

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR - ANNABA
BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY



جامعة باجي مختار – عنابة

Faculté : SCIENCES DE L'INGENIORAT
Département : GÉNIE MÉCANIQUE
Domaine : SCIENCES ET TECHNOLOGIE
Filière : GENIE MECANIQUE
Spécialité : INGENIERIE DE LA MAINTENANCE

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Thème :

Etude FMD du laminoir a pas-de-pèlerin au niveau de la TSS

Présenté par : ZEDIRI Souhaib

Encadrant : LAISSAOUI. R

MAA

Université badji mokhtar - annaba

Jury de Soutenance :

Khelif Rabai	PROF.	Univ-Badji Mokhtar Annaba	Président
Laissaoui Rachid	MAA.	Univ-Badji Mokhtar Annaba	Encadrant
Kalouch Abd Kader	MCB.	Univ-Badji Mokhtar Annaba	Examineur

Année Universitaire : 2022/2023

Remerciements

Avant tout, je remercie Dieu de m'avoir donné la force pour réaliser ce présent travail.

Mes remerciements vont surtout à mon directeur de mémoire, Mr Rachid Laïssaoui, maître-assistant à l'université Bedji Mokhtar Annaba, pour le temps qu'il a consacré à m'apporter les outils méthodologiques indispensables à la conduite de cette recherche. Son exigence m'a grandement stimulé.

Mes remerciements vont également aux, Membres du jury Pour avoir accepté d'examiner mon travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Je tiens à remercier vivement Mr HAOUI AMIN, Ingénieur mécanique dans le bureau de méthode maintenance de l'entreprise TSS ; pour avoir contribué à la formation du thème, son assistance son accueil, et le partage de son expérience durant la durée du stage.

Je tiens à remercier spécialement Mr Kallouche AbdelKader, pour sa patience, et ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter ma réflexion.

Je voudrais aussi adresser ma reconnaissance à tous les enseignants du département de génie Mécanique, pour la qualité d'enseignement qu'ils m'ont prodigué au cours de mes études.

Je remercie profondément, Ma famille, mes amis ainsi que les personnes qui m'ont soutenu de près ou de loin au cours de la réalisation de ce mémoire.

ZEDIRI SOUHAIB

Dédicaces

Je dédie ce mémoire, le fruit de mon travail durant toutes les années de mes études, à :

A ma très chère mère

Quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurai point te remercier comme il se doit. Ton affection me couvre, et ta présence à mes cotés a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles.

A mon très cher père

Tu as toujours été pour moi un exemple du père respectueux, honnête, de la personne méticuleuse, je tiens à honorer l'homme que tu es.

Une spéciale dédicace à :

A ma très chère sœur : Amira.

A ma famille.

A mes meilleures amies.

Enfin, à toutes les personnes qui me sont chères.

ZEDIRI SOUHAIB

Résumé

Le travail présenté dans ce mémoire vise à améliorer la disponibilité du laminoir à pèlerin pour permettre une meilleure production. L'analyse FMD et la maintenabilité nous a permis d'atteindre l'objectif visé par ce rapport est d'identifier et de proposer des recommandations pour éviter les défaillances et les pannes au niveau de TSS.

Nous avons procédé à une classification des huit installations industrielles, de l'atelier TSS, basée sur la criticité. Le laminoir à pèlerin. Présente la valeur de criticité la plus élevée, ce qui nous a amené à prendre le laminoir à pèlerin en priorité pour une étude de maintenance, analyse des causes des différents endommagements, ainsi que l'étude de sa fiabilité, maintenabilité et disponibilité.

La méthode AMDEC nous a permis d'extraire les causes des différentes pannes du laminoir à pèlerin. En conclusion, nous avons proposé un plan d'action afin d'éviter les pannes et d'améliorer la maintenance préventive.

Sommaire

Remerciements	i
Dédicaces	ii
Résumé	iii
Sommaire	iv
Liste des figures	vii
Liste des tableaux	ix
Glossaire	x
Introduction générale	1

Chapitre I

I.1. Introduction :	4
I.2. Description générale de l'entreprise (Sider El-Hadjar) :	4
I.2.1. Situation géographique :	4
I.2.2. Historique du complexe :	5
I.2.3. Objectif du complexe :	6
I.2.4. Principale activité :	6
I.2.5. Structure générale du complexe :	7
I.3. Présentation de l'unité TSS :	8
I.3.1. L'ACIÉRIE ÉLECTRIQUE [1] :	8
I.3.2. Les principaux produits de TSS [1] :	9
I.3.3. Commercialisation du produit fini [1] :	9
I.3.4. Organisation structurelle :	9
I.3.5. Procédures de fabrication des tubes sans soudure :	10
I.3.6. Les ateliers de fabrication [2] :	10
I.4. Conclusion :	20

Chapitre II

II.1. Introduction :	22
II.2. Historique de la maintenance :	22
II.3. Définition de la maintenance :	22
II.4. Importance de la maintenance dans l'entreprise :	23
II.5. Place du service maintenance dans l'entreprise :	23
II.6. Les objectifs de la maintenance :	24
II.7. Politiques et stratégies de maintenance :	25

II.8.	Les différents types de la maintenance :	26
II.8.1.	La maintenance corrective :	26
II.8.2.	La maintenance Préventive :	27
II.9.	Les opérations de maintenance :	28
II.10.	Les niveaux de la maintenance :	30
II.11.	Les méthodes d'analyse de défaillance :	33
II.11.1.	Le diagramme d'Ishikawa :	33
II.11.2.	Pareto ou L'analyse ABC :	33
II.11.3.	L'AMDEC :	34
II.12.	L'intérêt de maintenance :	39
II.13.	Les tâches de maintenance :	39
II.14.	Conclusion :	40

Chapitre III

III.1.	Introduction :	42
III.2.	Historique :	42
III.3.	Notion de risque :	43
III.4.	But de la sûreté de fonctionnement :	44
III.5.	Masures de la sûreté de fonctionnement :	44
III.6.	La fiabilité :	45
III.6.1.	Concept de la fiabilité :	45
III.6.2.	Les différents types de la fiabilité :	45
III.6.3.	Objectif de la fiabilité :	45
III.6.4.	Les lois de probabilité principales utiliser en fiabilité :	46
III.6.5.	Analyse de la fiabilité par la loi de weibull :	46
III.7.	Maintenabilité :	52
III.7.1.	Définition :	52
III.7.2.	Caractéristiques de la maintenabilité :	53
III.7.3.	Amélioration de la maintenabilité [38] :	54
III.8.	La disponibilité :	54
III.8.1.	Définition :	54
III.8.2.	Les grandeurs moyennes associées à la disponibilité :	54
III.9.	Sécurité :	55
III.10.	La relation entre les notions FMD :	56
III.11.	Conclusion :	57

Chapitre IV

A. Classification des machines critique dans l'unité TSS

IV.1. Introduction :	59
IV.2. Classification des machines critique :	59
IV.2.1. Secteur des installations en fonction de temps d'arrêt :	59
IV.2.2. Secteur des installations en fonction de nombre de panne :	60
IV.3. Définition de la machine laminoir à pèlerin [2] :	61
IV.3.1. Chaîne cinématique de laminoir à Pas de pèlerin :	63

B. Etude FMD

IV.1. Introduction	64
IV.2. Historique de panne de la machine Laminoir à pas pèlerin :	64
IV.3. L'application des méthodes d'analyse :	67
IV.3.1. La méthode de la courbe ABC :	67
IV.3.2. Représentation de la courbe ABC :	68
□ Analyse de la courbe ABC :	68
IV.4. L'analyse FMD	69
IV.4.1. La fiabilité :	69
IV.4.2. La maintenabilité $M(t)$:	80
IV.4.3. La disponibilité $D(t)$:	83
IV.5. Analyse de Mode de défaillance de leur Effet et de leur criticité (AMDEC) de laminoir à pèlerin :	85
IV.5.1. Désignation des défaillances :	86
IV.5.2. Tableaux de l'analyse AMDEC :	87
IV.5.3. Présentation de l'accouplement « HOLSET » :	88
Conclusion générale	94
Références bibliographique	95
Annexe : la table de Kolmogorov-Smirnov Table	98

Liste des figures

Chapitre I

Figure I.1 : Situation géographique du complexe.	4
Figure I.2 : Organigramme de l'entreprise. Sider El-Hadjar.	7
Figure I.3 : Situation géographique de TSS.	8
Figure I.4 : Organigramme de TSS.[1]	9
Figure I.5 : Prorusse du laminoir à tube.	10
Figure I.6 : Parc à lingot. [2]	11
Figure I.7 : Enfouneur four à sole.[2]	11
Figure I.8 : Défourneur four à sole [2].	12
Figure I.9 : Presse à percer.[2]	12
Figure I.10 : Laminoir Oblique.[2]	13
Figure I.11 : Pré enfilement.[2]	14
Figure I.12 : Lamineur.[2]	14
Figure I.13 : Meuleur.[2]	15
Figure I.14 : Scie à chaud.[2]	16
Figure I.15 : Contrôleur après train.[2]	16
Figure I.16 : Four à longerons.[2]	17
Figure I.17 : Calibreur.[2]	17
Figure I.18 : Dresseuse.[2]	18
Figure I.19 : l'atelier de parachèvement.	19

Chapitre II

Figure II.1 : Place de la maintenance dans l'entreprise.[6]	24
Figure II.2 : Les types de maintenance.	26
Figure II.3 : Les niveaux de la maintenance.	30
Figure II.4 : Le diagramme d'Ishikawa.	33
Figure II.5 : Diagramme de Pareto ou courbe ABC.	34

Chapitre III

Figure III.1 : Le concept de TC 56.[24]	43
Figure III.2 : Sûreté de fonctionnement FMD.[28]	44
Figure III.3 : Les trois périodes de la courbe en baignoire avec les différentes valeurs de β . 48	

Figure III.4 : Graphique d'Alain Platt.	49
Figure III.5: Allure d'un taux de défaillance « en baignoire ».	49
Figure III.6 : Papier de Weibull.	50
Figure III.7 : Chronologie des temps des activités de maintenance.	52
Figure III.8 : Relations entre fiabilité, maintenabilité, disponibilité et sécurité.[22]	56

Chapitre IV

Figure IV.1 : Secteur des installations en fonction de temps d'arrêt.	59
Figure IV.2: Secteur des installations en fonction de nombre de panne.	60
Figure IV.3 : Chaîne cinématique de laminoir à Pas de pèlerin.	63
Figure IV.4 : Chaîne cinématique de laminoir à Pas de pèlerin.	64
Figure IV.5 : La courbe ABC.	68
Figure IV.6 : L'interface de logiciel FIABOPTIME.	69
Figure IV.7 : Représentation des points sur le papier de Weibull.	72
Figure IV.8 : Fonction de répartition $F(t)$	75
Figure IV.9 : La fonction de fiabilité $R(t)$	78
Figure IV.10: Densité de probabilité $f(t)$	78
Figure IV.11 : Taux de défaillance $\lambda(t)$	79
Figure IV.12 : La Courbe de Maintenabilité.	82
Figure IV.13: La courbe de disponibilité.....	85
Figure IV.14 : Désignation des défaillances[2]	86
Figure IV.15 : Schéma présente le plateau de l'accouplement Holset.	88
Figure IV.16 : photo de la goupille de l'accouplement holset.....	90
Figure IV.17 : Schéma de définition de la goupille (Diamètre 104 mm).	91
Figure IV.18 : photo d'une goupille rompue.	91
Figure IV.19 : Calendrier entretien préventive.....	93

Liste des tableaux

Chapitre I

Tableau I.1 : les principales activités du complexe. [1].....	6
--	---

Chapitre II

Tableau II-1 : Niveaux de criticité et leurs définitions.	38
---	----

Tableau II-2 : Niveaux de fréquence et leurs définitions.....	38
--	----

Tableau II-3 : Niveaux de gravité et leurs définitions.	38
---	----

Tableau II-4 : Niveaux de probabilité de non détection et leurs définitions.....	39
---	----

Chapitre IV

Tableau IV-1 : Classification des machines critique.....	59
---	----

Tableau IV-2 : Historique de panne de laminoir à pèlerin.	67
---	----

Tableau IV-3 : Tableau de l'analyse ABC.	68
--	----

Tableau IV-4 : Estimation de la fonction de répartition.....	71
---	----

Tableau IV-5 : Les paramètre de la loi de wiebull.	72
--	----

Tableau IV-6 : La fiabilité et la fonction de répartition.	74
--	----

Tableau IV-7 : Calculs de la fiabilité, du temps de défaillance et de la densité de probabilité.	77
--	----

Tableau IV-8 : Calcule de maintenabilité.....	82
--	----

Tableau IV-9 : Calcul de disponibilité.	84
---	----

Tableau IV-10 : Tableaux de l'analyse AMD.....	87
---	----

Glossaire

F(t) : Fonction de répartition.

R(t) : Fonction de fiabilité.

f(t) : Fonction de densité de probabilité.

$\lambda(t)$: Taux de défaillance.

β : Paramètre de forme.

η : Paramètre de d'échelle.

γ : Paramètre de position.

$\mu(t)$: taux de réparation.

M(t) : fonction de maintenabilité.

Di : Disponibilité intrinsèque.

D(t) : Disponibilité instantanée.

F(ti) : la fonction de répartition théorique.

Fe(t) : la fonction de répartition réelle.

Dn.max : La différence de test de Kolmogorov Smirnov maximale.

α : le niveau significatif du test.

i : Défaillance.

N : Nombre de panne.

n : Nombre de dispositifs en essai.

t : Temps.

Exp : Exponentielle.

Ln : Logarithme.

MUT : Moyenne des temps de bon fonctionnement (Heure).

MTTR : Moyenne des temps de réparation (Heure).

MTBF : Moyenne de temps entre pannes.

TBF : Temps de bon fonctionnement entre deux défaillances.

Introduction générale

De nos jours, les entreprises doivent évoluer dans un environnement dominé par une forte concurrence internationale. Pour rester compétitives, ces entreprises doivent s'adapter plus rapidement et être réactives au maximum. Afin d'atteindre cet objectif, les usines doivent maîtriser la capacité de leurs systèmes de production. Ainsi de nombreuses approches sont apparues pour la modélisation et l'étude de ces systèmes.

Les systèmes de production actuels provoquent des irrégularités continues dans la production et ceci est dû aux pannes qui se produisent lors de la fabrication.

Le souci de toute entreprise est d'assurer sa fonction continuellement avec une meilleure qualité, un coût minimal et un maximum de sécurité ; pour atteindre cette perspective, les sociétés possèdent un service de maintenance.

Le rôle du service de la maintenance, est de choisir une politique de maintenance adéquate en prenant en considération l'aspect technique, économique et financier, des différentes méthodes en vue d'optimiser la sûreté de fonctionnement des systèmes de productions qui permettent de prendre des décisions [39]. Pour évaluer la performance d'un système, l'ingénieur utilise des méthodes et des outils mathématiques afin de calculer et d'évaluer les critères de maintenance (fiabilité, maintenabilité, disponibilité) qui permet de prendre des décisions.

Pour minimiser l'impact de ces arrêts sur la production et traiter rapidement les problèmes des arrêts accidentels de la machine de production, ces arrêts accidentels sont considérés comme une source de perturbation et de perte de productivité, les activités de maintenance doivent être intégrées à la gestion de production [40].

Il s'agit d'une technique de maintenance applicable sur les équipements et les machines de production, cette technique s'appelle "maintenance basée sur la Fiabilité (**MBF**)", qu'est de planifier l'exécution des autres tâches de maintenance, en altérant le moins possible le plan de production, et tout en respectant au mieux la périodicité de maintenance des équipements.

Dans notre travail, on va appliquer l'analyse FMD sur laminoir à pèlerin, Ce mémoire comporte quatre chapitres, qui sont organisés comme suit :

Le premier chapitre comprend la présentation générale de l'entreprise sider hadjar (TSS) ou nous avons passé le stage pratique

Dans le deuxième chapitre nous allons présenter les concepts de base de maintenance telle que les types de maintenance, leur objectif et leurs niveaux.

Le troisième chapitre on va étudier la fiabilité, la maintenabilité et la disponibilité et leurs lois de calculs.

Le quatrième chapitre nous allons appliquer l'analyse FMD sur machine mécanique choisi pour évaluer les paramètres de la sureté de fonctionnement.

Enfin, en clôture notre travail par une conclusion générale.

Chapitre I

Présentation générale du complexe Sider El-Hadjar (L'unité TSS)

I.1. Introduction :

Le complexe sidérurgique Sider El Hadjar à Annaba, est le symbole de l'industrie lourde et la base de la sidérurgie dans le pays, elle fait face à des défis économiques lui imposant d'affirmer son efficacité et son potentiel compétitif pour accompagner la dynamique d'édification de l'économie algérienne. La Société nationale de sidérurgie (SNC), a été créée en 1964 avec pour mission de mettre sur pied le complexe d'El Hadjar, inauguré effectivement le 19 juin 1969 dans la commune de Sidi Amar, wilaya d'Annaba, par l'ancien président Houari Boumediene (1932-1978).

Dans ce chapitre on donne une présentation générale du complexe situé dans la zone industrielle d'Annaba Avec une description complète de la filiale tuberie sans soudure dans laquelle nous avons passé le stage pratique.

I.2. Description générale de l'entreprise (Sider El-Hadjar) :

I.2.1. Situation géographique :

Le complexe sidérurgique d'EL HADJAR est situé à l'est du pays dans la zone industriel d'ANNABA. Il est implanté à 15 km au sud de la ville et occupe une superficie de 800 ha. Cette surface est répartie approximativement en trois zones :

- Les ateliers de la production « 300 Ha ».
- Les zone de stockage « 300 Ha ».
- Les surfaces des services « 200 Ha ».

Le complexe dispose d'une infrastructure ferroviaire d'une longueur de 60 Km, permettant la libre circulation des matières premières et près de 100 Km de route permettant la circulation des engins (autobus, camion, véhicule, etc....).[1]



Figure I.1 : Situation géographique du complexe.

I.2.2. Historique du complexe :

Période coloniale : Le projet de construction d'une usine sidérurgique à Annaba été inscrit en 1958 dans le plan de Constantine. Ce projet a vu la Création de la Société Bônoise de Sidérurgie (SBS) qui a été chargée de réaliser un haut fourneau et ses annexes.

1964, création de SNS : Après l'indépendance, l'état algérien a créé, le 03 Septembre 1964, la Société Nationale de Sidérurgie (SNS) qui a été chargée de la construction du complexe sidérurgique d'El-Hadjar 1969, première coulée : le complexe est entré en production après son inauguration le 19 juin 1969 par le Président de l'état Algérien Houari Boumediene.

1983, création de EN SIDER : La restructuration de l'industrie algérienne a donné naissance à l'Entreprise Nationale SIDER.

1995, création du Groupe SIDER : Cette évolution marque le passage de l'entreprise administrée à l'entreprise économique EPE/SPA.

1999, création de ALFASID : Un plan de redressement Interne du Groupe Sider donne naissance à 25 entreprises industrielles autonomes dont ALFASID qui représenté le « cœur du métier » de la sidérurgie.

ISPAT Annaba le 18.10.2001 : Un contrat de partenariat entre SIDER et LNM donne naissance à ISPAT Annaba. LNM détient 70% du capital social et SIDER 30%. Cette nouvelle société regroupe les filiales de SIDER liées au métier de base de la sidérurgie qui sont : Alfasid, Almain, Gessit, Iman, Amm, Comersid, Alfatur, Cryosid, Coprosid et Fersid). Ispat Tébessa est créé à la même période. Elle est le résultat d'un partenariat entre LNM (70%) et FERPHOS (30%). Elle comprend les mines de fer d'Ouenza et de Boukhadra.

Décembre 2004 Mittal Steel Annaba : La société change de dénomination après la fusion de LNM holding et ISPAT International.

