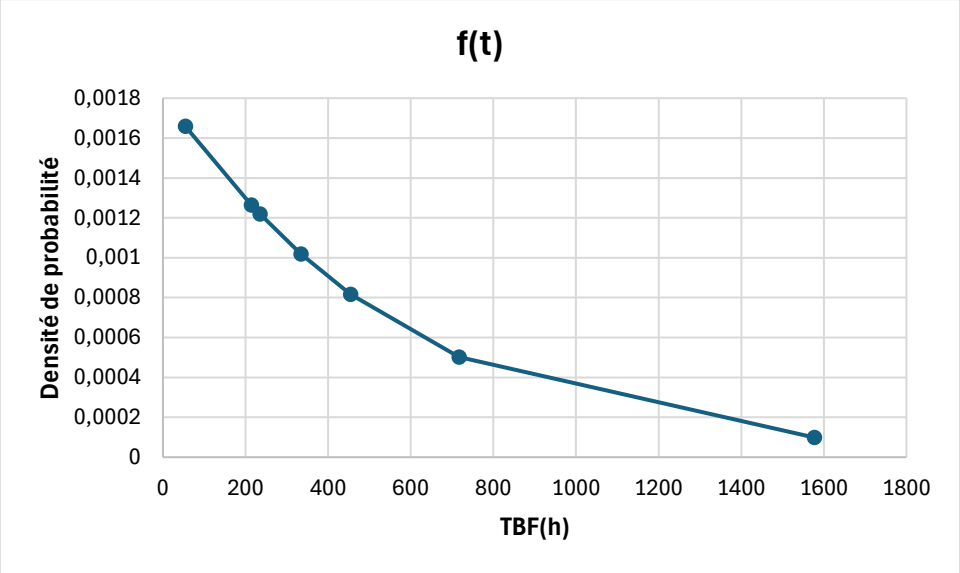


Figure 4.7 : Courbe de densité de probabilité f(t).

Pour la courbe de la densité de probabilité, la courbe représente la probabilité instantanée de défaillance, donc l'augmentation du TBF provoque une diminution de sa fiabilité et augmente la probabilité d'appariation d'un défaut ou de défaillance. [27]

4.4.7. Calcul en fonction de la MTBF :

- **MTBF :**

β =1.01567 ⇒ D'après le tableau -02- en annexe **A** =1

MTBF= $\mathbf{A \times \eta + \gamma}$

MTBF = 1×539.475+4.15952 = 543.63452 h.

D'après MTBF on peut déduire λ :

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

$\boldsymbol{\lambda = \frac{1}{543.63452}}$ =1.84×10^{-3} Panne/heure

5. Maintenabilité :

La maintenabilité **M(t)** Exprimée par :

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

Où : μ est le taux de réparation calculé par la relation :

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

Sachant que : MTTR est le temps moyen de réparation

$$\mathbf{MTTR = \frac{\sum TTR}{N}}$$

Dans notre cas **ΣTTR = 51.866 heures** dans **8 interventions.**

Donc : **MTTR = 6.48325 heure/ intervention**

Avec un taux de réparation **μ= 0.154**

Le tableau ci-dessous illustrant les différentes valeurs de M(t) :

Tableau 4.9 : Les Différentes valeurs de M(t) en fonction de TTR.

Rang	TTR(H)	M(t)
1	0,866	0,124853519
2	1	0,142727979
3	3	0,36997766
4	3	0,36997766
5	6	0,603071851
6	7	0,659724604
7	8	0,708291423
8	23	0,971044642

Le graphique suivant représente l'évolution de la maintenabilité en fonction des temps de réparation TTR :