Juin 2007, ArcelorMittal Annaba : Résultat de la fusion entre Mittal Steel et Arcelor. Octobre 2013, ArcelorMittal Algérie : La société change de dénomination après la signature d'un accord stratégique entre ArcelorMittal et Sider par lequel, la participation d'ArcelorMittal dans le capital de la société passe à 49% et celle de Sider à 51%.

Août 2016, SIDER EL HADJAR :

La société devient Algérienne à 100% suite à la signature de l'accord de transfert de la totalité des actions détenues auparavant par le groupe ArcelorMittal vers le groupe public IMETAL.[1]

I.2.3. Objectif du complexe :

En juin 1969, les premières unités de production sont développées : une zone de fonderie, de préparation et d'agglomération de matière, un haut-fourneau et une aciérie, permettant au complexe d'accueillir une gamme très diversifiée de produits finis et semi-finis de rizière : Brames, ferrailles, billettes, lingots, fils machine, barres d'armature.[1]

Le mandat du complexe est de valoriser le minerai de fer du pays et de produire des produits semi-finis en acier nécessaires à d'autres industries. De plus, pour les besoins en énergie et en fluides, le complexe est équipé d'équipements tels que [1] :

- 3 centrales thermiques d'une capacité totale de 65 mW/h.
- 4 usines d'oxygène d'une capacité totale de 3500 m3/h.
- 3 aqueducs d'une capacité de 28400 m3/h.

I.2.4. Principale activité :

Le tableau I.1 présente les principales activités du complexe.[1]

Installation	Produits	Principaux utilisateurs
Cokerie	Coke	Métallurgie
HF1 et HF2	Fonte	Métallurgie
ACO1	Brames	Industrie de transformation
ACO2	Billettes	Industrie de transformation
Laminoir à chaud (LAC)	Tôles forte	Construction métallique Chantiers navals Tube bouteilles à gaz
Laminoir à froid (LAF)	Tôles fines	Electroménager Mobilier métallique Industrie de transformation
Etamage	Fer blanc	Emballage métallique Divers pour les industries Alimentaire et chimique
Galvanisation	Tôles galvanisées	Bâtiments pour l'agronomie Industrie et levage
Aciérie électrique (ACE)	Lingots	Recherche et production pétrolière Transport des hydrocarbures
Laminoir à fil rond (LFR)	Fil rond à béton	Bâtiments et travaux publics Hydraulique

Tableau I.1 : les principales activités du complexe. [1]

I.2.5. Structure générale du complexe :

L'organigramme ci-dessous (figure I.2) représente l'organisation des différentes installations utiles pour la fabrication des produits [1]

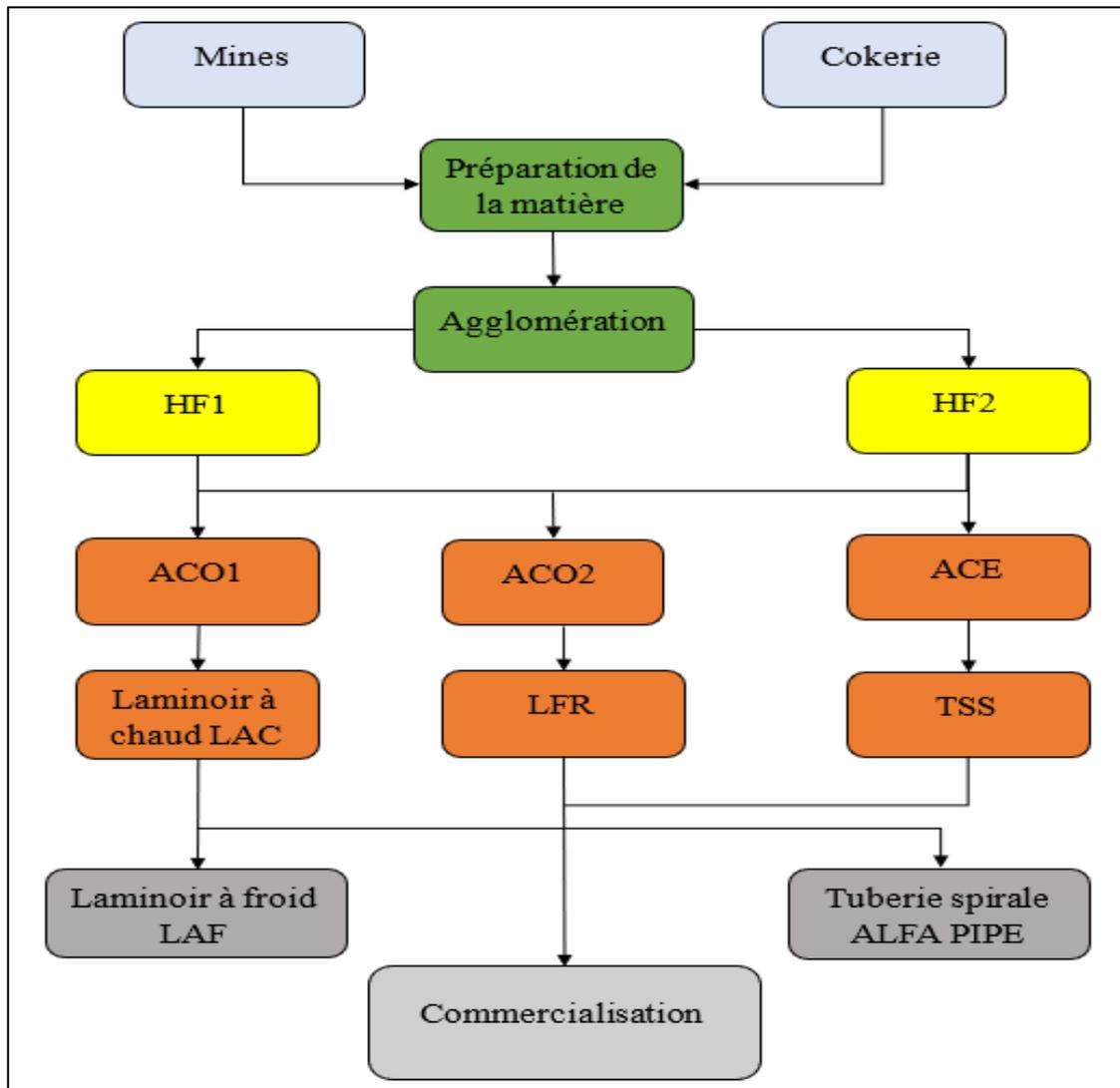


Figure I.2 : Organigramme de l'entreprise. Sider El-Hadjar.

Où :

- ❖ ACE : Aciérie électrique
- ❖ TSS : Tuberie sans soudure
- ❖ ACO : Aciérie à oxygéné
- ❖ LFR : Laminoir à fil et ronds
- ❖ HF : Haut fourneaux

I.3. Présentation de l'unité TSS :

L'unité de TSS implantée sur le site du complexe sidérurgique Annaba, a pour mission principale la production des tubes sans soudure destinés principalement à l'industrie du pétrole et du gaz, son démarrage a eu lieu en 1974. Les équipements de productions des tubes sans soudure sont répartis dans les ateliers suivants : le laminoir à tubes (LAT) ; le parachèvement des tubes (PAT) (Fig.I.3).[1]

L'unité de TSS spécialisée dans la fabrication des tubes :

- Line-pipe pour le transport des hydrocarbures.
- Tube casing pour le coffrage des puits de pétrole.



Figure I.3 : Situation géographique de TSS.

Ces ateliers sont desservis par les principales installations annexes suivantes : station de pompage ; station de traitement des eaux et sous stations électriques ; laboratoires des essais mécaniques (essais de traction et de résilience) et Laboratoire de métrologie.[1]

I.3.1. L'ACIÉRIE ÉLECTRIQUE [1] :

Le complexe est doté d'une aciérie électrique (ACE) conçu initialement pour alimenter la TSS en matière (lingots), elle produit deux types de lingots :

- Lingots ronds : $\text{Ø}190 + 405 \text{ mm}$.
- Lingots dodécagonaux : $\text{Ø} 300 + 500 \text{ mm}$.

I.3.2. Les principaux produits de TSS [1] :

- Les tubes traités (casing) pour le coffrage des puits de pétrole.
- Les tubes tubings pour la production.
- Les Tubes line-pipe pour le transport des hydrocarbures liquide et gazeux.
- Les Tubes pour usage hydraulique.

I.3.3. Commercialisation du produit fini [1] :

Les principaux clients sont :

- SONATRACH.
- NAFTAL.
- ALTUMET.
- KHANAGAZ.
- SONELGAZ/

I.3.4. Organisation structurelle :

Le complexe se compose organiquement de plusieurs filiales, dont : Elle a une filiale, Tuberie Sans Soudre (TSS). Ce dernier a des tâches Convertissez les lingots fournis par votre aciérie électrique locale en différents types de tuyaux diamètre.

Dirigée par un Directoire, TSS se compose de trois départements, quatre divisions et plusieurs services. La structure de TSS peut être schématisée selon l'organigramme suivant.[1]

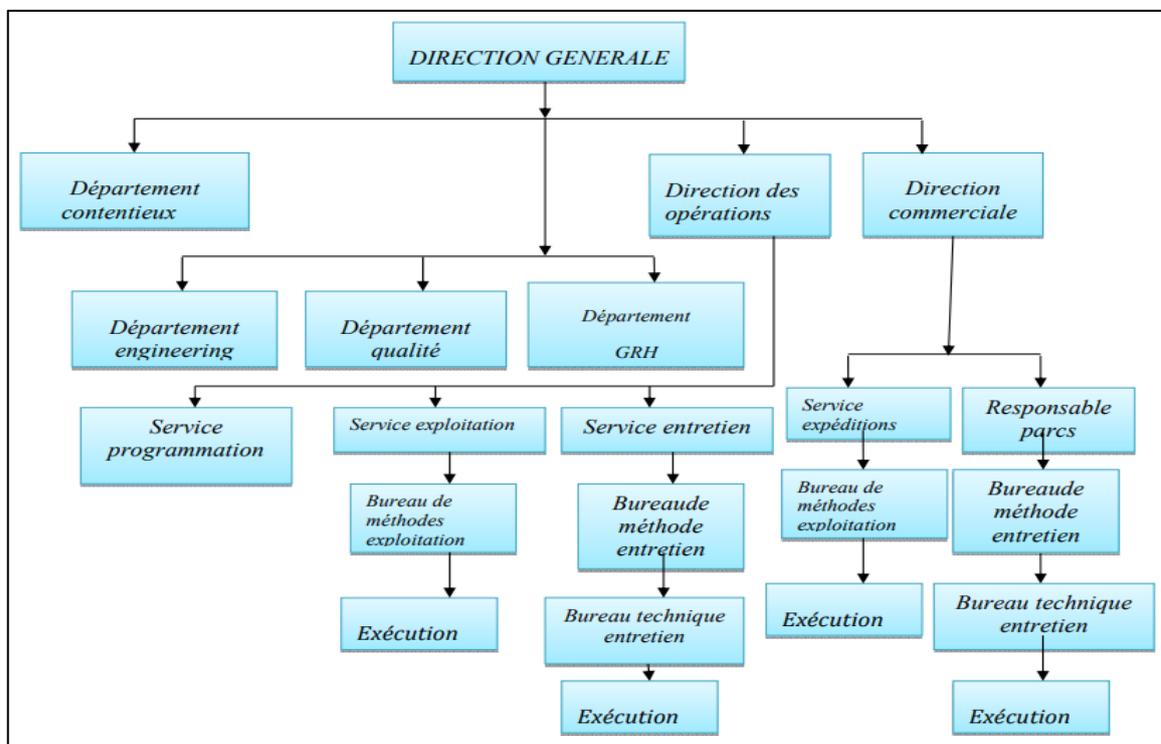


Figure I.4 : Organigramme de TSS.[1]

I.3.5. Procédures de fabrication des tubes sans soudure :

Les tuyaux sans soudure sont des pièces forgées de tuyaux en acier sans ligne de soudure. Elle Obtenu à partir d'une ébauche cylindrique par formage à chaud (laminage) pour produire la forme, les dimensions et les propriétés requises.

Les procédés pour obtenir un tube étant très nombreux comme nous allons voir dans le schéma qui explique la chaîne de production des tubes (Fig. I.5).

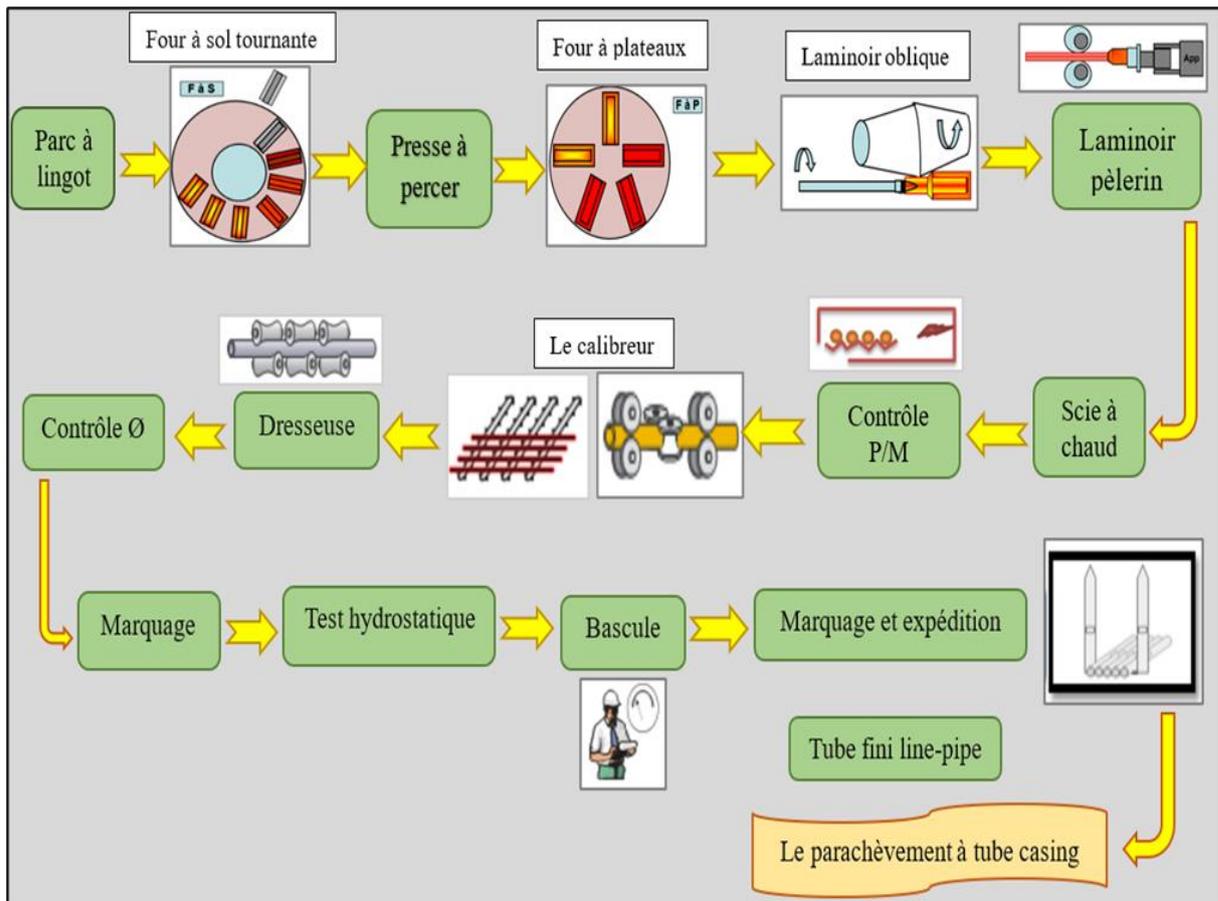


Figure I.5 : Prorusse du laminoin à tube.

I.3.6. Les ateliers de fabrication [2] :

I.3.6.1. Le laminoin à tubes (LAT) :

Est l'atelier le plus stratégique par l'importance de ces installations utiles pour la fabrication des tubes qui permet la fabrication des tubes avec un large éventail des diamètres et différentes épaisseurs, en utilisant le procédé de laminage à pas de pèlerin, Cette chaîne (voire Fig. I.5).[2] De production comporte les installations suivantes :

1. Parc à lingot :

L'alimentation de la table d'enfournement en lingot Dodécagonaux- Ronds, selon l'ordre de marche, le GP doit mentionner sur le tableau d'enfournement toutes les spécifications de chaque coulée (ϕ - Nuance – poids- longueur –N° OM- N° Coulée).et ce afin d'éviter le mélange de coulée.[2]



Figure I.6 : Parc à lingot. [2]

2. Four à sole :

❖ Enfouneur four à sole :

L'enfouneur F à S est appelé à enfourner des lingots de différent ϕ , pour subir une chauffe et atteindre une température de 1300c°, l'enfouneur doit maintenir une cadence d'enfournement suivant la marche du laminoir.[2]



Figure I.7 : Enfouneur four à sole.[2]

❖ Défouneur four à sole :

Le défouneur F à S est appelé à défourner les lingots de différent ϕ à une température de 1300c° pour alimenter la presse à percer en cas de perçage en doigts de gant. Ou bien la presse à centrer pour le trou de centre. Ce dernier doit suivre la cadence du laminoir.[2]



Figure I.8 : Défourneur four à sole [2].

3. Presse à percer :

L'opérateur presse est chargé de percer les lingots, de forme dodécagonale en provenance du F à S en doigts de gant à une T° de $1300c^{\circ}$. [2]

Il doit procéder au changement de montage et :

- Changement des outillages.
- Démontage / Remontage : matrice
- Démontage / Remontage : corps centreur
- Démontage / Remontage : selles
- Appuis fixe et mobile
- Refroidissement / Lubrification matrice

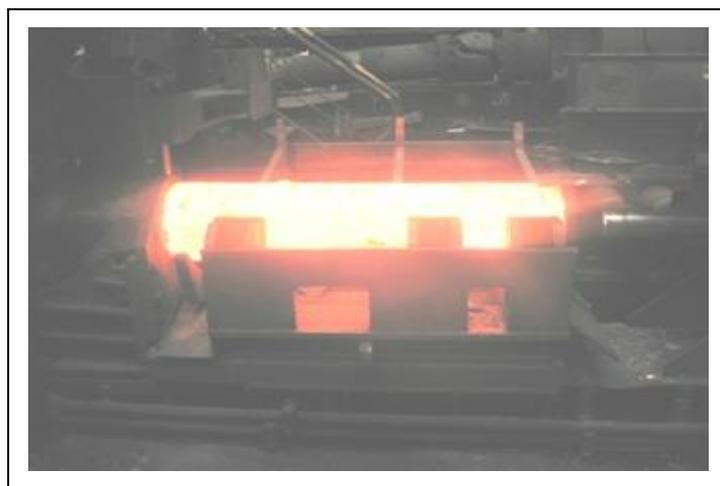


Figure I.9 : Presse à percer. [2]

4. Four à plateau :

Enfourner les ébauches presse en provenance de la presse à percer à une T° de 1150c°.

- Enregistrer les ébauches entrant sur le disque répéteur avec son N° de coulée.
- Défourner les ébauches à une T° de 1300c°. [2]

5. Laminoir Oblique (L-O) :

Transformer les ébauches presse en ébauche à paroi épaisse par entraînement de produit entre deux cylindres latérales inclinés, et une tête qui fait l'office d'un cylindre intérieur montée sur une tige LO maintenue par deux serres barre dans l'axe de la machine. [2]

Il Procède au :

- Changement de montage.
- Changement des outillages (pièce de base – couloir tige LO).
- Réglage théorique de la machine selon la gamme en cours de fabrication.

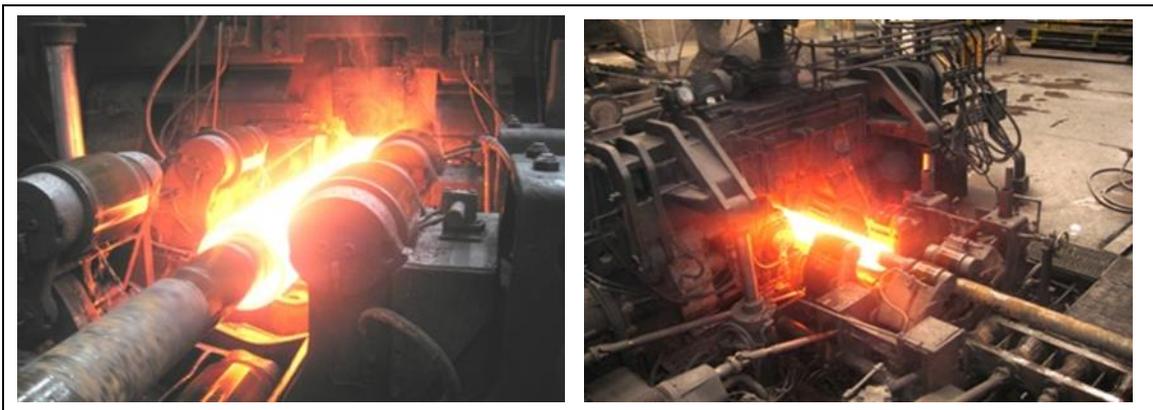


Figure I.10 : Laminoir Oblique. [2]

6. Pré enfilement [2] :

- Enfiler le mandrin après l'avoir graphité à l'intérieur de la bague et l'ébauche à chaud pour alimenter le LP.
- Transférer le mandrin après fin laminage vers la grille de refroidissement puis le tremper dans un bac à eau.
- Remettre la bague dans le berceau de pré enfilement.
- Il procède au changement de montage selon la gamme en cours de fabrication et suivre la cadence du laminoir.



Figure I.11 : Pré enfilement.[2]

7. Laminoir à pas de pèlerin :

❖ Lamineur :

Transformer les ébauches tabulaires en provenance du LO en tube à une T° de $1050c^{\circ}$ environs.

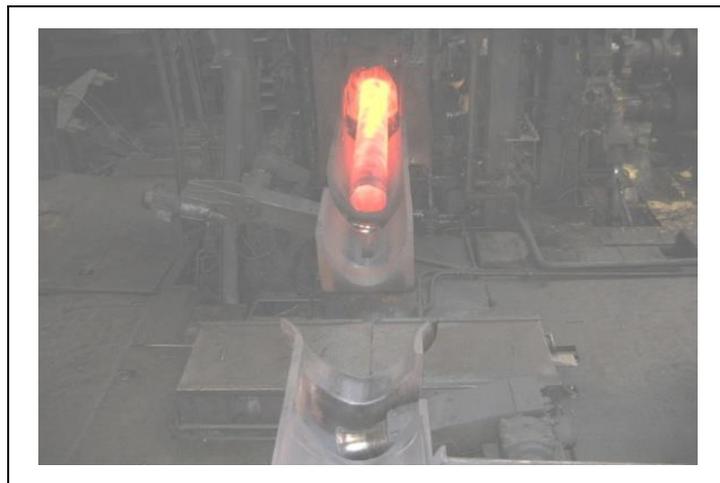


Figure I.12 : Lamineur.[2]

Le laminage consiste à faire allonger et amincir l'ébauche sur un mandrin cylindrique à l'aide de deux cylindres en rotation.

La réduction de diamètre extérieur s'effectue après la présentation de l'ensemble entre les cylindres LP, l'écrasement sur une faible portion de la longueur de l'ébauche ce qui nécessite un certain nombre de coups par tube.[2]



Il y a donc un Mouvement de va et vient de l'ébauche assuré par l'appareil de présentation. L'ensemble de Mouvements constitue un laminoir à pas de pèlerin.[2]

Le lamineur procède au :

- Changement de montage.
- Changement des outillages.
- Réglages de la machine.

❖ **Meuleur :**

- Éliminer les défauts sur cylindre LP.
- Préparer une solution de graphite dont le mélange est composé de : (eau – graphite – colle)
- Il doit alimenter les trains selon la cadence des laminoirs.



Figure I.13 : Meuleur.[2]

8. Scie à chaud :

- La coupe du balais et pavillons.
- La coupe en deux des tubes DL en provenance du LP à une T° environs 700c°.
- Il procède au dégagement de la benne à chute et au changement de la lamedé.



Figure I.14 : Scie à chaud.[2]

9. Sortie LP (Contrôleur après train) :

Assurer une bonne régularité dimensionnelle (épaisseur – p/m) selon OM.



Figure I.15 : Contrôleur après train.[2]

10. Four à longerons :

- Enfournement des tubes en provenance du laminoir.
- Respect le temps de chauffe.
- Défournement des tubes à une T° de 850c° environs
- Participer au détensionnement des tubes (recalibrés- redressés).



Figure I.16 : Four à longerons.[2]

11. Calibreur :

Obtenir un diamètre à chaud dans les tolérances, ceci s'effectue par réduction successive dans une série de cages calibreur alternés de 90° l'une par rapport à l'autre.[2]

La température de calibrage est comprise entre 850c° et 900c°.

Procède au :

- Changement de montage
- Réglage de la machine.



Figure I.17 : Calibreur.[2]

12. Dresseuse :

Obtenir une rectitude admissible sur tube provenant du calibre après avoir refroidis sur deux chaînes refroidisseuses à l'air libre. La température de dressage est de 80c°. [2]



Figure I.18 : Dresseuse. [2]

- A. **Zone réparation** : Réparation des tubes affectés de défauts réparables intérieur et extérieur.
- B. **Zone CND** : passage tuboscope – levée de doute MPI.
- C. **BARDONS** : Tronçonner des tubes casing et exécution du chanfrein API sur les tubes line pipe ayant un $\phi > 219.1$.
- D. **Recette** : Refaire tout le control visuel et dimensionnel des tubes portant le marquage OK tuboscope. Marquage selon API (N° tube – Nom de l'entreprise – dimension – N° de coulée - N° de Cde- Client). [2]

I.3.6.2. Parachèvement à tube (PAT) :

L'atelier du parachèvement des tubes sans soudure contient plusieurs installations importantes, et la zone du traitement thermique est l'une parmi elles. L'objectif de cette zone est de traiter thermiquement les tubes sans soudure dans le but d'améliorer leurs caractéristiques mécaniques. La méthode du traitement utilisée au niveau de cette zone, est le traitement par trempe et revenue (détrempe). Le programme annuel assuré par la zone du traitement thermique (TTH) est d'environ 56 500 tonnes de tubes traités pendant une utilisation effective de 3 520 heures. [1]



Figure I.19 : l'atelier de parachèvement.

Cette étape comporte des ensembles des installations des traitements thermique et de finition

Pour terminer la fabrication des tubes sans soudure

- Un four à longerons mobiles de réchauffage des tubes avant trempe (four de trempe).
- Un équipement de trempe comprenant les jupes de trempe.
- Une voie à rouleaux en aval du dispositif de trempe avec un dispositif d'éjection des tubes.
- Un four à longerons mobiles de revenue.
- Un équipement de décalaminage avant calibreur.
- Le calibreur.
- Une chaîne de refroidissement.
- La dresseuse.
- Les machines de coupe (Bardons).
- NDT.

Dans le four de trempe et le four de revenue pour l'objet de réduire plus ou moins l'écart de l'équilibre, Après diriger vers le calibreur, ensuite déplacer les tubes vers une chaîne pour le contrôle de diamètre, avant d'être contrôlé dans laboratoire de métrologie pour assurer la

conformité des outillages par apport à la norme, les tubes passé par le dresseur, puis les tubes doivent être chanfreiné.

Finalement, Les tubes subir un contrôle dimensionnel (diamètre, épaisseur ...), après passe par le poste de contrôle des agents.

I.4. Conclusion :

Le marché des tubes sans soudure couvrant des secteurs stratégiques reste pleinement développé longtemps rechercher. Besoins du marché algérien du tube sans soudure Elle dépasse de loin la capacité réelle de SIDER TSS. Broyeur à tubes Seamless a un réel potentiel et une adaptabilité aux besoins du marché Concernant la qualité des produits. La tuyauterie sans soudure est certifiée selon les normes Depuis décembre 1999 et depuis 1985, ISO 9001 fournit des produits fabriqués sous le monogramme API (Institut américain du pétrole).[1]

Chapitre II

Notion générale sur la maintenance des équipements industriels

II.1. Introduction :

Dans un contexte d'intensification de la concurrence internationale, Les entreprises misent sur leur capacité à optimiser l'utilisation de leurs moyens de production.

L'entreprise doit réduire les perturbations des outils de production. Elle doit Augmentez ainsi la fiabilité, la disponibilité et la sécurité de vos actifs.

Ce sont donc les principaux objectifs du service maintenance et sont atteints grâce à une bonne organisation, une meilleure gestion et une amélioration continue du service maintenance.

La maintenance industrielle est d'une importance primordiale dans le secteur industriel et le but n'est plus de réparer un équipement, mais de prévoir sa défaillance. Au cours de ces évolutions, les fonctions de maintenance ont évolué pour regrouper des fonctions techniques de gestion.

II.2. Historique de la maintenance :

Le terme « maintenance », forgé sur les racines latines manus et tenere, est apparu dans la langue française au XIIème siècle. L'étymologiste Wace a trouvé la forme mainteneur (celui qui soutient), utilisé en 1169 : c'est une forme archaïque de mainteneur. L'usage du mot « maintenance » dans la littérature française trouve trace depuis le seizième siècle, et pour les anglo-saxons l'utilisation de ce terme est plus moderne surtout dans le vocabulaire militaire : « le maintien dans des unités de combat, de l'effectif et du matériel à un niveau constant ». [3]

Au cours du dernier demi-siècle, la maintenance a connu une évolution très profonde. Cette évolution a touché les stratégies, les attitudes, les habitudes, les moyens et les méthodes. La maintenance a évolué du concept d'entretien suite à la défaillance d'un système, à celui d'une politique de maintenance basée sur des stratégies préventives, correctives, proactives et même amélioratives.[4]

II.3. Définition de la maintenance :

- D'après Larousse : la maintenance est l'ensemble de tous ce qui permet de maintenir ou de rétablir un système en état de fonctionnement.
- D'après L'Association Française de Normalisation (AFNOR X60-010-1994) : la maintenance est l'ensemble des activités destinées à maintenir ou à rétablir un bien dans un état ou dans des conditions données de sûreté de fonctionnement, pour accomplir une fonction requise. Ces activités sont une combinaison d'activités techniques,

administratives et de management. La maintenance regroupe ainsi les actions de dépannage et de réparation, de réglage, de révision, de contrôle et de vérification des équipements matériels (machines, véhicules, objets manufacturés, etc..) ou même des équipements immatériels (logiciels). Un service de maintenance peut également être amené à participer à des études d'amélioration du processus industriel, et doit, comme d'autres services de l'entreprise, prendre en considération de nombreuses contraintes comme la qualité, la sécurité, l'environnement, le coût, etc... [5]

II.4. Importance de la maintenance dans l'entreprise :

L'importance de la maintenance diffère selon le secteur d'activité. La préoccupation permanente de la recherche de la meilleure disponibilité suppose que tout devra être mis en œuvre afin d'éviter toute défaillance. La maintenance sera donc inévitable et lourde dans les secteurs où la sécurité est capitale. Inversement, les industries manufacturières à faible valeur ajoutée pourront se satisfaire d'un entretien traditionnel et limité ; d'où :

- ❖ Importance fondamentale : nucléaire, pétrochimie, chimie, transports (ferroviaire, aérien, etc.)
- ❖ Importance indispensable : entreprises à forte valeur ajoutée, de process, construction automobile
- ❖ Importance moyenne : industries de constructions diversifiées, coûts d'arrêts de production limités, équipement semi automatiques.
- ❖ Importance secondaire : entreprises sans production de série, équipements variés.
- ❖ Importance faible ou négligeable : entreprise manufacturière, faible valeur ajoutée, forte masse salariale.[5]

II.5. Place du service maintenance dans l'entreprise :

Les installations, les équipements, tendent à se détériorer dans le temps sous l'action de causes multiples : usures, déformations dues au fonctionnement, action des agents corrosifs (agents chimiques, atmosphériques, etc.). Ces détériorations peuvent provoquer l'arrêt de fonctionnement (panne) ; diminuer les capacités de production ; mettre en péril la sécurité des personnes ; provoquer des rebuts ou diminuer la qualité ; augmenter les coûts de fonctionnement (augmentation de la consommation d'énergie, etc.) ; diminuer la valeur marchande de ces moyens. Dans tous les cas ces détériorations engendrent des coûts directs ou indirects supplémentaires. Le service maintenance, comme le service de sécurité, devient une interface entre toutes les entités qui composent l'entreprise.[6]

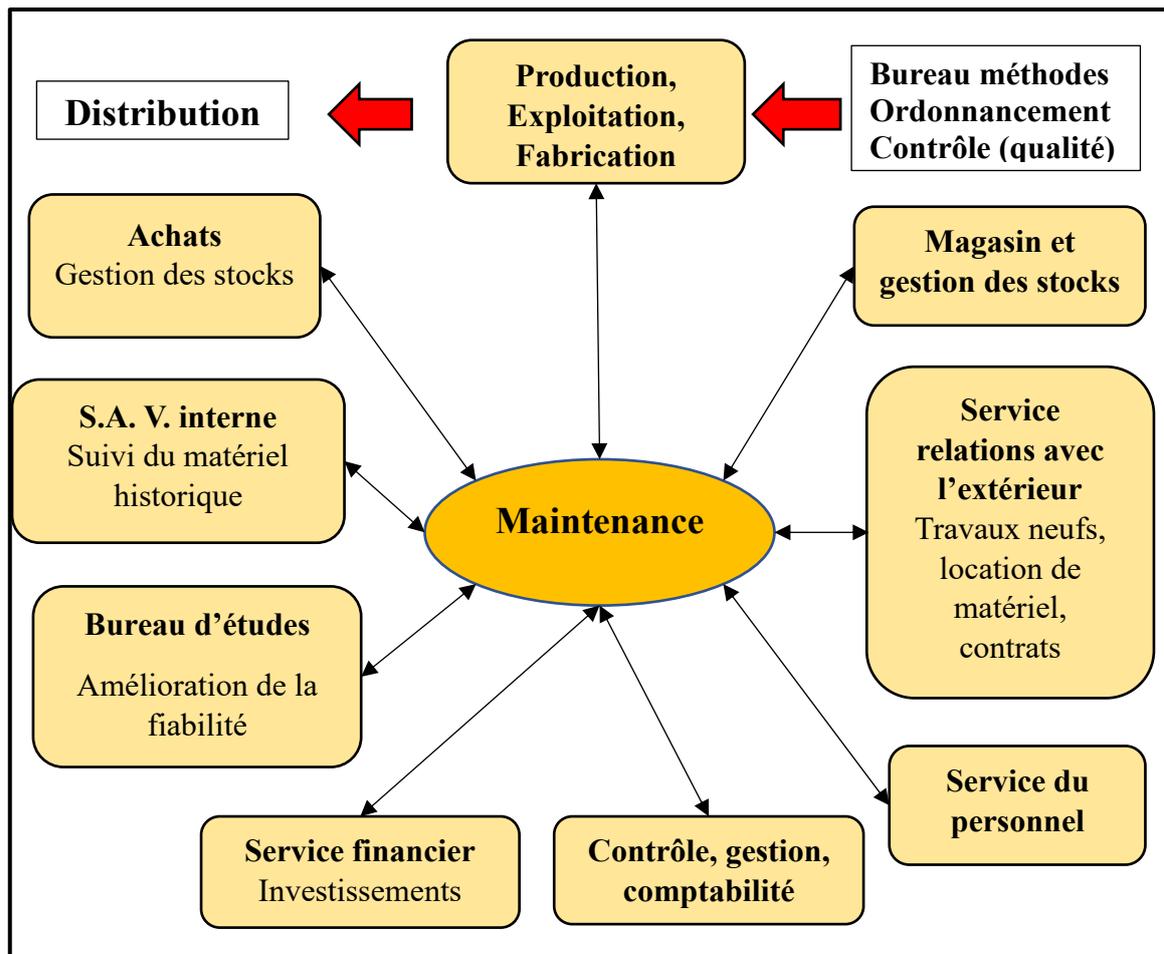


Figure II.1 : Place de la maintenance dans l'entreprise.[6]

II.6. Les objectifs de la maintenance :

D'une manière générale, la maintenance a pour but d'assurer la disponibilité maximale des équipements de production à un coût optimal. Les principaux objectifs que doit se fixer la fonction maintenance sont [7] :

- **Améliorer la fiabilité du matériel :** La mise en œuvre de la maintenance préventive nécessite les analyses techniques du comportement du matériel. Cela permet à la fois de pratiquer une maintenance préventive optimale et de supprimer complètement certaines défaillances.
- **Garantir la qualité des produits :** La surveillance quotidienne des machines est pratiquée pour détecter les symptômes de défaillance et veiller à ce que les paramètres de réglages et de fonctionnement soient respectés. Le contrôle des jeux (vibrations) et de la géométrie de la machine permet d'éviter les aléas de fonctionnement. La qualité des produits est ainsi assurée l'absence des rebuts.

- **Améliorer l'ordonnancement des travaux** : La planification des interventions de la maintenance préventive, correspondant au planning d'arrêt machine, devra être validée par le service production. Cela implique la collaboration de ce service, afin de faciliter la tâche de la maintenance. Les techniciens de maintenance sont souvent mécontents lorsque le responsable de production ne permet pas l'arrêt de l'installation, alors qu'il a reçu un bon de travail pour l'intervention. Une bonne coordination prévoit un arrêt selon un planning défini à l'avance prenant en compte les impossibilités en fonction des impératifs de production.
- **Assurer les sécurités humaines** : La préparation des interventions de maintenance préventive ne consiste pas seulement à respecter le planning, mais elle doit tenir compte aussi des critères de sécurité pour éviter les imprévus dangereux.
- **Améliorer la gestion de stock** : La maintenance préventive est planifiable. Elle maîtrise les échéances de remplacement des organes ou pièces, ce qui facilite la tâche de gestion des stocks. Elle permet aussi d'éviter de mettre en stock certaines pièces et ne les commander que le moment venu.

II.7. Politiques et stratégies de maintenance :

Dans la gestion de maintenance on distingue les notions de politique et de stratégie de maintenance suivantes [8] :

- ❖ **La politique de maintenance** : définit les méthodes de management utilisées en vue d'atteindre les objectifs de maintenance.
- ❖ **La stratégie de maintenance** : définit un type ou une combinaison de types de maintenance (corrective, préventive, améliorative) à appliquer à un équipement donné dans le but d'optimiser la production sur ce dernier.

Aussi, plusieurs concepts de maintenance existent [8] :

- La maintenance productive totale (TPM)
- La maintenance qualité totale, centrée sur la fiabilité (MBF)
- La maintenance basée sur le risque (MBR)
- La maintenance en conception (MC)
- Le Benchmarking ou le maintien en conditions opérationnelles (MCO).