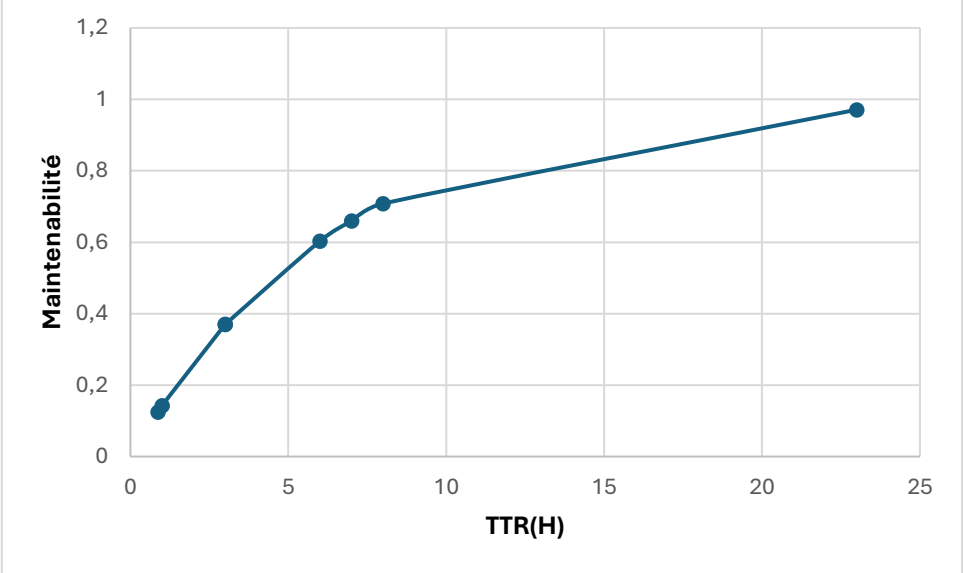


Figure 4.8 : La courbe de M(t).

On remarque une amélioration de la maintenabilité M(t) avec l'augmentation des temps de réparation TTR.

6. Disponibilité :

6.1. Disponibilité intrinsèque :

S'exprime par l'expression : $\boldsymbol{D = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR}} \quad \Rightarrow \quad \boldsymbol{D = 0.98}$

6.2. Disponibilité instantanée :

Elle est donnée par la relation : $\mathbf{D} = \frac{\mu}{\mu+\lambda}\ \frac{\lambda}{\mu+\lambda} e^{-(\lambda+\mu)TTR}$

Le tableau ci-dessous illustrant les différentes valeurs de D(t) :

Tableau 4.10 : Les Différentes valeurs de D(t) en fonction de TTR.

Rang	TTR(H)	D(t)
1	0,866	0,9985094052
2	1	0,9982962064
3	3	0,9955907323
4	3	0,9955907323
5	6	0,9928280871
6	7	0,9921592286
7	8	0,9915868890
8	23	0,9885207276

La figure ci-dessous illustre la courbe de disponibilité D(t) :

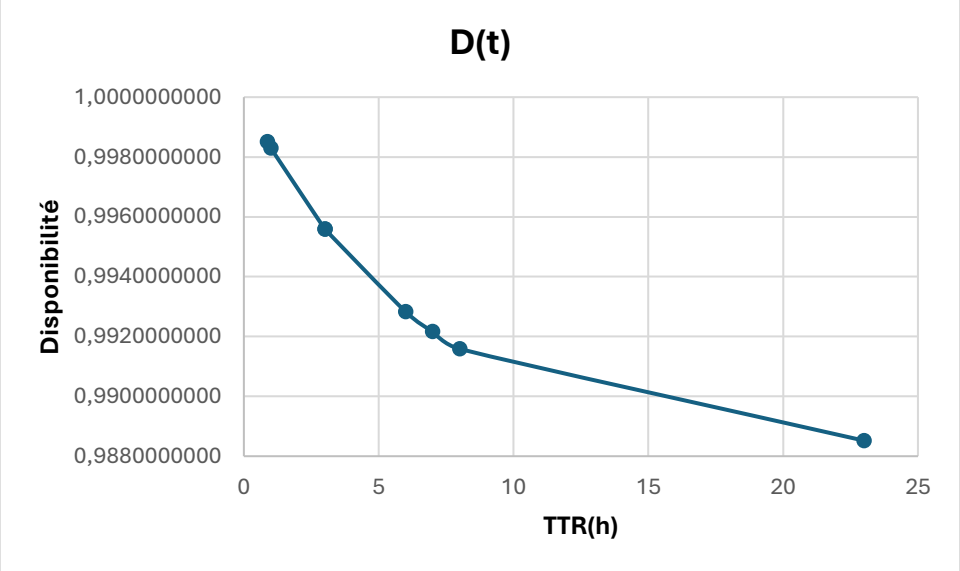


Figure 4.9 : La courbe de D(t).