II.8. Les différents types de la maintenance :

Il existe deux façons complémentaires d'organiser les actions de maintenance :

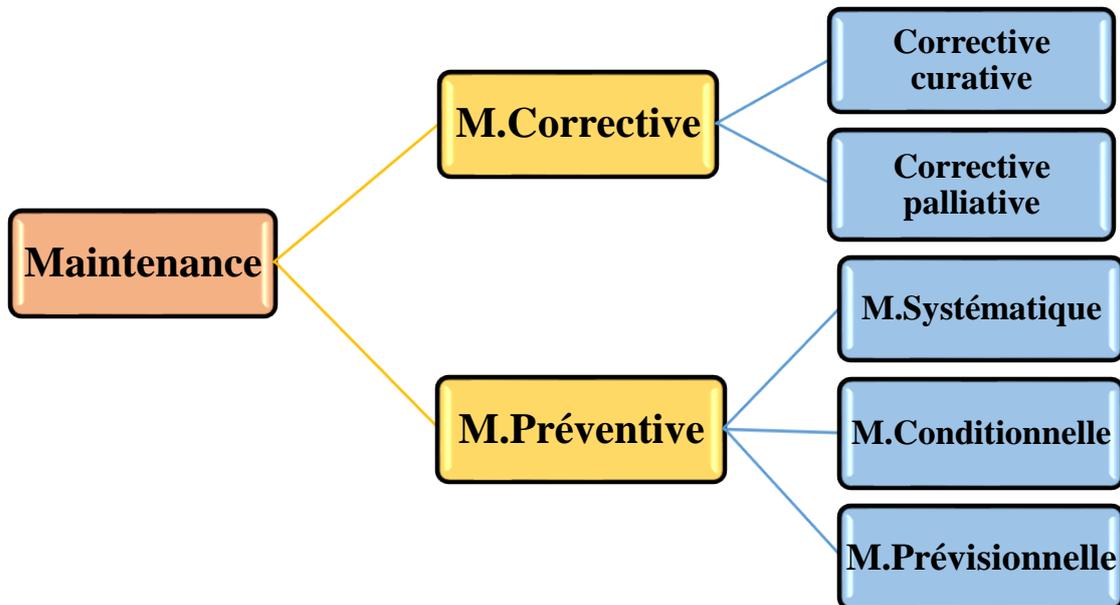


Figure II.2 : Les types de maintenance.

II.8.1. La maintenance corrective :

C'est l'ensemble des activités réalisées après la défaillance d'un bien, ou la dégradation de sa fonction pour lui permettre d'accomplir une fonction requise, au moins provisoirement : ces activités comportent notamment la localisation de la défaillance et son diagnostic, la remise en état avec ou sans modification, le contrôle de bon fonctionnement [9]. On a deux types de maintenance corrective qui sont :

II.8.1.1. Maintenance corrective curative :

Qui représente l'activité de maintenance corrective ayant pour objectif de rétablir un bien dans un état spécifique ou de lui permettre d'accomplir une fonction requise. Le résultat des activités réalisées doit présenter un caractère permanent, ces activités peuvent être des réparations des modifications ou aménagement ayant pour objet de supprimer la ou les défaillances.[9]

II.8.1.2. Maintenance corrective palliative :

Qui représente l'activité de la maintenance corrective destinées à un bien d'accomplir provisoirement tout ou partie d'une fonction requise, appelée couramment dépannage, cette

maintenance palliative est principalement constituée d'action à caractère provisoire qui devront être suivies d'action curatives.[9]

❖ **Les avantages et l'inconvénient de la maintenance corrective [9] :**

1. Les avantages :

- Avoir une bonne préparation du travail
- Avoir une bonne gestion pour toutes les informations

2. Les inconvénients :

- Cout de réparation important
- Stockage important des pièces
- Temps de réparation élevé
- Peu de sécurité des travailleurs

II.8.2. La maintenance Préventive :

La maintenance préventive est l'ensemble des actions exécutées à des intervalles de temps prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinées à réduire la probabilité de la défaillance ou de la dégradation de la fonction d'un bien.

Elle doit permettre d'éviter des défaillances des matériels en cours d'utilisation, l'analyse des couts mettre en évidence un gain par rapport aux défaillances qu'elle permet d'éviter [9].

II.8.2.1. But de la maintenance préventive [9] :

- Augmenter la durée de vie de matériel.
- Diminuer la probabilité de défaillance en cours de service.
- Diminuer le temps d'arrêt en cas de révision ou de la panne.
- Supprimer les consommations anormales d'énergie, de lubrifiants...etc.
- Prévenir et aussi prévoir les interventions de la maintenance corrective couteuse.

II.8.2.2. Les types de la maintenance préventive :

II.8.2.2.1. La maintenance préventive systématique :

Désigné des opérations effectuées systématiquement, soit selon un calendrier (à périodicité temporelle fixe), soit selon une périodicité d'usage (heurs de fonctionnement ; nombre d'unité produit, nombre de mouvement effectués...etc.). La périodicité des remplacements est déterminée selon deux méthodes :

La première est de type bloc et la seconde, de type âge. La politique de remplacement de type âge suggère de remplacer l'équipement à la panne ou après T unités de temps de bon fonctionnement. La politique de type bloc suggère de remplacer l'équipement après une période prédéterminée de temps T, 2T, etc. indépendamment de l'âge et de l'état du composant.[9]

II.8.2.2.2. La maintenance préventive conditionnelle :

C'est la maintenance préventive basée sur une surveillance du fonctionnement du bien et /ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement intégrant qui en découlent.

La maintenance préventive conditionnelle se caractérise par la mise en évidence de la partie faible de l'équipement.[9]

- Mesure des vibrations et des bruits.
- Les mesures de température.
- Mesure de la pression dans les différents organes.
- Le niveau et la qualité de l'huile.

II.8.2.2.3. La maintenance préventive prévisionnelle :

On définit par la maintenance préventive subordonnée à l'analyse de l'évolution surveillée de paramètres significatifs de la dégradation d'un bien, permettent de retarder et de planifier des interventions.[9]

II.9. Les opérations de maintenance :

1. Le dépannage :

C'est une action ou opération de maintenance corrective sur un équipement en panne en vue la remettre en état de fonctionnement.

Cette action de dépannage peut s'accommoder de résultats provisoires et de conditions de réalisation hors règles de procédures, de cout et de qualité, et dans ce cas sera suivie de la réparation. Souvent les interventions de dépannage sont de courtes durées mais peuvent être nombreuses et n'exigent pas la connaissance du comportement des équipements et des modes de dégradation.[10]

2. La réparation :

C'est une intervention définitive et limitée de maintenance corrective après panne ou défaillance. L'équipement réparé doit assurer les performances pour les quelles il a été conçu [10].

3. Les inspections :

Ce sont des activités de surveillance consistant à relever périodiquement des anomalies et exécuter des réglages simples ne nécessitant pas d'outillage spécifique ni d'arrêt de l'outil de production ou des équipements.[10]

4. Les visites :

Ce sont des opérations de surveillance qui dans le cadre de la maintenance préventive Systématique, s'opèrent selon une périodicité prédéterminée. Ces interventions correspondent à une liste d'opérations définis au préalable qui peuvent entrainer d'organes et une immobilisation du matériel.[10]

5. Les contrôles :

Ils correspondent à des vérifications de conformité par rapport à des données préétablies suivis d'un jugement. Le contrôle peut, comporter une activité d'information, inclure une décision, acceptation, rejet ajournement, déboucher comme les visites sur des opérations de maintenance corrective.

Les opérations de surveillance (inspection, visite, contrôle) sont nécessaires pour maitriser l'évolution de l'état réel du bien, effectuées de manière continue ou à des intervalles prédéterminés ou non, calculés sur le temps ou le nombre d'unités d'usage.[10]

6. Les révisions :

Ensemble des actions d'examens, de contrôle des interventions effectuées en vue d'assurer le bien contre toute défaillance majeure ou critique, pendant un temps ou pour un nombre d'unités d'usage donné. Il est d'usage de distinguer suivant l'étendue de cette opération les révisions partielles, des révisions générales. Dans les deux cas, cette opération implique la dépose de différents sous-ensembles [10].

II.10. Les niveaux de la maintenance :

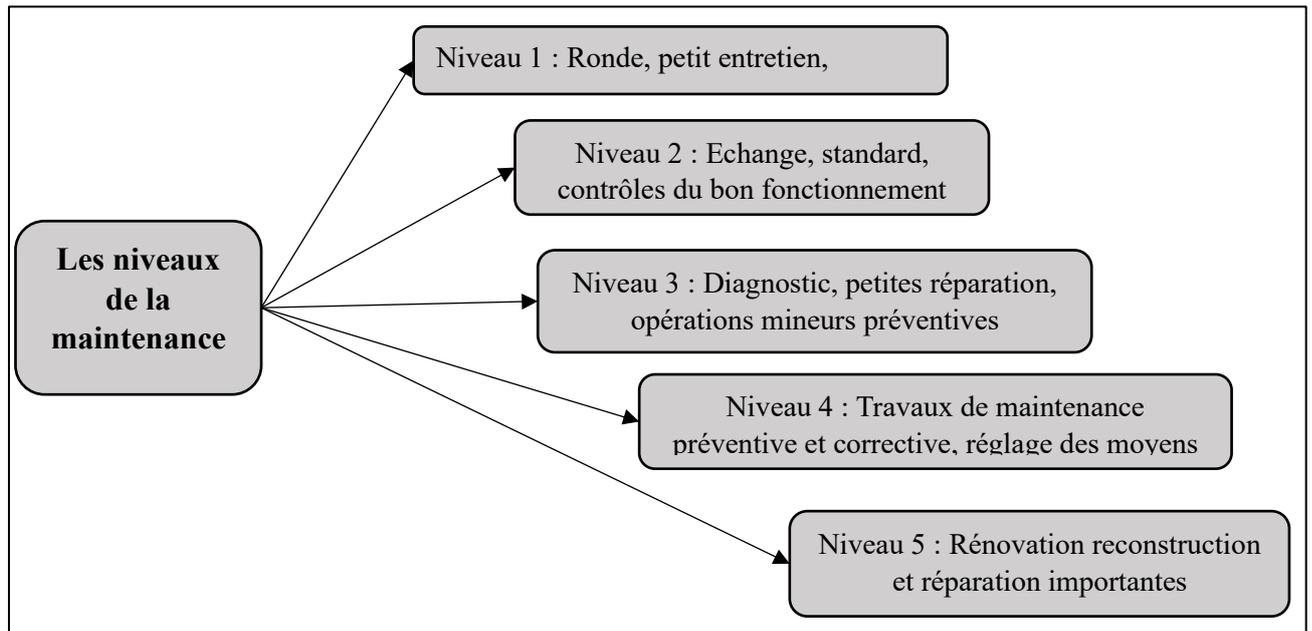


Figure II.3 : Les niveaux de la maintenance.

Les opérations à réaliser sont classées, selon leur complexité, en cinq les normes NFX 60-010. Pour chaque niveau, la liste des opérations précisées est donnée à titre d'illustration.[11]

a) 1^{er} niveau de maintenance :

Il s'agit essentiellement de control et de relevés des paramètres de fonctionnement des machines :

- Niveau d'huile moteur ;
- Niveau d'eau ;
- Indicateur de colmatage ;
- Niveau de la réserve d'huile ;
- Niveau de la réserve de combustible ;
- Régime du moteur ;
- Température de l'eau de refroidissement ;
- Température d'échappement ;
- Test des voyants et indicateurs ;
- Purge de circuit d'échappement ;
- Nettoyage des filtres ;
- Contrôle visuel de l'état des organes ;

- Contrôle auditif des bruits de marche.

Ces contrôles peuvent donner suite à des interventions simples de main ne nécessitant pas de réalisation d'un diagnostic de panne et démontage. Ils peuvent aussi déclencher, notamment sur des anomalies constatées, des opérations de maintenance de niveau supérieurs. En règle générale les interventions de 1er niveau sont intégrées à la conduite des machines.

b) 2^{eme} niveau de maintenance :

Il s'agit des opérations de maintenance préventive qui sont régulièrement effectuées sur les équipements :

- Remplacement des filtres à gazole ;
- Remplacement des filtres à huile moteur ;
- Remplacement des filtres à air ;
- Prélèvement d'huile pour analyse et pré-analyse ;
- Vidange de l'huile moteur ;
- Analyse de liquide de refroidissement ;
- Contrôle des points signalés pour le 1er niveau ;
- Graissage de tous les points en fonction de périodicité ;
- Contrôle des batteries.

Ces opérations sont réalisées par un technicien ayant une formation spécifique. Ce dernier suit les instructions de maintenance qui définissent les tâches, la manière et les outillages spéciaux. Les pièces de rechange sont essentiellement du type consommable, filtres, joints, huile, liquide de refroidissement.

c) 3^{eme} niveau de maintenance :

Il s'agit de opérations de maintenance préventive, curative, de réglages et de réparations mécanique ou électrique mineurs. Les opérations réalisées peuvent nécessiter un diagnostic de panne :

- Réglage des jeux de soupapes ;
- Réglage des injecteurs ;
- Contrôle endoscopique des cylindres ;
- Contrôle des sécurités du moteur ;

- Contrôle et réglage des protections électriques ;
- Contrôle du démarreur ;
- Remplacement d'un injecteur ;
- Contrôle et réglage de la carburation ;
- Contrôle et réglage de la régulation de puissance ;
- Contrôle et révision de la pompe ;
- Remplacement d'une résistance de chauffage ;
- Contrôle de l'embellage ;
- Contrôle de l'isolement électrique ;
- Remplacement des sondes et capteurs ;
- Remplacement d'une bobine de commande ;
- Remplacement d'un disjoncteur.

Ces opérations sont réalisées par un technicien spécialisé. Toutes les opérations se font avec l'aide d'instructions de maintenance et d'outils spécifiques tel que les appareils de mesure ou de calibrage. Ces opérations peuvent conduire à des opérations de 4eme niveau.

d) 4^{eme} niveau de maintenance :

Il s'agit d'opérations importantes ou complexes à l'exception de la reconstruction de l'équipement :

- Déculassage (révision, rectification) ;
- Révision de la cylindrée ;
- Contrôle d'alignement du moteur / alternateur ;
- Changement des pôles d'un disjoncteur HT ;

Les opérations sont réalisées par des techniciens bénéficiant d'un encadrement technicien très spécialisé, d'un outillage général complet et d'un outillage spécifique. Elles font aussi appel à des ateliers spécialisés (rectification, ré usinage).

e) 5^{eme} niveau de maintenance :

Il s'agit d'opérations lourdes de rénovation ou de reconstruction d'un équipement. Ces opérations entraînent le démontage de l'équipement est son transport dans un atelier spécialisé.

Le 5eme niveau de maintenance est réservé au constructeur ou reconstruteur. Il nécessite des moyens similaires à ceux utilisés en fabrication.

II.11. Les méthodes d'analyse de défaillance :

II.11.1. Le diagramme d'Ishikawa :

Le diagramme d'Ishikawa, également appelé diagramme de causes et effets (5M), Ou encore diagramme en arêtes de poissons, est utilisé dans la gestion de la qualité. Il aide à identifier les différentes causes et effets d'une problématique donnée.

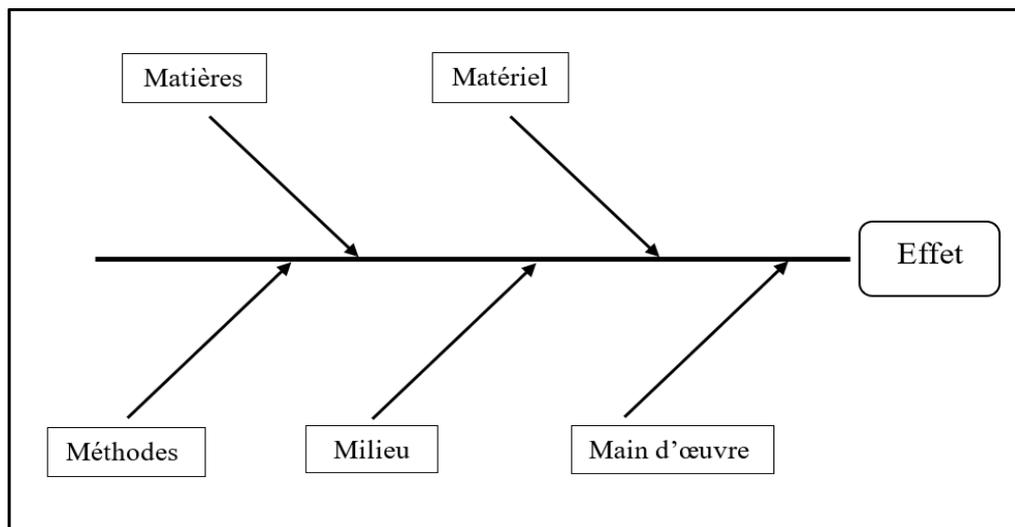


Figure II.4: Le diagramme d'Ishikawa.

Son fonctionnement est simple : il vous suffit de lister l'ensemble des potentielles causes imputables à la problématique que vous rencontrez et de les classer selon différentes catégories. Sur une machine donnée, on pourrait par exemple créer les catégories électriques, mécanique, hydraulique, automatisme, et retrouver sous chacune d'entre elles tout un ensemble de problèmes que l'on peut rencontrer sur la machine en question. Cet outil, assez visuel, est particulièrement utilisé dans la gestion des risques, propre à la gestion de projet, puisqu'il vous permet d'anticiper tout un éventail de difficultés qui pourraient avoir des retombées assez catastrophiques sur l'activité de votre entreprise.[12]

II.11.2. Pareto ou L'analyse ABC :

L'analyse Pareto, autrement appelée méthode des 20-80, permet d'analyser les pannes les plus importantes, aussi bien en termes de fréquence d'intervention que de temps passé. Elle permet d'affirmer que 20 % (voire moins) des causes sont responsables de 80 % des problèmes

rencontrés dans une usine, et donc d'analyser toutes les problématiques pour trouver une réponse adaptée. Pour utiliser cette méthode et avoir un aperçu général de la situation, vous devez au préalable vous donner de vos historiques de défaillance. La GMAO nouvelle génération vous permet grâce à son module d'analytique, de ressortir automatiquement toutes vos données afin de les exploiter.[13]

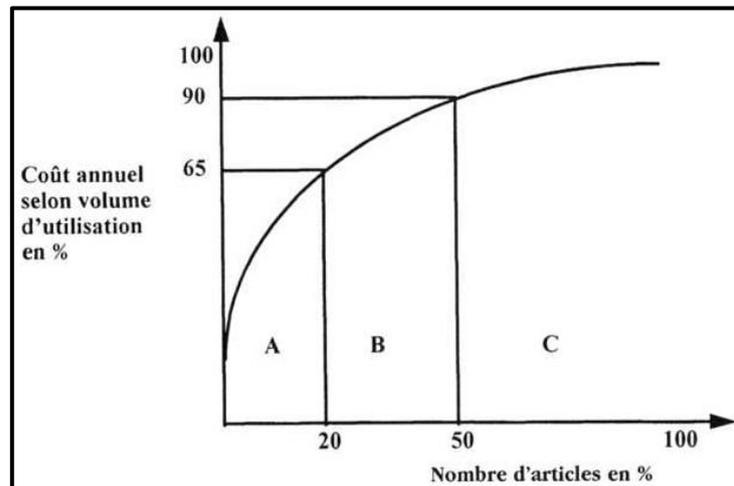


Figure II.5 : Diagramme de Pareto ou courbe ABC.

II.11.2.1. But de la méthode ABC :

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

- Diminuer les coûts de maintenance.
- Améliorer la fiabilité des systèmes. Justifier la mise en place d'une politique de maintenance. [14]

II.11.3. L'AMDEC :

L'analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC) a pour but de vous aider à mener une analyse poussée de vos interventions de maintenance et de votre parc machine.