On observe une diminution de la disponibilité D(t) avec l'augmentation des temps de réparation TTR.

7. Durée d'intervention T :

On peut calculer le temps souhaitable pour une intervention systématique T pour différente valeur de R(t) : 80%, 85%, 90%, 95%. [28]

$$T = \eta(-ln\ R(t))^{\frac{1}{\beta}} + \gamma$$

Tableau 4.11 : Temps d'intervention.

R(t) :	80	85	90	95
Intervalle pour intervention (H)	127,358	94,327	63,007	33,128

8. Actions préventives pour le broyeur vertical :

Nous proposons des actions préventives pour éviter les causes récurrentes de pannes sur le broyeur vertical, comme indiqué dans le tableau suivant d'après [29] :

Tableau 4.12 : Actions préventives pour le broyeur vertical.

Les composants	Action préventive	Fréquence	Etat de broyeur
Galets	Contrôle de l'usure	1 fois/trimestre	Arrêt
	Contrôle des fissures de bandage par moyens de CND	1 fois/semestre	Arrêt
Tirants	Contrôle de la fixation des tirants	1 fois/semaine	Arrêt
Vérins hydraulique	Contrôle de la pression des vérins	Chaque jour (salle de contrôle)	Marche
	Contrôle des fixations	1 fois/semaine	Arrêt
	Contrôle des fuites d'huile	Chaque 2 jours	Marche
	Contrôle des vibrations	Chaque jour (salle de contrôle)	Marche
Moteur	Surveiller la température	Régulièrement	Marche
	Vérification des connexions électriques	Chaque inspection périodique	Arrêt

Conclusion :

Suite à notre analyse de fiabilité utilisant le modèle de Wei bull, nous avons identifié les paramètres nécessaires, ce qui nous permet de conclure que la phase du broyeur sur la courbe en baignoire est à un stade de maturité, caractérisée par des taux de défaillance constants.

Le broyeur a réussi l'examen de fiabilité, mais il est comparativement faible par rapport aux autres équipements. Pour remédier à cela, nous avons proposé des actions préventives pour cet équipement.

Nos calculs de maintenabilité indiquent une gestion efficace du personnel, ce qui se traduit par une réduction des temps d'indisponibilité.

Conclusion Générale

Conclusion générale :

En conclusion, ce mémoire a permis une exploration approfondie de la fiabilité de la chaîne de production de la cimenterie de Chlef ECDE. Dans la première partie théorique, nous avons présenté l'entreprise ainsi que les notions fondamentales de maintenance industrielle et le concept FMD (Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité), posant ainsi les bases nécessaires à notre étude.

Dans la partie pratique, en sélectionnant la première ligne de production comme objet d'étude, nous avons utilisé la méthode de Pareto pour identifier le broyeur comme l'équipement présentant la fiabilité la plus faible. En analysant sa fiabilité, sa maintenabilité et sa disponibilité, nous avons pu mettre en lumière les défis auxquels l'entreprise est confrontée et proposer des solutions concrètes pour améliorer la fiabilité de cette ligne de production.

Ce travail de recherche a donc permis de conjuguer les connaissances théoriques avec une approche pratique, en fournissant à l'entreprise des outils et des recommandations pour optimiser sa chaîne de production et garantir une meilleure performance à long terme. Il ouvre également la voie à de futures études approfondies dans le domaine de la fiabilité industrielle, contribuant ainsi au développement et à l'efficacité des entreprises du secteur cimentier.