L'AMDEC vous permet de gérer votre maintenance industrielle puisque cet outil de sûreté de fonctionnement est aussi très utilisé dans le cadre de démarches qualité. Pour l'utiliser au mieux, il vous suffit de suivre ces quelques étapes :

- Déterminer le mode de défaillance ainsi que la cause ;
- Mesurer les effets sur le système, la fonction touchée ainsi que le dommage induit ;

- Identifier les critères suivants :
 - ✓ N : Nombre de pannes.
 - ✓ F : Fréquence.
 - ✓ G : Gravité
 - ✓ E : Évidence ;

Calculer la criticité d'après la formule suivante : (Fréquence Gravité Évidence). La forme de l'AMDEC peut être multiple (fonctionnelle, produit, processus, moyen de production, flux) et avoir chaque fois des effets différents, mais qui permettront toujours d'obtenir un document de travail incontournable pour savoir quelles actions entreprendre, quelles interventions réaliser, etc. En définitive, cette méthode permet d'augmenter la production en limitant les problèmes de défaillance, d'analyser les défauts de production, de constamment chercher à s'améliorer.[15]

II.11.3.1. Domaine d'application de L'AMDEC :

1950 : la méthode FMECA (Failure, Mode effects and criticality analyse) est introduite aux Etats-Unis dans le domaine des armes nucléaires ;

1950 : Cette méthode est mise en application en France sous le nom d'AMDEC pour les programmes spatiaux et aéronautique ;

1970 : Son application est étendue aux domaines du nucléaire civile, des transports terrestres et des grands travaux ;

1980 : L'AMDEC est appliquée aux industries de produits et de bien d'équipement de production.[15]

II.11.3.2. Types d'AMDEC :

Selon les objectifs visés plusieurs types de l'AMDEC sont utilisés lors de phases successives de développement d'un produit :

a) AMDEC produit :

S'assurer que la conception du produit (appareil électroménager, sous-ensemble automobile, produit chimique...) satisfera aux exigences des clients

b) AMDEC processus :

S'assurer que chaque étape de la fabrication du produit ne générera pas de défauts de qualité-
Les sorties de l'étude sont :

- Modes opératoires de fabrication
- Plan de contrôle

c) AMDEC machine :

S'assurer que les équipements, les machines fonctionneront avec la meilleure disponibilité possible-
Les sorties de l'étude sont :

- Modes opératoires de conduite et de maintenance
- Formation du personnel (production et maintenance)
- Politique de maintenance et de pièces de rechange
- Modifications pour améliorer la fiabilité ou la maintenabilité

Le présent document concerne essentiellement l'AMDEC Moyen.[16]

II.11.3.3. Objectifs de l'AMDEC :

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

- Analyser les conséquences des défaillances,
- Identifier les modes de défaillances,
- Préciser pour chaque mode de défaillance les moyens et les procédures de détection,
- Déterminer l'importance ou la criticité de chaque mode de défaillance,
- Classer les modes de défaillance,
- Etablir des échelles de signification et de probabilité de défaillance.[16]

II.11.3.4. Démarche pratique de l'AMDEC :

L'emploi des AMDEC crée une ossature qu'il convient de compléter et d'outiller. Pour cela une analyse plus fine de la pertinence des informations est nécessaire. Le groupe AMDEC est tenu de maîtriser la machine et de mettre à jour et s'assurer de la validité de toutes les informations utiles à l'étude. Il appartient à ce groupe de s'appuyer sur le retour d'expérience

de tous les opérateurs de tous les services de cycle de fabrication de produit, qui peuvent apporter une valeur ajoutée à l'analyse [17]

La démarche pratique de l'AMDEC se décompose en 4 étapes suivantes :

➤ **Etape 1 : initialisation de l'étude qui consiste :**

- La définition de la machine à analyser,
- La définition de la phase de fonctionnement,
- La définition des objectifs à atteindre,
- Constitution de groupe de travail,
- La définition de planning des réunions,
- La mise au point des supports de travail

➤ **Etape 2 : description fonctionnelle de la machine qui consiste**

- Découpage de la machine, décision des actions à engager
- Inventaire des fonctions de service,
- Inventaire des fonctions techniques.

➤ **Etape 3 : analyse AMDEC qui consiste :**

- Analyse des mécanismes de défaillances,
- Evaluation de la criticité à travers :
 1. La probabilité d'occurrence F.
 2. La gravité des conséquences G.
 3. La probabilité de non détection D.

➤ **Etape 4 : synthèse de l'étude/décisions qui consiste :**

- Bilan des travaux,
- Décision des actions à engager [18]

II.11.3.5. Les niveaux de criticité [41] :

Niveau de criticité	Définition
$1 \leq C < 10$ Criticité négligeable	Aucune modification Maintenance corrective
$10 \leq C < 18$ Criticité moyenne	Amélioration Maintenance préventive systématique
$18 \leq C < 27$ Criticité élevée	Surveillance particulière Maintenance préventive conditionnelle
$27 \leq C < 64$ Criticité interdite	Remise en cause complétée de l'équipement

Tableau II-1 : Niveaux de criticité et leurs définitions.

Niveau de fréquence	Indice	Définition
Fréquence très faible	1	Défaillance rare : 1 défaillance maxi par an
Fréquence faible	2	Défaillance possible : 1 défaillance maxi par trimestre
Fréquence moyenne	3	Défaillance fréquente : 1 défaillance maxi par mois
Fréquence forte	4	Défaillance très fréquente : 1 défaillance maxi par semaine

Tableau II-2 : Niveaux de fréquence et leurs définitions.

Niveau de gravité	Indice	Définition
Gravité très faible	1	Sous influence Pas d'arrêt de la production
Gravité faible	2	Peut critique Arrêt ≤ 1 heure
Gravité moyenne	3	Critique 1 heure \leq arrêt ≤ 1 jour
Gravité catastrophique	4	Très critique Arrêt > 1 jour

Tableau II-3 : Niveaux de gravité et leurs définitions.

Niveau de probabilité de non détection	Indice	Définition
Détection évidente	1	Visite par opérateur
Détection possible	2	Détection aisée par un agent de maintenance
Détection improbable	3	Détection difficile
Détection impossible	4	Indécelable

Tableau II-4 : Niveaux de probabilité de non détection et leurs définitions.

II.12. L'intérêt de maintenance :

Généralement, la maintenance est jouée un rôle très important dans le domaine industriel à cause de ses intérêts tels que :

- Diminuer les travaux urgents.
- Faciliter la gestion de la maintenance.
- Favoriser la planification des travaux.
- Rendre possible la préparation, l'ordonnancement et la gestion des stocks
- Éviter les périodes de dysfonctionnement avant panne, ainsi que les dégâts éventuels provoqués par une panne intempestive.
- Augmenter la sécurité.[19]

II.13. Les tâches de maintenance :

Les politiques de maintenance définies selon la méthode OMF sont composées d'opérations de maintenance différentes :

Des tâches de maintenance préventive systématique : des remplacements de tout ou partie d'un matériel effectués à dates fixes, des observations de l'état du matériel (contrôles, inspections, tests, ...),

- Des tâches de maintenance préventive conditionnelle : des tâches de remise en état entraînées par la détection d'une éventuelle dégradation,
- Des tâches de maintenance corrective : des tâches de remise en état effectuées suite à la défaillance du matériel.

Les tâches de remise en état préventives systématiques et correctives sont relativement simples à décrire puisque leur processus de décision dépend soit d'une Périodicité donnée soit de l'apparition d'un mode de défaillance. On peut dans ce cas se référer aux modèles de maintenance élémentaires, parmi lesquels :

- Les modèles basés sur l'âge, ou âge-replacement polyciers,
- Les modèles de remplacement par blocs, ou block-replacement polyciers,

En revanche, les tâches de maintenance préventive conditionnelle sont basées sur l'observation de l'état de dégradation du matériel. Il faut donc représenter les phénomènes qui peuvent être à l'origine des décisions de remise en état, à savoir :

- le mécanisme de dégradation lui-même, comme dans la majorité des modèles de maintenance conditionnelle en général.[20]

II.14. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté brièvement les notions de base de la maintenance, classifié les différentes méthodes et montré ses objectifs dans le domaine industriel et on a cité les opérations de maintenance et vu les cinq niveaux de maintenance d'une autre part.

En conclusion, on peut dire que la maintenance est très importante dans l'industrie pour diminuer les coûts et éviter les accidents.

A cet effet, et pour améliorer la productivité, il est très important En utilisant les méthodes disponibles et possibles (évaluation et prédiction), Bon fonctionnement de la production, assurer la sécurité des personnes, la préservation Protéger l'environnement et réduire les coûts de production et de maintenance.

Chapitre III

La sûreté de fonctionnement

III.1. Introduction :

L'industrie parle de plus en plus de la sûreté de fonctionnement. Cette discipline qui s'en est approprié noms et leurs formes actuelles, principalement dans les domaines du dernier demi-siècle et du monde défense, aviation, espace, nucléaire, télécommunications et transports, à l'avenir, il sera utile voire indispensable pour tous les secteurs de l'industrie et d'autres activités.

Pourquoi ? La sûreté de fonctionnement est une riche palette de techniques et de concepts
Département de la gestion des risques [21].

La Sûreté de fonctionnement est appelée la science des « défaillances ». D'autres désignations existent suivant les domaines d'applications : analyse de risque (milieu pétrolier), aléatique, cindynique (science du danger), FMDS (Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité, Sécurité), en anglais RAMS (Reliability, Availability, Maintainability and Safety). Elle se caractérise à la fois par les études structurelles statiques et dynamiques des systèmes, du point de vue prévisionnel mais aussi opérationnel et expérimental (essais, accidents), en tenant compte des aspects probabilités et des conséquences induites par les défaillances techniques et humaines. Cette discipline intervient non seulement au niveau de systèmes déjà construits mais aussi au niveau conceptuel pour la réalisation des systèmes [22].

III.2. Historique :

Bien qu'il soit possible d'en trouver des prémices dans l'histoire à différentes époques, la sûreté de fonctionnement est une science jeune dont les concepts continuent à évoluer. Les années 1950 ont vu apparaître la fiabilité en tant que discipline de l'ingénieur pour formuler les chances de bon fonctionnement d'un bien sur un intervalle de temps donné.

On se préoccupe alors de calculer la probabilité de non-défaillance d'un équipement complexe et ainsi les chances de succès de la mission qu'il remplit. Il faut attendre les années 1980 pour voir émerger la sûreté de fonctionnement comme discipline scientifique ainsi qu'une notion plus large que la fiabilité afin de traduire la confiance qu'un utilisateur peut avoir dans un bien (matériel, logiciel, système complexe, ...etc.).

Définie alors comme « l'ensemble des propriétés qui décrivent la disponibilité et les facteurs qui la conditionnent : fiabilité, maintenabilité et logistique de maintenance », la sûreté de fonctionnement est la traduction du terme anglais « dependability », synonyme dans le langage courant de disponibilité. Le TC 56 (Comité Technique Horizontal) change de nom en 1989 pour

s'appeler « sûreté de fonctionnement (dependability) » et entériner ainsi la naissance de ce nouveau concept [23].

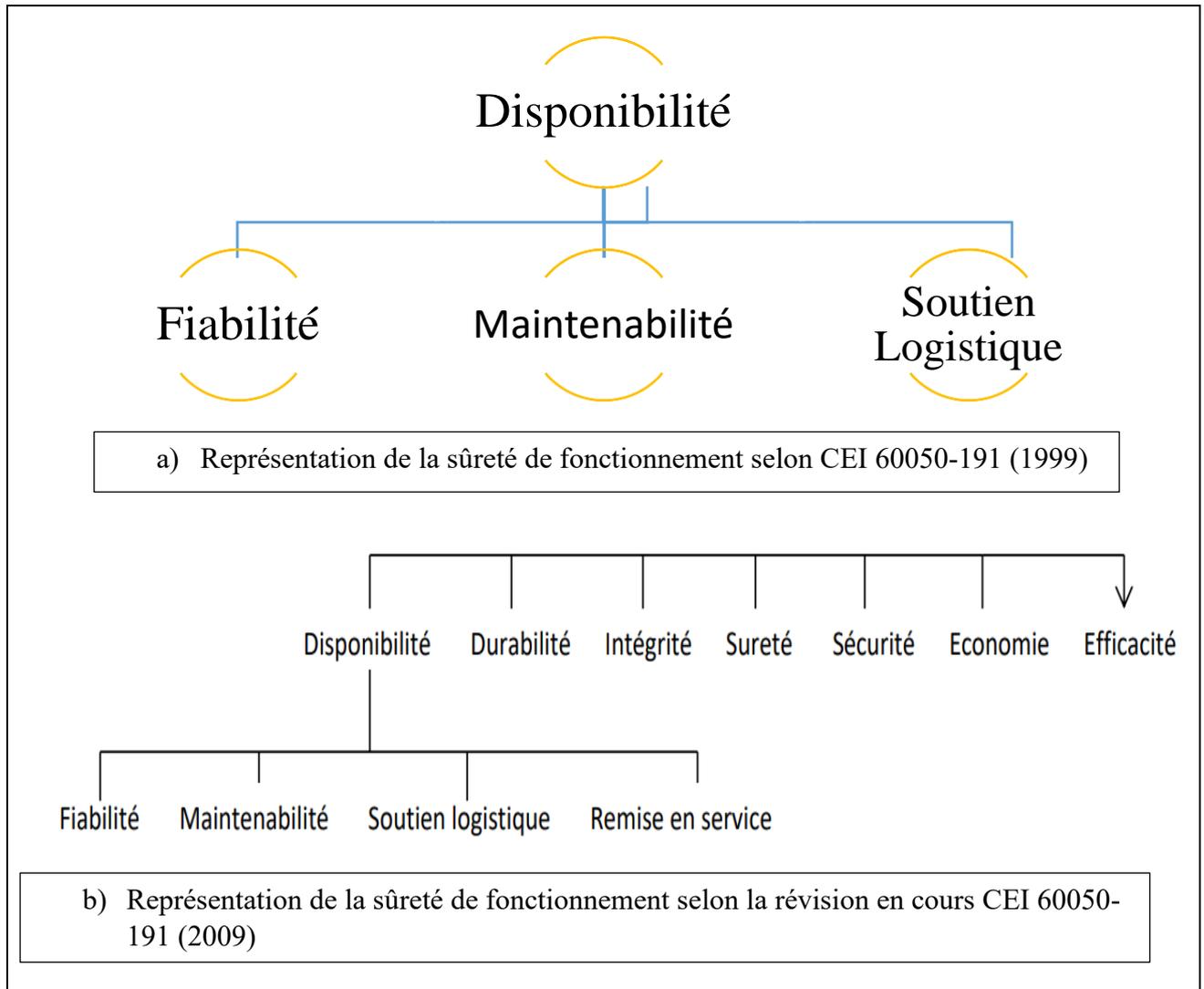


Figure III.1: Le concept de TC 56.[24]

III.3. Notion de risque :

Tout travail ou situation de la vie quotidienne comporte des risques : Risques Technologique, économique, transport, environnemental, sanitaire, naturel, etc. Le risque est une évaluation du risque et est une idée intuitive et subjective. Il y a deux risques :

- Probabilité d'un événement : $P(e)$
- Conséquences ou dommage de l'acte : c . Les dommages sont des dommages et/ou des dommages directs aux personnes et aux biens,

- Le danger : ou un phénomène dangereux toute situation dans laquelle une personne est exposée à une ou plusieurs causes capables de provoquer une lésion ou une atteinte à la santé [25].

III.4. But de la sûreté de fonctionnement :

L'objectif de la sûreté de fonctionnement : mesurer la qualité de service délivré par un système, de manière à ce que l'utilisateur ait en lui une confiance justifiée. Cette confiance justifiée s'obtient à travers une analyse qualitative et quantitative des différentes propriétés du service délivré par le système, mesurée par les paramètres probabilistes associées : fiabilité, maintenabilité, disponibilité, sécurité [26].

III.5. Mesures de la sûreté de fonctionnement :

La sûreté de fonctionnement d'une machine en tenant compte de l'aspect sécurité et les critères visant à éviter un entretien fréquent (difficile et coûteux) se résument en trois points connus sous la notion F.M.D. que le concepteur devrait tenir compte lors des études d'engineering, [27] :

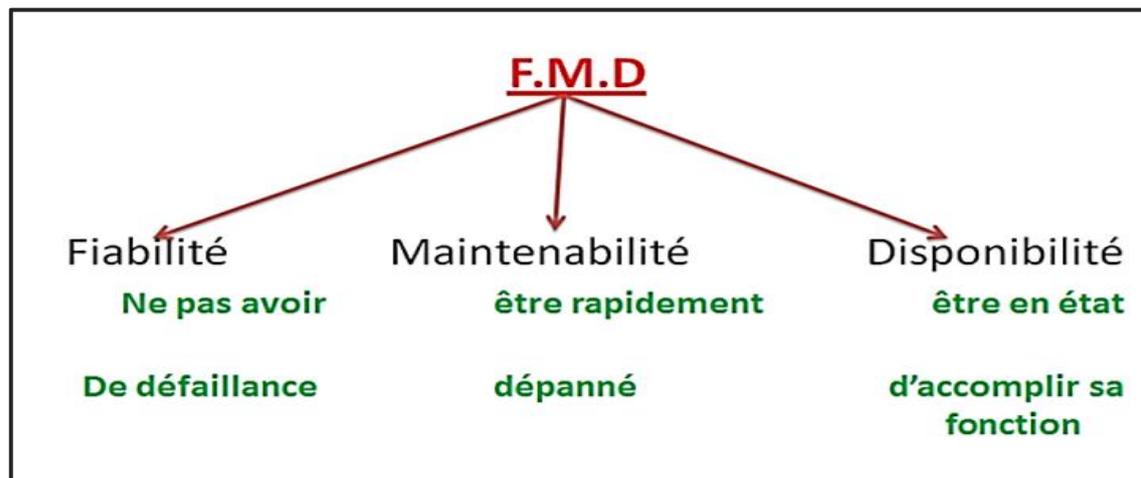


Figure III.2 : Sûreté de fonctionnement FMD.[28]

On peut définir trois grandeurs :

1. la fiabilité « reliability » qui mesure la continuité de service ;
2. la maintenabilité « maintainability » qui est l'aptitude aux réparations et aux évolutions ;
3. la disponibilité « availability » qui est le fait d'être prêt à l'utilisation ;

III.6. La fiabilité :

III.6.1. Concept de la fiabilité :

La définition adoptée par la plupart des spécialistes s'énonce en ces termes : « la fiabilité est la caractéristique d'un dispositif exprimée par la probabilité que ce dispositif accomplisse une fonction requise dans des conditions d'utilisation prévues et pour une période de temps déterminée ». Aussi, la notion de fiabilité correspond à la confiance de l'utilisateur dans l'appareil qu'il utilise ou qui lui est proposé [29].

III.6.2. Les différents types de la fiabilité :

On distingue plusieurs types de fiabilité (termes spécifiques) :

- La fiabilité opérationnelle (observée) : déduite de l'analyse d'entités identiques dans les mêmes conditions opérationnelles à partir de l'exploitation d'un retour d'expérience ;
- La fiabilité prévisionnelle (prédite) : correspondant à la fiabilité future d'un système et établie Par son analyse, connaissant les fiabilités de ses composants ;
- La fiabilité extrapolée : déduite de la fiabilité opérationnelle par extrapolation ou interpolation pour des conditions ou des durées différentes ;
- La fiabilité intrinsèque ou inhérente : qui découle directement des paramètres de conception.

Sans modification de conception des entités, il n'est pas possible d'obtenir un niveau de fiabilité au plus égal à la fiabilité intrinsèque [30].

III.6.3. Objectif de la fiabilité :

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.

III.6.4. Les lois de probabilité principales utiliser en fiabilité :

Etant donné que la fiabilité est exprimée sous forme d'une probabilité, plusieurs lois de probabilités sont d'usage courant en fiabilité des systèmes. Nous citons les lois suivantes : binomiale, poisson, exponentielle, normale (ou Laplace-Gauss), log-normale (ou Galton), Weibull et de Gamma [31].

Dans notre étude, nous nous limitons à la loi de weibull.

III.6.5. Analyse de la fiabilité par la loi de weibull :

III.6.5.1. Loi de weibull :

La loi de Weibull est la plus utilisée dans le calcul de la fiabilité, c'est pour cela qu'on lui donne un intérêt particulier dans ce qui suit. C'est un modèle mathématique particulièrement bien adapté à l'étude statistique des défaillances. Cette loi de Weibull est utilisée en fiabilité, en particulier dans le domaine mécanique, cette loi à l'avantage d'être très souple et de pouvoir s'ajuster à différents résultats d'expérimentations.

Weibull a donné au taux d'avarie $\lambda(t)$ une formule générale dépendant de trois paramètres : η , β , γ qui rend compte avec une bonne précision dans une gamme étendu [32].

III.6.5.2. Caractéristique de la loi de weibull [33] :

1. Densité de probabilité $f(t)$:

Elle caractérise la probabilité de panne juste à temps.

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left[\frac{t - \gamma}{\eta} \right]^{\beta-1} \cdot e^{-\left| \frac{t - \gamma}{\eta} \right|^\beta}$$

Où :

- β : paramètre de forme ($\beta > 0$) :
- η : paramètre d'échelle ($\eta > 0$) :
- γ : paramètre de position ($-\infty > \gamma > +\infty$).

2. Fonction de répartition $F(t)$:

Elle représente la probabilité de pannes cumulée de défaillance entre (0) et (t).

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

3. Fonction de fiabilité $R(t)$:

C'est la probabilité cumulée de non -défaillance au-delà du temps.

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

➤ $F(t) + R(t) = 1$

4. Le taux de défaillance $\lambda(t)$:

C'est la probabilité instantanée d'une panne au temps $t + \Delta t$, sachant que mon dispositif est bon à l'instant t .

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

Où :

- λ : le taux de défaillance ;
- β : paramètre de forme ($\beta > 0$) ;
- η : paramètre d'échelle ($\eta > 0$) ;
- γ : paramètre de position ($-\infty > \gamma > +\infty$).

5. Le moyen de temps de bon fonctionnement (MTBF) :

C'est la racine de temps de bon fonctionnement [TBF] divisée par le nombre de pannes.

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

III.6.5.3. Signification des paramètres du modèle de WEIBULL [32] :

➤ β Paramètre de forme :

β Définit l'allure de la distribution de Weibull. L'allure générale des courbes de densité de probabilité $f(t)$ et de celle de la fonction du taux d'avarie $\lambda(t)$ varie avec β .

- Si $\beta > 1$, le taux de défaillance est croissant, caractéristique de la zone de vieillesse.
- Si $\beta = 1$, le taux de défaillance est constant, caractéristique de la zone de maturité.
- Si $\beta < 1$, le taux de défaillance est décroissant, caractéristique de la zone de jeunesse.

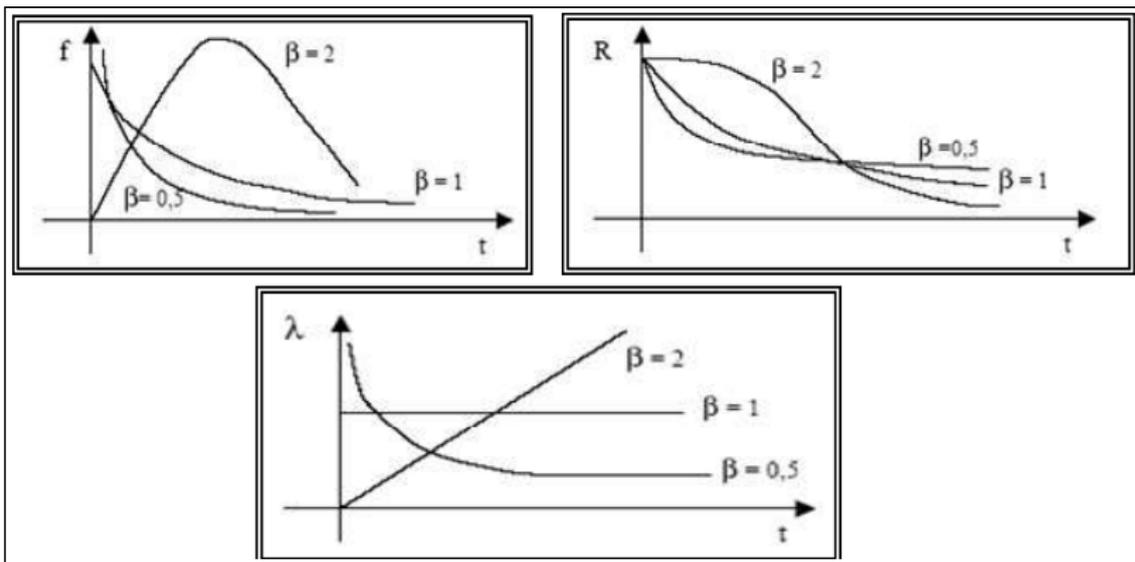


Figure III.3 : Les trois périodes de la courbe en baignoire avec les différentes valeurs de β .

➤ Paramètre de position :

Son unité est celle de la variable, il explique la survie du lot [33] :

- Si $\gamma < 0$ dès la réception du matériel, il y a défaillance.
- Si $\gamma = 0$ dès l'origine des temps, on peut s'attendre à des défaillances.
- Si $\gamma > 0$ s'il y a survie totale du lot.

➤ Paramètre d'échelle :

En unité de temps qui est associé à l'échelle utilisée sur le graphe d'Alain Platt. Ce dernier qui est en papier de Weibull utilise la méthode graphique pour l'estimation des paramètres de cette loi. Il est gradué comme suit [33] :

- En abscisse : $\text{Ln } t$.
- En ordonnées : $\text{Ln} \left(\text{Ln} \frac{1}{1-F(t)} \right)$

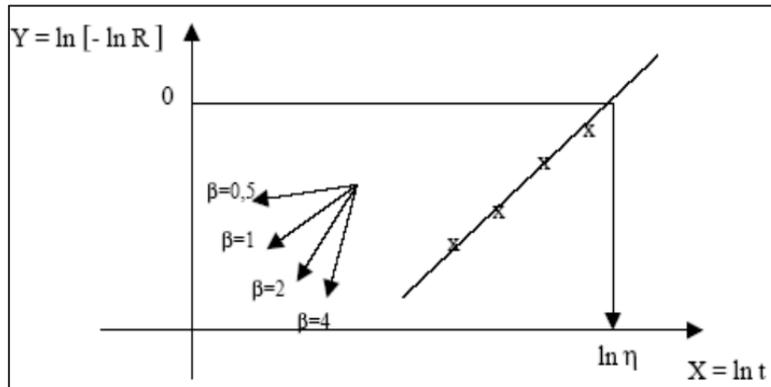


Figure III.4 : Graphique d'Alain Platt.

➤ **Courbe de défaillance (λ) [33] :**

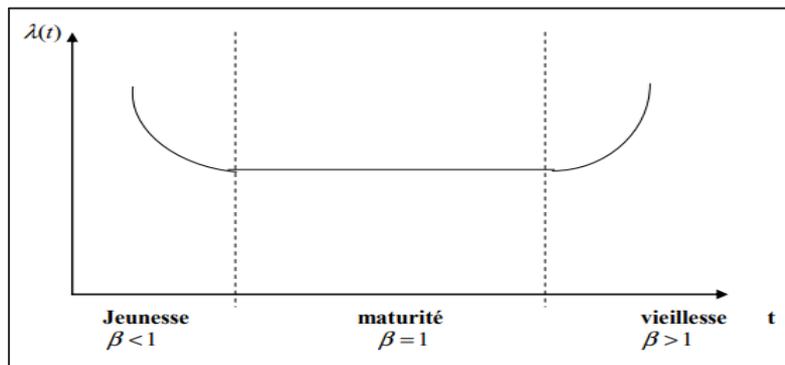


Figure III.5: Allure d'un taux de défaillance « en baignoire ».

- $\beta < 1$: Correspond à la zone décroissante de la courbe, c'est la période de mise en place et de rodage de l'installation (période de jeunesse) ;
- $\beta = 1$: Correspond à la zone où le taux de défaillance est pratiquement constant, c'est la période de défaillance aléatoire qui ne présente généralement aucun symptôme de dégradation préalable (vie-utile) c'est la période la plus longue ;
- $\beta > 1$: Correspond à la zone croissante rapide, c'est l'époque de vieillesse provoquée par l'usure mécanique.

MTBF : (Mean time between failure) moyenne de temps de bon fonctionnement ;

MUT : (Mean up time) moyenne de temps de disponibilité.

$$MTBF = \frac{\sum \text{Temps entre panne}}{Ni}$$

$$MUT = \frac{\sum TBF}{Ni}$$

III.6.5.4. Description de papier fonctionnel de Weibull :

Ce papier «log-log » port quatre axes :

- l'axe A est l'axe des temps sur lequel nous porterons les valeurs t_i de durées de bon fonctionnement ;
- l'axe B porte $F(t)$ sur lequel nous porterons les valeurs $F(i)$ calculées par approximation (rangs moyens ou médians).

Nous estimerons la fiabilité en prenant le complément : $R(t) = 1 - F(t)$;

- L'axe a correspond à $\ln t$;
- L'axe b correspond à $\text{Ln} \left(\text{Ln} \frac{1}{1-F(1)} \right)$

Cet axe permettra d'évaluer la valeur de β [33].

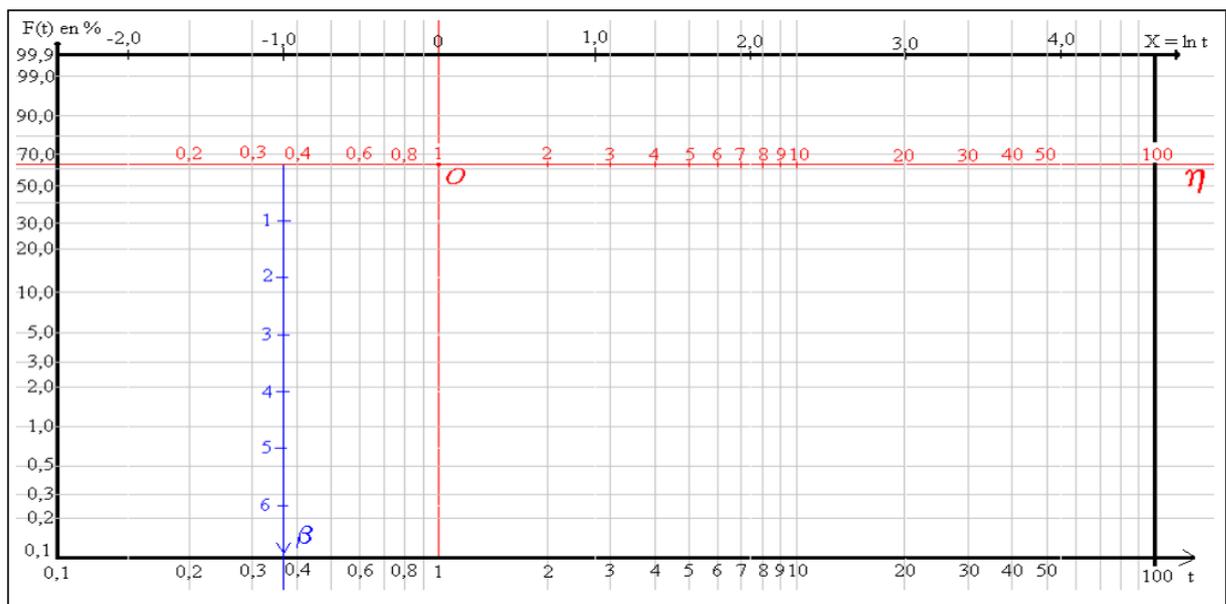


Figure III.6 : Papier de Weibull.

III.6.5.5. Test Kolmogorov Smirnov [32] :

Avant l'application du modèle de weibull pour analyser la fiabilité, il faut tester d'abord ce modèle, pour avoir est ce que le modèle de weibull est acceptable ou refuser, ce test et appelé Test Kolmogorov Smirnov.

Le modèle qu'on peut établir en fiabilité est issu d'un échantillon de population, puis on fait l'hypothèse soit une loi particulière.

- Ainsi, il reste à vérifier la validité de cette loi, la vérification est obtenue par un test.
- Aucune restriction n'est nécessaire ; quel que soit la taille (n), on peut l'appliquer.
- L'idée du test est de comparer la fonction réelle de répartition des défaillances à la fonction de répartition théorique. Il consiste à mesurer l'écart point par point entre ces deux fonctions :

$$D_{n, \max} = F_e(t) - F(t_i)$$

- $F(t_i)$: la fonction de répartition théorique.
- $F_e(t)$: la fonction de répartition réelle.

Elle peut être obtenue par la méthode des rangs médians :

$$F(t_i) = \frac{\sum ni}{N + 0.4} \quad \text{si } N \leq 20$$

$$F(t_i) = \frac{\sum ni}{N + 1} \quad \text{si } 20 < N < 50$$

$$F(t_i) = \frac{\sum ni}{N} \quad \text{si } N > 50$$

On montre que : $D_{n, \max} = \text{Max} | F_e(t) - F(t_i) |$ suit une loi ne dépendant que de η

Eton écrit que : $P(|\text{Max} F_e(t) - F(t_i)| < D_{n, \alpha}) = 1 - \alpha$

Si : $D_{n, \max} > D_{n, \alpha}$, nous refusons l'hypothèse du modèle théorique.

Si : $D_{n, \max} < D_{n, \alpha}$, nous acceptons l'hypothèse du modèle théorique.

La valeur de $D_{n, \alpha}$ est donnée par la table de KOLMOGROV-SMIRNOV (K-S).

III.7. Maintenabilité :

Les défaillances étant par définition subies sans que l'on puisse prévoir leur instant d'apparition, il importe à tout responsable d'une installation industrielle de faire face rapidement aux conséquences d'une défaillance. La compréhension des termes utilisés en maintenabilité rend nécessaire l'établissement d'un diagramme chronologique des temps entre l'instant de l'apparition de la défaillance et l'instant de la remise en service de l'installation. Le diagramme de la (figure III.7) résume tous les instants importants de cette chronologie. [34]

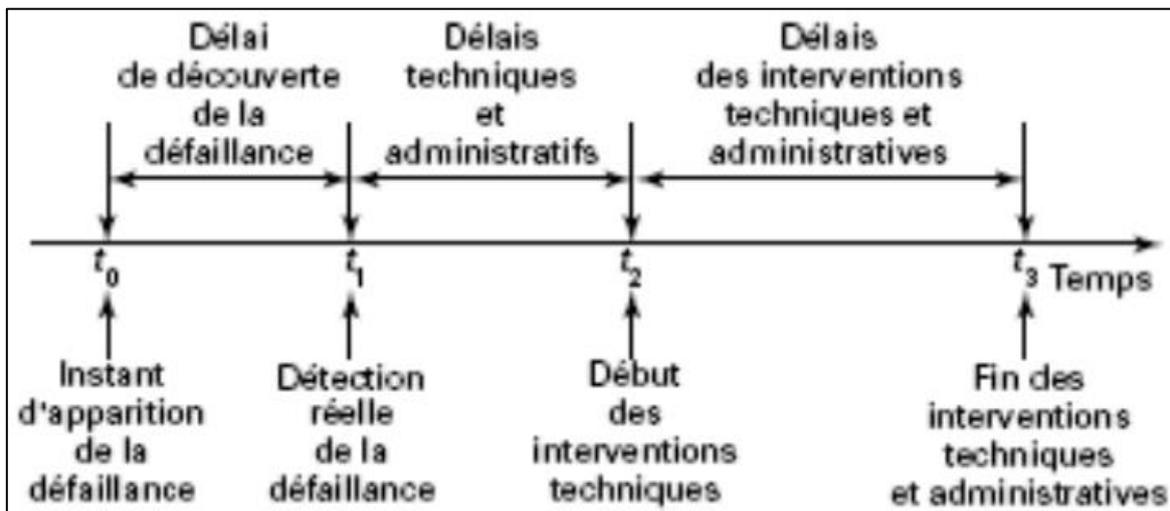


Figure III.7 : Chronologie des temps des activités de maintenance.

III.7.1. Définition :

Dans des conditions données d'utilisation, aptitude d'une entité à être maintenue ou rétablie, sur un intervalle de temps donné, dans un état dans lequel elle peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, avec des procédures et des moyens prescrits.[35]

C'est aussi la probabilité de rétablir un système dans des conditions de fonctionnement spécifiées, en des limites de temps désirées, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, en utilisant des procédures et des moyens prescrits.

A partir de ces définitions, on distingue :

- La maintenabilité intrinsèque : elle est « construite » dès la phase de conception à partir d'un cahier des charges prenant en compte les critères de maintenabilité (modularité, accessibilité, etc.).

- La maintenabilité prévisionnelle : elle est également « construite », mais à partir de l'objectif de disponibilité.
- La maintenabilité opérationnelle : elle sera mesurée à partir des historiques d'interventions. L'analyse de maintenabilité permettra d'estimer la MTTR ainsi que les lois probabilistes de maintenabilité (sur les mêmes modèles que la fiabilité).

La maintenabilité d'un équipement dépend essentiellement de la facilité de démontage de ces éléments consécutifs et de leurs interchangeabilités. [34]

III.7.2. Caractéristiques de la maintenabilité :

III.7.2.1. La fonction de maintenabilité [34] :

C'est la probabilité pour qu'un dispositif soit réparé avant (t).

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

Où :

M (t) : fonction de maintenabilité est constant ;

μ : taux de réparation.

III.7.2.2. Moyenne des temps techniques de réparation (MTTR) :

$$MTTR = \frac{\text{Temps cummule pour réparation}}{\text{Nomber d'intervention}} = \frac{\sum ti}{\sum deg}$$

Où :

MTTR : (Mean Time To Repair) moyenne de temps technique de réparation.

III.7.2.3. Taux de réparation μ :

La probabilité de réparation d'un composant est principalement fonction du temps écoulé depuis l'instant de défaillance. Il existe un certain délai t avant que le composant puisse être réparé. Ce délai t comprend le temps de détection et le temps d'attente de l'équipe de réparation. [36]

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

III.7.3. Amélioration de la maintenabilité [37] :

L'amélioration de la maintenabilité passe par :

- Le développant des documents d'aide à l'intervention
- L'aptitude de la machine au démontage (modification, risquant de coûter chère).
- L'accessibilité.
- L'interchangeabilité et la standardisation.
- La facilité de remplacement
- L'aide au diagnostic.

Il assurera de ce fait la réduction des durées de détection des pannes d'état, diminuant, ainsi les TTR l'amélioration de la maintenabilité d'une manière considérable. Le maintenicien doit améliorer la maintenabilité par les actions suivantes : 1- disponibilité de la documentation tenue à jour du matériel. 2- utilisation des systèmes d'aide au diagnostic 3- utilisation des capteurs intégrés pour la localisation de la panne 4- disponibilité des accessoires outillages

- 1- Disponibilité de la documentation tenue à jour du matériel
- 2- Utilisation des systèmes d'aide au diagnostic
- 3- Utilisation des capteurs intégrés pour la localisation de la panne
- 4- Disponibilité des accessoires outillages

III.8. La disponibilité :

La norme AFNOR X 60-500 définit la disponibilité comme « l'aptitude d'une entité à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données, à un instant donné ou pendant un intervalle de temps donné, en supposant que la fourniture des moyens extérieurs nécessaires de maintenance soit assurée ». [38]

III.8.1. Définition :

C'est L'aptitude d'un dispositif à être en état de fonctionnement dans ces conditions données sous les aspects combinés de la fiabilité de la maintenance, la logistique et l'organisation de maintenance c'est la probabilité pour qu'un dispositif soit en état de fonctionnement selon des conditions de maintenance prescrite et pour un temps donné. [38]

III.8.2. Les grandeurs moyennes associées à la disponibilité :

Les plus courantes sont :

- Le temps moyen de disponibilité (TMD) ou durée de bon fonctionnement après réparation, ou Mean Up Time (MUT) : durée moyenne de fonctionnement après la réparation et la défaillance suivante ;
- Le temps moyen d'indisponibilité (TMI) ou durée moyenne d'indisponibilité, Ou Mean Down Time (MDT) : durée moyenne entre une défaillance et la remise en état suivante ;
- La durée moyenne entre défaillance notée MTBF (Mean Time Between Failure) : durée moyenne entre deux défaillances consécutives de l'entité. En général, on a la relation ;

$$MTBF = MUT + MDT$$

$$MTBF = \frac{\text{Temps de bon fonctionnement}}{\text{nombre de périodes de bon fonctionnement}}$$

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

Pour les industries disposant d'équipes performantes de maintenance [22], la valeur de (A) est supérieure à 80 %.