Références bibliographiques

Références bibliographiques :

[1] K. Zouai, «Etude du mode de fabrication du ciment et effet des matières- Impact de l'utilisation du ciment sur l'environnemnt,» Université Hassiba Benbouali de Chlef Faculté des Sciences de l'Ingénieur Département de Génie Civil , 2011.

[2] N. Ferrouk, «Les automates,» Cimentrie de CHLEF ECDE (groupe GICA), 2024.

[3] «Ciment Portland GICA,» [En ligne]. Available: https://www.gica.dz/ciments/.

[4] F. Z. Dahou, «Dahou F Z,» [En ligne]. Available: https://fr.scribd.com/document/498173346/DAHOU-F-Z. [Accès le 11 06 2024].

[5] S. Hrache, «Caractérisation Physico-Chimique Du Ciment de La Cimentrie D ECH Chlef,» [En ligne]. Available: https://fr.scribd.com/document/590021885/Caracterisation-physico-chimique-du-ciment-de-la-cimentrie-d-ECH-Chlef. [Accès le 11 06 2024].

[6] Y. Belhadj, «Entreprise des Ciments et Dérivés d'ECH-CHLEF,» Cimentrie de CHLEF ECDE (Groupe GICA), 2022.

[7] M. Meklatti, «Etude technologique d'un compresseur à vis ATLAS COPCO GA 132,» Institut National Spécialise de la Formation Professionnelle (ITEEM) Beaulieu , 2016.

[8] F. Thamri, «Estimation de la composition chimique de la matière première d'une cimenterie à l'aide d'un systéme de vision par ordinateur basé sur des algorithmes de régression de l'apprentissage supervisé,» Ecole Nationale d'ingénieurs de Tunis , 2019.

[9] N. Ziat, «Etude des caractéristiques physiques et mécanique du ciment portland,» Université Akli Mohand Oulhadj Bouira Institut de Technologie Département de Technologie Chimique Industrielle, 2020.

[10] A. Mezouar, «Groupe Industriel des Ciments d'Algérie,» Cimentrie de CHLEF ECDE (groupe GICA), 2023.

[11] A. A. E. Benaida, «Etude de fiabilité d'une chaine de production chez : STPM CHIALI,» Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle , 2023.

[12] M. e. H. Hamaida , «Mise en place d'un systéme de maintenace Etude de cas : Société MOULINS HAMAMAT,» HIGHER SCHOOL IN APPLIED SCIENCES TLEMCEN, 2021.

[13] H. Benariba, «Fiabilité et maintenance des systémes électroniques,» Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen Faculté de Technologie Département du Gènie Electrique et Electronique , 2020.

[14] I. Marhoune , «Etude de fiabilite d'une machine à extraire,» Université Badji mokhtar ANNABA, 2017.

[15] I. Belghit , «Etude des indicateurs de fiabilité d'un systéme electromécanique,» LARBI TEBESSI UNIVERSITY TEBESSA INSTITUTE OF MINES , 2021.

[16] F. Monchy, Maintenance Outils, méthodes et organisations pour une meilleure performance, 4éme éd., Dunod, Éd., Paris, 2015, p. 624.

[17] F. Kechroud, «Optimisation de la maintenance par la fiabilité et la disponibilité des équipements,» Université Larbi Tebessi TEBESSA Institut des Mines.

[18] F. Monchy, Maintenance Méthodes et Organisations, 3éme éd., Dunod, Éd., Paris, 2010, p. 519.

[19] H. Kahal , «Réseaux Bayésiens Dynamiques: Application aux réseaux électriques,» Université des Sciences et de la Technologie d'ORAN Faculté de Génie électrique .

[20] A. Bellaouar, «FIABILITE MAINTENABILITE DISPONIBILITE,» Faculté des Sciences de la Technologie Département Génie des Transports , 2013.

[21] O. Gaudoin, «Fiabilité des Systéme,» Université Grenoble Alpes .

[22] D. Metahri, «Fiabilité et Analyse par les lois de probabilité». Dans *Management de la maintenance*, Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle, 2024.

[23] S. Haddad, «Modéle d'évaluation des performances d'une ligne de production d'une séquence de N produits distincts sur M machines avec (M-1) stocks tampons,» Université Laval Québec Faculté de Sciences et Génie Département de Génie Mécanique , 2012.

[24] D. Metahri, «Test de Kolmogorov-Smirnov». Dans *Management de la maintenance*, Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle, 2024

[25] F. Monchy, Maintenance Méthodes et organisations, 2éme éd., Dunod, Éd., Paris, 2003, p. 514.

[26] S. Chahboune , «Etude de la fiabilité et de la disponibilité des équipements au niveau de l'entreprise MAC-SOUM,» Université abderahmane MIRA Béjaia Faculté des sciences Exactes, 2016.

[27] A. Nimour, «Détermination de la fonction de fiabilité d'une pompe par la loi de Weibull,» Université Mohamed Seddik Ben Yahia Jijel , 2020.

[28] A. Motrani, «Maintenance basée sur la fiabilité,» IMSI d'Université Oran 2, 2015.

[29] «Etude D Une Avarie Apparue Sur Un Galet Du Broyeur Vertical BC3 A LAFARGE Bouskoura,» [En ligne]. Available: https://fr.scribd.com/document/376336267/Etude-d-Une-Avarie-Apparue-Sur-Un-Galet-Du-Broyeur-Vertical-BC3-a-LAFARGE-Bouskoura. [Accès le 14 06 2024].

[30] L. Van Belle , «INTRODUCTION A L'ANALYSE DES DONNEES PAR LE LOGICIEL MINITAB SOUS WINDOWS».

Annexes

- ## Annexe 01 : Le logiciel « Minitab »

Selon [28] est une marque déposée de Minitab Inc. En l'utilisant on peut :

•Créer et générer des statistiques ;

•Explorer des données avec graphique ;

•Mise en œuvre d'analyses statistiques et de procédures ;

•Evaluer la qualité ;

•Calculer la fiabilité par différentes méthodes et la représenter graphiquement ;

•Examiner des relations entre deux variables ;

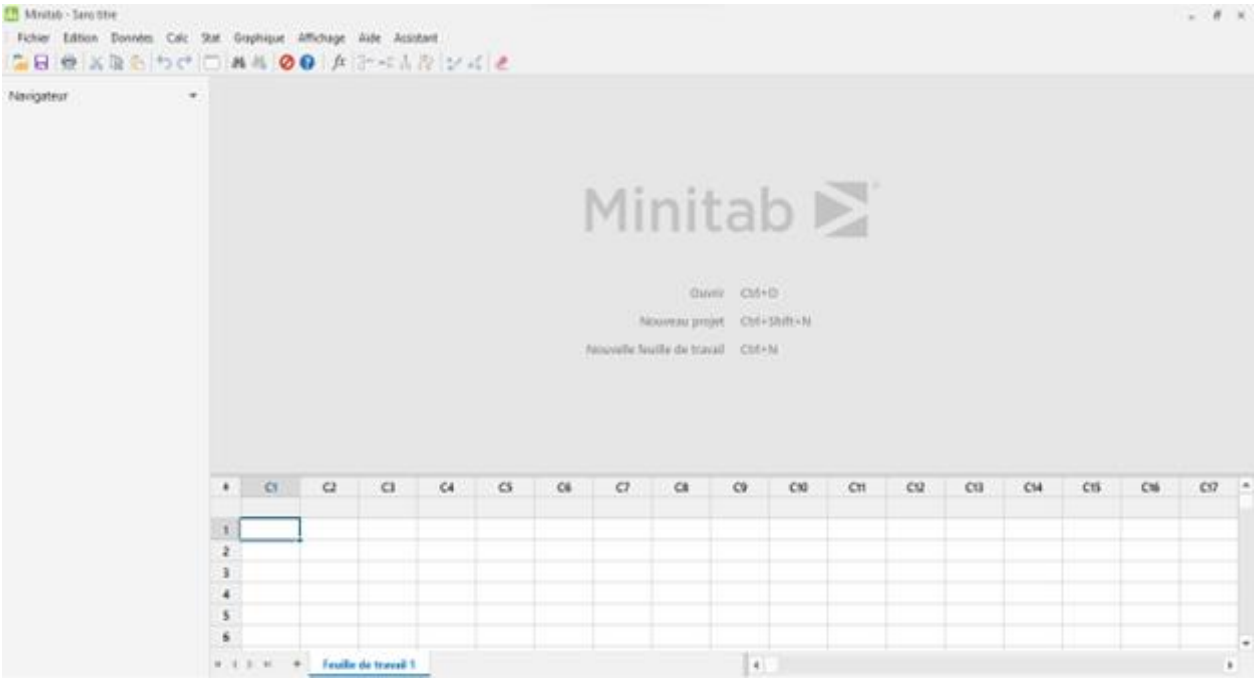
•Analyse de données.