III.9. Sécurité :

La sécurité restant un terme très général, il n'existe pas actuellement de consensus pour une normalisation. Le terme « Security » concerne les aspects réglementaires de la sécurité (respect des normes, contrôle des accès à des locaux ou à des systèmes informatiques) tandis que le terme « safety » enseigné aux États-Unis sous le nom « d'Industrial safety » recouvre les aspects techniques de la sécurité.

La Sûreté de fonctionnement est « l'aptitude d'une entité à éviter de faire apparaître, dans des conditions données, des événements critiques ou catastrophiques ».

Les circonstances et les conséquences des catastrophes et accidents sont variables. Elles montrent que le risque présente deux aspects : probabilité et conséquences. Au niveau des conséquences, celles-ci se caractérisent par la sécurité : protection des personnes, de

l'environnement mais aussi protection de l'outil de production (aspect économique et, par extension, social).

Deux voies peuvent être pratiquées pour réduire les risques :

- Diminution de la probabilité d'occurrence de « l'événement indésirable » ;
- Atténuation des conséquences de « l'événement indésirable » ;

L'évaluation de la sécurité est actuellement encore limitée et est effectuée pour les installations chimiques, les centrales nucléaires, les plates-formes pétrolières et l'aéronautique. Elle est basée sur des études statistiques des impacts des accidents (réels, expérimentés ou simulés) sur l'homme et l'environnement (notion de gravité).

Les études de sécurité visent essentiellement à évaluer la probabilité de l'occurrence d'un événement indésirable en prenant en compte dès la conception tous les facteurs initiateurs :

- Facteurs techniques : matériels et produits manipulés (incluant les problèmes de conception, de fabrication, d'assurance qualité, de conduite et de maintenance) ;
- Facteurs humains : qualité de la formation, ergonomie, procédures ;
- Facteurs environnementaux : risques naturels, milieux ambiants (poussières, gaz, électricité statique...) [22].

III.10. La relation entre les notions FMD :

La figure suivante résume les liens entre fiabilité, maintenabilité, disponibilité et sécurité [22].

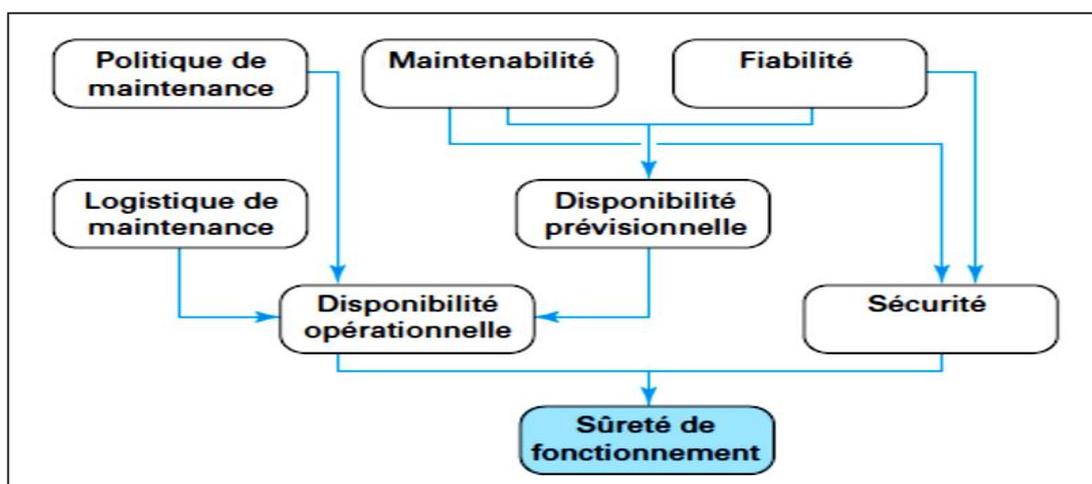


Figure III.8 : Relations entre fiabilité, maintenabilité, disponibilité et sécurité.[22]

III.11. Conclusion :

La sûreté de fonctionnement est un terme général signifiant la fiabilité, Facilité d'entretien, disponibilité, sécurité. Peut être utilisé pour n'importe quel système ou moyens de production.

Chapitre IV

Analyse FMD de Laminoir à pèlerin

A. Classification des machines critique dans l'unité TSS

IV.1. Introduction :

Le choix des machines mécaniques est basé sur leurs rôles et leurs importances dans la production de l'unité TSS.

Dans notre travail, on a choisi le Laminoir à Pèlerin (LP14) à cause du nombre de temps d'arrêt dans l'entreprise SIDER ELHADJAR (TSS).

IV.2. Classification des machines critique :

A partir de l'historique des pannes des installations dans l'unité TSS on a :

Installation	Temps d'arrêt	Nbre arrêt
Commande LP14"	6301	51
Centrale M 21	5293,2	27
Appareil de présentation	4896	46
Chariot d'alimentation	1855,2	18
Four M1B	1710	13
Laminoir M3A	1517,8	28
Presse M2	570	9
Four M14A	375	5

Tableau IV-1 : Classification des machines critique.

IV.2.1. Secteur des installations en fonction du temps d'arrêt :

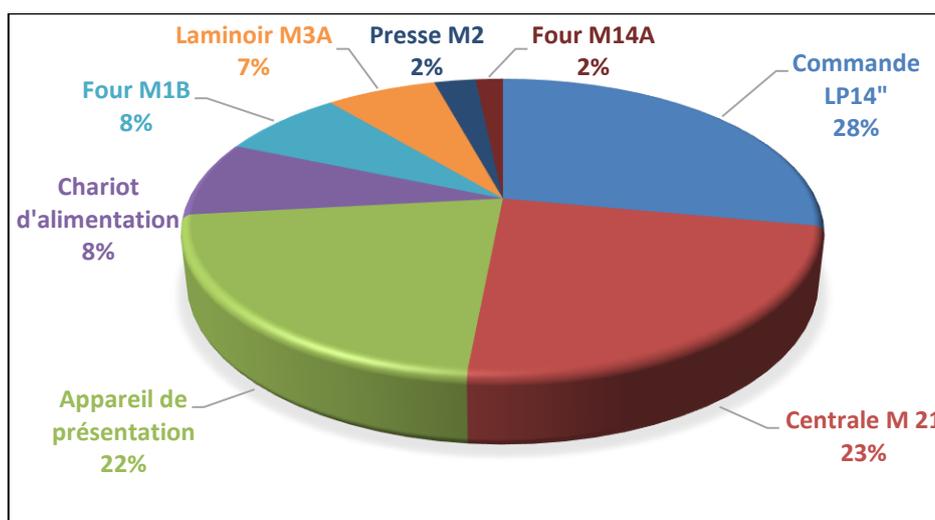


Figure IV.1 : Secteur des installations en fonction du temps d'arrêt.

➤ **Interprétation :**

Le laminoir à pèlerin est sujet à une amélioration de sa maintenabilité, on compte plus de 6301minute (104,87 heures) d'arrêt, soit un taux de plus de 28% par rapport au nombre total d'heures d'arrêt pendant la période d'analyse.

IV.2.2. Secteur des installations en fonction du nombre de panne :

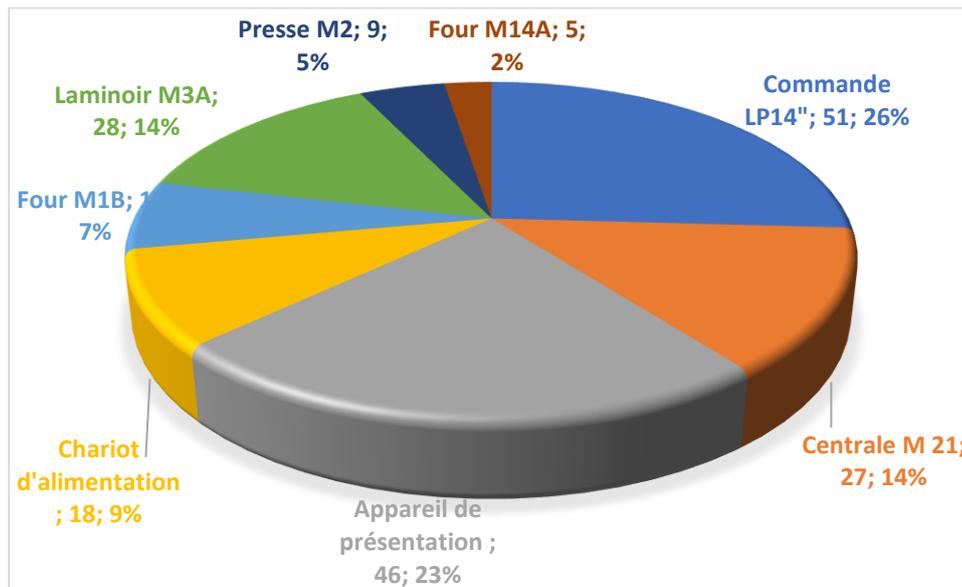


Figure IV.2 : Secteur des installations en fonction du nombre de panne.

❖ **Interprétation :**

D'après la classification déjà établie ci-dessus, cette machine devient prioritaire pour une amélioration de sa disponibilité, elle comptabilise à elle seule 51 pannes ce qui représente un taux de 26% du nombre total des pannes répertoriées pendant la durée d'analyse.

Une amélioration de sa sûreté de fonctionnement est donc indispensable. Pour ce faire nous allons appliquer l'étude FMD pour optimiser la sûreté de fonctionnement de cette installation.

Cette approche comprend trois phases :

- Etude de la fiabilité, maintenabilité et disponibilité,
- Etude AMDEC
- La mise à jour du programme de maintenance préventive en fonction des résultats obtenus.

IV.3. Présentation de la machine laminoir à pèlerin [2] :

La tuberie sans soudure SIDER d'EL-HADJAR est « équipée de 3 cages finisseuses (laminoir à pas de pèlerin) :

- 1- Cage 14'' (cage 14 pouce)
- 2- Cage 8'' (cage 8 pouce)

Un laminoir à pas de pèlerin comprenant deux ensembles placés l'un près de l'autre, qui sont :

- 1- Un banc horizontal de présentation (appareil de présentation), sur lequel coulisse un chariot, et sur ce chariot est placé l'appareil de présentation qui est constitué essentiellement par un cylindre d'air à l'intérieur duquel se monte un piston. A l'extrémité du piston, un dispositif d'accrochage permet de fixer un mandrin cylindrique acier dur.

Quand on fait une coupe transversale dans l'axe du cylindre, le contour ou noyau du cylindre comporte quatre zones qui participent successivement au travail de laminage et qui se présentent dans l'ordre à chaque tour :

- A- L'ATTAQUE qui produit le travail de réduction de section de l'ébauche.
- B- PARTIE CYLINDRIQUE ou FINISSEUR qui régularise la surface du tube.
- C- LA SORTIE qui abandonne progressivement la section de tube qui vient d'être laminé.
- D- FAUSSE CANNELURE qui passe sans aucun travail pendant que l'ébauche se translate vers l'avant. LE LAMINAGE est synchronisé avec la vitesse d'avance du chariot porteur de l'appareil de présentation, et la rotation des cylindres de la cage laminoir pèlerin. (Vitesse moteur).

Le mandrin reçoit l'ébauche provenant du laminoir oblique.

A l'arrière de l'appareil de présentation, un dispositif de vis et écrou avec roue à crochets provoque une rotation d'un quart de tour pendant la course vers l'avant du piston. Ce mouvement de rotation fractionné qui est nécessaire pour obtenir un tube réglé en épaisseur, ne s'effectuera pas pendant la course vers l'arrière du piston drall.

- 2- Une cage pèlerin dans laquelle sont placés deux cylindres entraînés en rotation par un moteur électrique, menant une cage à pignons et des arbres allonges. Ces cylindres de travail tournent en sens inverse du sens d'avancement du tube laminé. Le cylindre supérieur est réglable en hauteur à l'aide des vis de pression commandées par un moteur

hydraulique à partir du pupitre de l'opération. Lorsque les cylindres tournent, placés l'un au-dessus de l'autre dans la cage du laminoir pèlerin, la section de la cannelure taillée dans les tables n'est pas constante ; la grande section admet le passage de l'ébauche d'oblique sans la toucher, la petite section correspond au diamètre du tube laminé. Cette variation de la section de la cannelure se reproduit à chaque tour des cylindres.

- 3- Le travail des cylindres en rotation. Lorsque l'ébauche enfilée sur son mandrin se présente entre les cylindres, elle vient d'abord au contact de « L'ATTAQUE », et cette dernière en se resserrant sur l'ébauche se saisit d'une petite quantité de métal, la serre sur le mandrin, l'allonge dans le « finisseur » qui lisse la surface extérieure du tube. Le laminage dans le finisseur provoque un recul de tube vers l'appareil de présentation, le piston coulisse, comprimant l'air emprisonné dans le cylindre emmagasinant de l'énergie ; Cette énergie sera libérée lorsque les cylindres continuant à tourner, la prise du finisseur sur le tube se relâchera, c'est à dire quand « LA SORTIE » abandonnera progressivement le tube.

A ce moment précis, ce qui reste de l'ébauche avec son mandrin et la section de tube qui vient d'être laminée sont projetés vers les cylindres du laminoir.

Au cours de ce mouvement vers l'avant, le dispositif quart de tour fonctionne ; l'ébauche en tournant traverse la « FAUSSE CANNELURE » et vient à nouveau se présenter au contact de l'attaque.

Un nouveau cycle recommence, et c'est cette succession de cycles se reproduisant à cadence rapide qui permet le laminage entier en tube fini.

A la fin du laminage, le cylindre supérieur est soulevé par l'intermédiaire des vis de pression commandées par un moteur hydraulique. Ensuite on extrait le mandrin du tube à l'aide d'une guillotine située devant la cage, on évacue le mandrin de l'appareil, le tube est à son tour tiré par des rouleaux motorisés à la sortie de la cage à cylindres du laminoir pèlerin, et on affranchit les extrémités du tube à la scie à chaud. Les Deux trains (8'' et 14'') sont composés de trois parties : La cage, l'appareil de présentation et son chariot ainsi que le circuit des mandrins.

- **Train 8"**
 - ✓ Diamètre produite 120 à 254 mm
 - ✓ Poids ébauche er mandrin : 2100Kg.
 - ✓ Longueur min/max : 7,5 à 33m.
 - ✓ Longueur min/max : 7,5 à 33m.
- **Train 14"**
 - ✓ Diamètre produite 168 à 372 mm
 - ✓ Poids ébauche er mandrin : 5700Kg.
 - ✓ Longueur min/max : 8 à 33m.
 - ✓ Epaisseur mini/maxi : 6 à 26 mm

IV.3.1. Chaîne cinématique de laminoir à Pas de pèlerin :

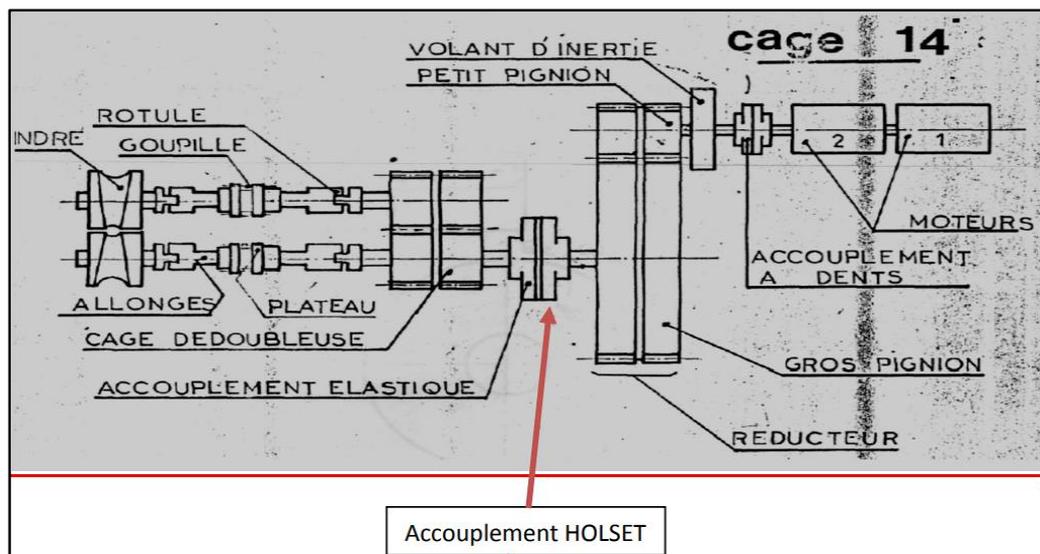


Figure IV.3 : Chaîne cinématique de laminoir à Pas de pèlerin.

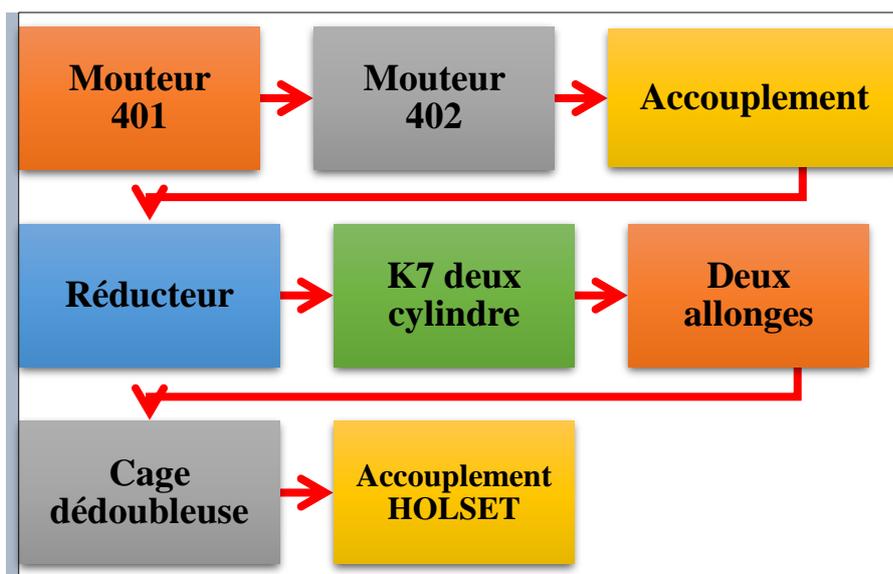


Figure IV.4 : Chaîne cinématique de laminoir à Pas de pèlerin.

B. Etude FMD

IV.1. Introduction

Nous avons choisi la machine sur lequel l'étude de sécurité de fonctionnement, qui va être réalisée à travers l'étude de la fiabilité, maintenabilité et disponibilité.