- **Feuille de travail de MINITAB :**

Minitab s'ouvre avec deux fenêtres principales :

1. **La fenêtre Session :** qui affiche les résultats de votre analyse au format texte. Dans cette fenêtre, vous pouvez aussi taper des commandes au lieu d'utiliser les menus de Minitab.
2. **La fenêtre Données :** contient une feuille de travail semblable à une feuille de calcul.

Vous pouvez ouvrir plusieurs feuilles de travail, chacune dans une fenêtre donnée différente.



- **Menus principaux de MINITAB :**

Selon [30] et [11] :

➡ **Fichier :** ce menu concerne l'ouverture, la sauvegarde et la fermeture des feuilles de travail ; il permet l'ouverture de fenêtres graphiques et l'importation de données venant d'autres types de fichier (EXCEL, LOTUS 1-2-3, etc.) ; il permet également l'impression des fenêtres SESSION, DATA ou autres.

➡ **Edition :** ce menu comprend des rubriques que l'on retrouve classiquement dans la plupart des applications WINDOWS telles que : couper, coller, supprimer, remplacer, annuler la dernière action, sélectionner tout ; ce menu se modifie légèrement en fonction de la fenêtre active (fenêtre

SESSION ou fenêtre DATA).

➡ **Données :** ce menu reprend l'ensemble des opérations de manipulation de lignes ou de colonnes (tri, calcul de rangs, empiler ou découper des colonnes, convertir une colonne numérique en alphanumérique, etc.).

➡ **CALC :** ce menu comprend quatre subdivisions ; la première concerne les calculs arithmétiques et statistiques simples (logarithmes, moyenne, etc.) et permet différentes " standardisations " ou " réductions " des colonnes ; la deuxième permet de générer des colonnes indicées ; la troisième concerne la génération de nombres aléatoires et le calcul de probabilités suivant certaines distributions ; la dernière concerne le calcul matriciel (transposée, valeurs propres, etc.).

➡ **STAT :** Ce menu est purement statistique, composé d'une section principale de 14 sous-menus qui englobent les domaines suivants :

- Statistiques élémentaires
- Régression
- ANOVA
- DOE (Plan d'expériences)
- Carte de contrôle
- Outils de la qualité
- Fiabilité/survie

- Analyse prédictive
- Multivarié
- Série chronologique
- Tableaux
- Tests non paramétriques
- Tests d'équivalence
- Puissance et effectif de l'échantillon

➡ **Graphique :** ce menu regroupe tous les types de représentations graphiques disponibles sur MINITAB (nuage de points, diagramme de séries chronologiques, histogrammes, boxplot, graphiques en secteurs, graphiques tridimensionnels, etc.).

➡ **Aide :** ce menu d'aide permet d'obtenir des informations soit via une table des matières, soit en entrant un nom dans une liste de mots-clés ; il existe également un recueil des questions les plus courantes (exemples : comment insérer une colonne ? comment annuler une macro ? etc.) ; il existe également une aide sur l'utilisation de l'aide.

- **Annexe 02 : Table de KOLMOGOROV-SMIRNOV** [27]

Seuils critiques Dα(n)					
N	**α = 0.20**	**α = 0.15**	**α = 0.10**	**α = 0.05**	**α = 0.01**
1	0.900	0.925	0.950	0.975	0.995
2	0.684	0.726	0.776	0.842	0.929
3	0.565	0.597	0.642	0.708	0.828
4	0.494	0.525	0.564	0.624	0.733
5	0.446	0.474	0.510	0.565	0.669
6	0.410	0.436	0.470	0.521	0.618
7	0.381	0.405	0.438	0.486	0.577
8	0.358	0.381	0.411	0.457	0.543
9	0.339	0.360	0.388	0.432	0.514
10	0.322	0.342	0.368	0.410	0.490
11	0.307	0.326	0.352	0.391	0.468
12	0.295	0.313	0.338	0.375	0.450
13	0.284	0.302	0.325	0.361	0.433
14	0.274	0.292	0.314	0.349	0.418
15	0.266	0.283	0.304	0.338	0.404
16	0.258	0.274	0.295	0.328	0.392
17	0.250	0.266	0.286	0.318	0.381
18	0.244	0.259	0.278	0.309	0.371
19	0.237	0.252	0.272	0.301	0.363
20	0.231	0.246	0.264	0.294	0.356
25	0.210	0.220	0.240	0.270	0.320
30	0.190	0.200	0.220	0.240	0.290
35	0.180	0.190	0.210	0.230	0.270
> 35	$1.07/\sqrt{N}$	$1.14/\sqrt{N}$	$1.22/\sqrt{N}$	$1.36/\sqrt{N}$	$1.63/\sqrt{N}$

- **Annexe 03 : Table de calcul de MTBF pour la loi de Wei bull** [27]

β	A	β	A	β	A
0,20	120	1,65	0,8942	4,2	0,9089
0,25	24	1,70	0,8922	4,3	0,9102
0,30	9,2605	1,75	0,8906	4,4	0,9114
0,35	5 ,0731	1,80	0,8893	4,5	0,9126
0,40	3,3234	1,85	0,8882	4,6	0,9137
0,45	2,4786	1,90	0,8874	4,7	0,9149
0,50	2	1,95	0,8867	4,8	0,9160
0,55	1,7024	2	0,8862	4,9	0,9171
0,60	1,5046	2,1	0,8857	5	0,9182
0,65	1,3663	2,2	0,8856	5,1	0,9192
0,70	1,2638	2,3	0,8859	5,2	0,9202
0,75	1,1906	2,4	0,8865	5,3	0,9213
0,80	1,1330	2,5	0,8873	5,4	0,9222
0,85	1,0889	2,6	0,8882	5,5	0,9232
0,90	1,0522	2,7	0,8893	5,6	0,9241
0,95	1,0234	2,8	0,8905	5,7	0,9251
1	1	2,9	0,8917	5,8	0,9260
1,05	0,9803	3	0,8930	5,9	0,9269
1,10	0,9649	3,1	0,8943	6	0,9277
1,15	0,9517	3,2	08957,	6,1	0,9286
1,20	0,9407	3,3	0,8970	6,2	0,9294
1,25	0,9314	3,4	0,8984	6,3	0,9302
1,30	0,9236	3,5	0,8997	6,4	0,9310
1,35	0,9170	3,6	0,9011	6,5	0,9316
1,40	0,9114	3,7	0,9035	6,6	0,9326
1,45	0,9067	3,8	0,9038	6,7	0,9333
1,50	1,9027	3,9	0,9051	6,8	0,9340
1,55	0,8994	4	0,9064	6,9	0,9347
1,60	0,8966	4,1	0,9077		