IV.2. Historique de panne de la machine Laminoir à pas pèlerin :

Le tableau suivant illustre l'historique des pannes du laminoir à pèlerin :

DATE	ZONE	Installation	Spécialité	Travaux réalisés	Durée (H) intervention
19/01/2022	LP14"	Commande LP14"	ELECT	Intervention sur l'indicateur de vitesse	0,25
02/02/2022	LP14"	Commande LP14"	MEC	Cisaillement de deux goupilles accouplement HOLSET	2,16
06/02/2022	LP14"	Commande LP14"	MEC	Serrage des étriers de l'accouplement HOLSET	0,5
13/02/2022	LP14"	Commande LP14"	MEC	Soudure écrou M24 pour fixation étrier	0,33
14/02/2022	LP14"	Commande LP14"	MEC	Changement goupilles de cisaillement	1,83
23/02/2022	LP14"	Commande LP14"	ELECT	Chute de tension	0,5

08/03/2022	LP14"	Commande LP14"	MEC	Soudure clavette maintien monobloc	1
10/03/2022	LP14"	Commande LP14"	MEC	Changement goupilles de cisaillement	2,83
14/03/2022	LP14"	Commande LP14"	MEC	Changement 3/4 flexible de refroidissement	1,16
15/03/2022	LP14"	Commande LP14"	MEC	Changement de deux goupilles	2
16/03/2022	LP14"	Commande LP14"	MEC	Changement de deux goupilles	2
17/03/2022	LP14"	Commande LP14"	MEC	Changement de deux goupilles	4,16
20/03/2022	LP14"	Commande LP14"	MEC	Chute de tension	2,83
21/03/2022	LP14"	Commande LP14"	MEC	Cisaillement de deux goupilles accouplement HOLSET	0,83
22/03/2022	LP14"	Commande LP14"	EEM	Déclanchement moteur	2
23/03/2022	LP14"	Commande LP14"	MEC	Changement des goupilles de cisaillement	0,91
30/03/2022	LP14"	Commande LP14"	HYD	Changement flexible 3/4 de refroidissement	0,25
31/03/2022	LP14"	Commande LP14"	MEC	Changement des goupilles de cisaillement	1,75
04/04/2022	LP14"	Commande LP14"	MEC	Dressage étrier puis remontage	0,91
05/04/2022	LP14"	Commande LP14"	MEC	Changement goupilles de cisaillement	1,08
12/04/2022	LP14"	Commande LP14"	MEC	Changement goupilles de cisaillement	1,66
14/04/2022	LP14"	Commande LP14"	MEC	Dressage des étriers puis montage	3,56
17/04/2022	LP14"	Commande LP14"	MEC	Changement des goupilles de cisaillement	9,48
19/04/2022	LP14"	Commande LP14"	MEC	Chute de tension	3,5
20/04/2022	LP14"	Commande LP14"	MEC	Changement des goupilles de cisaillement	2
24/04/2022	LP14"	Commande LP14"	MEC	Soudure écrou M24 pour fixation étrier	1,08

26/04/2022	LP14"	Commande LP14"	MEC	Changement goupille de cisaillement	1,08
28/04/2022	LP14"	Commande LP14"	MEC	Cisaillement de deux goupille accouplement HOLSET	0,66
01/05/2022	LP14"	Commande LP14"	MEC	Changement goupilles de cisaillement	2
08/05/2022	LP14"	Commande LP14"	MEC	Cisaillement de deux goupille accouplement HOLSET	7,83
10/05/2022	LP14"	Commande LP14"	MEC	Changement de deux goupilles	4,16
23/05/2022	LP14"	Commande LP14"	MEC	Soudure clavette maintien monobloc	1,16
26/05/2022	LP14"	Commande LP14"	MEC	Chute de tension	8,41
30/05/2022	LP14"	Commande LP14"	MEC	Serrage des étriers de l'accouplement HOLSET	0,5
31/05/2022	LP14"	Commande LP14"	MEC	Intervention sur l'indicateur de vitesse	0,25
11/06/2022	LP14"	Commande LP14"	MEC	Chute de tension	0,83
12/06/2022	LP14"	Commande LP14"	MEC	Changement de deux goupilles	0,91
13/06/2022	LP14"	Commande LP14"	MEC	Desserrage étrier puis remontage	0,33
20/06/2022	LP14"	Commande LP14"	EEM	Déclanchement moteur	2,08
21/06/2022	LP14"	Commande LP14"	EEM	Déclanchement moteur	2,5
16/07/2022	LP14"	Commande LP14"	MEC	Serrage étrier de l'accouplement HOLSET	1,75
19/07/2022	LP14"	Commande LP14"	MEC	Changement goupilles de cisaillement	2,25
23/07/2022	LP14"	Commande LP14"	MEC	Serrage étrier de l'accouplement HOLSET	0,5
27/07/2022	LP14"	Commande LP14"	MEC	Changement goupilles de cisaillement	3,5
08/08/2022	LP14"	Commande LP14"	MEC	Soudure clavette maintien monobloc	1,58
10/08/2022	LP14"	Commande LP14"	MEC	Changement de deux goupilles	3,66

17/08/2022	LP14"	Commande LP14"	MEC	Changement des deux goupilles	3,08
20/08/2022	LP14"	Commande LP14"	MEC	Déclanchement moteur	1,41
27/09/2022	LP14"	Commande LP14"	ELECT	Intervention sur l'indicateur de vitesse	2,08
29/09/2022	LP14"	Commande LP14"	MEC	Chute de tension	0,66
15/10/2022	LP14"	Commande LP14"	ELECT	Intervention sur l'indicateur de vitesse	1,13

Tableau IV-2: Historique de panne de laminoir à pèlerin.

IV.3. L'application des méthodes d'analyse :

IV.3.1. La méthode de la courbe ABC :

Pour appliquer la méthode ABC, on doit en premier classer le nombre des pannes de la chaîne cinématique du laminoir à pèlerin par ordre décroissant en suite calculer leurs cumuls et leurs pourcentages, par la suite calculer le cumul et le pourcentage de fréquence de panne comme montré sur le tableau suivant :

N°	Type de panne	Nombre de panne	Cumul N P	% Cumul N P	Temps de panne	Cumul	% Cumul
1	Changement goupille de cisaillement	12	12	23,52	48,12	48,12	45,88
2	Changement de deux goupilles	7	19	37,25	13,04	61,16	58,31
3	Chute de tension	5	24	47,05	10,92	72,08	68,73
4	Intervention sur l'indicateur de vitesse	4	28	54,90	8,64	80,72	76,97148
5	Cisaillement de deux goupilles accouplement HOLSET	4	32	62,74	5,66	86,38	82,36
6	Serrage des étriers de l'accouplement HOLSET	4	36	70,58	4,8	91,18	86,94
7	Déclanchement moteur	4	40	78,43	3,74	94,92	90,51

8	Desserrage étrier puis remontage	4	44	86,27	3,74	98,66	94,07
9	Soudure clavette maintien monobloc	3	47	92,15	3,25	101,91	97,17
10	Soudure écrou M24 pour fixation étrier	2	49	96,07	1,41	103,32	98,52
11	Changement 3/4 flexible de refroidissant	2	51	100	1,41	104,87	100

Tableau IV-3 : Tableau de l'analyse ABC.

IV.3.2. Représentation de la courbe ABC :

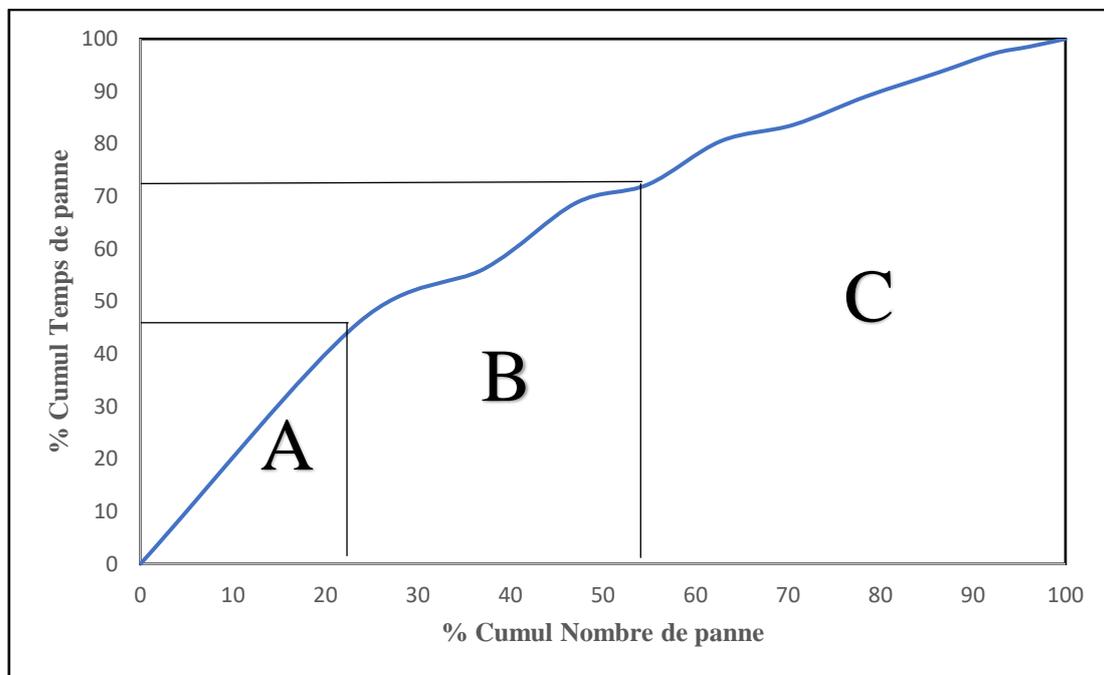


Figure IV.5 : La courbe ABC.

❖ Analyse de la courbe ABC :

Après dépouillement des données en heures de panne et nombre d'arrêt, une analyse s'impose pour mieux situer le problème du laminoir à pèlerin.

- Il est frappant qu'en zone A, représentant le problème du cisaillement de la goupille de l'accouplement axial ; [23,53% ; 45,88]. Il est suggéré que pour cette zone, la maintenance préventive conditionnelle est la mieux adaptée, ce choix n'est pas fortuit, puisque cette zone représente les arrêts répétitifs et les plus coûteuses (surtout si on a considéré le manque gagner en production).

- La deuxième zone **B** il est recommandé généralement le préventive systématique.
- Est en fin, la zone **C** il est toléré de pratiquer la maintenance corrective du fait que le cout on budget de maintenance est minime.

Une fois les zones délimitées, il est important d'apporter les suggestions pour atténuer les risques d'arrêt de l'équipement considéré, on peut proposer quelques solutions, tel que :

- Les control non destructif (CND)
- Une gestion appropriée
- La disponibilité des pièces de rechange (PDR)
- Un personnel qualifier (pour augmenter la maintenabilité).

IV.4. L'analyse FMD

IV.4.1. La fiabilité :

Pour la représentations graphique de la fonction fiabilité, on utilisera le logiciel de simulation FIABOPTIM.

Le logiciel est destiné à l'analyse numérique et graphique des données de fiabilité. Il permet, à partir des données opérationnelles ou expérimentales, d'estimer la loi de distribution des défaillances, d'estimer les paramètres caractéristiques de ces lois et de calculer ensuite la fiabilité prévisionnelle du système étudié.

L'interface de ce logiciel est illustrée par la (figure IV-6).



Figure IV.6 : L'interface de logiciel FIABOPTIME.

Le logiciel opère à partir d'un fichier où sont stockées les données de fiabilité. Vous pouvez enregistrer les données sous format OFI pour les données individuelles. Si vos données ne sont pas encore enregistrées, vous devez les saisir à l'aide d'une fenêtre de saisie (bouton Saisie).

Vous pouvez vérifier la saisie des données de type individuelles en cliquant sur le bouton Affichage, et même les corriger à partir de ce tableau.

Dans l'étude individuelle, on consiste à choisir une méthode parmi celles proposées en fonction du module choisi.

On réalise l'estimation suivant la méthode choisie (estimation par la méthode de : Johnson Rangs Moyens) Les résultats de simulation par ce logiciel sont présentés par le tableau (IV.4) et la figure (IV.6).

N°	TBF	F(t)
1	9,5	0,0196
2	12,2	0,0392
3	12,9	0,0588
4	13,3	0,0784
5	13,7	0,0980
6	14	0,1176
7	14,2	0,1373
8	14,4	0,1569
9	14,5	0,1765
10	14,6	0,1961
11	14,7	0,2157
12	14,9	0,2353
13	15	0,2549
14	15	0,2745
15	15,1	0,2941
16	15,6	0,3137
17	25,5	0,3333
18	26	0,3529
19	27,5	0,3725
120	29,4	0,3922
21	29,4	0,4118
22	29,8	0,4314
23	30	0,4510
24	30,1	0,4706
25	30,6	0,4902
26	30,7	0,5098
27	30,7	0,5294
28	30,9	0,5490
29	31,1	0,5686
30	43,2	0,5882

31	46	0,6078
32	46,6	0,6275
33	62	0,6471
34	76,6	0,6667
35	78,6	0,6863
36	78,8	0,7059
37	79,4	0,7255
38	79,6	0,7451
39	91,1	0,7647
40	94,3	0,7843
41	110,8	0,8039
42	125,5	0,8235
43	127,1	0,8431
44	127,5	0,8627
45	141,3	0,8824
46	143,3	0,9020
47	158,8	0,9216
48	184,5	0,9412
49	215,9	0,9608
50	285,9	0,9804

Tableau IV-4 : Estimation de la fonction de répartition.

IV.4.1.1. Calcule F(MTBF) :

La fonction de répartition pour la moyenne de temps de bon fonctionnement :

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

$$F(MTBF) = 1 - e^{-\left[\frac{58,86-9,20}{45,79}\right]^{0,78}}$$

$$F(MTBF) = 0,6556$$

IV.4.1.2. Détermination de la moyenne de temps de bon fonctionnement (MTBF) :

$$MTBF = \frac{\sum \text{Tempd de bon fonctionnement}}{\text{Nombre de panne}}$$

$$MTBF = \frac{TBF1 + TBF2 + TBF3 + \dots + TBF50}{51} = 58,86 (H)$$

La figure suivante illustre la représentation graphique de la fonction de réparation sur le papier de Weibull.

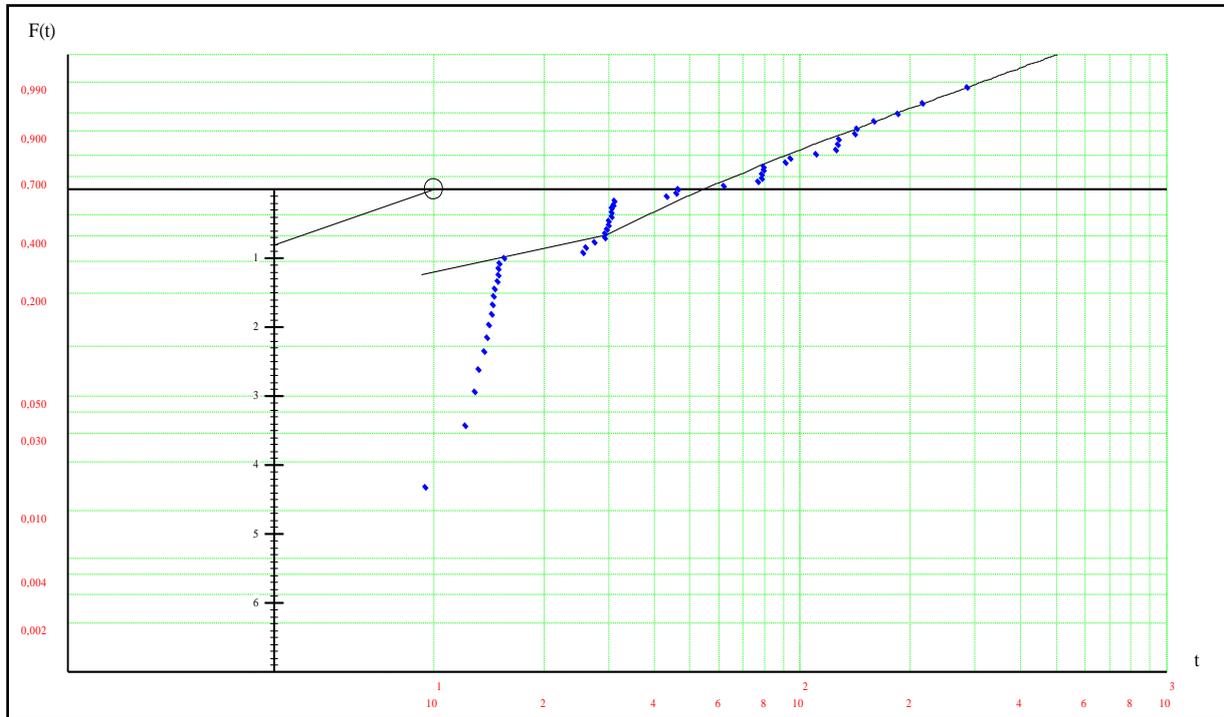


Figure IV.7 : Représentation des points sur le papier de Weibull.

D'après la courbe de la figure IV.7, on peut extraire les paramètres de loi de Weibull pour calculer la fonction de répartition théorique $F(t)$. Le calcul de $F(t)$ a pour but de choisir le modèle adéquat (acceptable). Les valeurs de ces paramètres sont résumées dans le tableau suivant :

Paramètre	Valeurs
Beta (β)	0,787014
Eta (η)	45,7991
Gamma (γ)	9,20075

Tableau IV-5 : Les paramètre de la loi de wiebull.

Pour valider la loi de calcul des différentes fonctions telles que la fiabilité, la densité de probabilité, la fonction de répartition et le taux de défaillance, on utilise le test de KOLMOGOROV-SMIRNOV.

IV.4.1.3. Test de KOLMOGOROV-SMIRNOF :

L'idée du test est de comparer la fonction réelle de répartition des défaillances à la fonction de répartition théorique.

Il consiste à mesurer l'écart point par point entre ces deux fonctions :

$$D_{ni} = |F(t_i) - F(t)|$$

Où :

$F(t_i)$ est la fonction de répartition réelle ; elle peut être obtenue par la méthode des rangs moyens :

$$F(t_i) = \frac{\sum n_i}{n + 1}$$

$F(t)$ est la fonction de répartition théorique donné par l'équation suivante :

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

On montre que : $D_n = \text{Max } |F(t_i) - F(t)|$

Suit une loi ne dépendant que de η et on écrit que :

$$P(\text{Max } |F(t_i) - F(t)| < D_n, \alpha) = 1 - \alpha$$

La valeur de D_n est donnée par le tableau de KOMOGOROV SMIRNOV. Les résultats de comparaison entre les deux fonctions de réparation sont présentés dans le tableau suivant :

Rang	TBF	n_i	$\sum n_i$	$F(t)$	$F(t_i)$	$D_n = F(t_i) - F(t) $
1	9,5	1	1	0,0196	0,0192	0,0004
2	12,2	1	2	0,0392	0,0385	0,0008
3	12,9	1	3	0,0588	0,0577	0,0011
4	13,3	1	4	0,0784	0,0769	0,0015
5	13,7	1	5	0,0980	0,0962	0,0019
6	14	1	6	0,1176	0,1154	0,0023
7	14,2	1	7	0,1373	0,1346	0,0026
8	14,4	1	8	0,1569	0,1538	0,0030
9	14,5	1	9	0,1765	0,1731	0,0034
10	14,6	1	10	0,1961	0,1923	0,0038
11	14,7	1	11	0,2157	0,2115	0,0041
12	14,9	1	12	0,2353	0,2308	0,0045
13	15	1	13	0,2549	0,2500	0,0049

14	15	1	14	0,2745	0,2692	0,0053
15	15,1	1	15	0,2941	0,2885	0,0057
16	15,6	1	16	0,3137	0,3077	0,0060
17	25,5	1	17	0,3333	0,3269	0,0064
18	26	1	18	0,3529	0,3462	0,0068
19	27,5	1	19	0,3725	0,3654	0,0072
20	29,4	1	20	0,3922	0,3846	0,0075
21	29,4	1	21	0,4118	0,4038	0,0079
22	29,8	1	22	0,4314	0,4231	0,0083
23	30	1	23	0,4510	0,4423	0,0087
24	30,1	1	24	0,4706	0,4615	0,0090
25	30,6	1	25	0,4902	0,4808	0,0094
26	30,7	1	26	0,5098	0,5000	0,0098
27	30,7	1	27	0,5294	0,5192	0,0102
28	30,9	1	28	0,5490	0,5385	0,0106
29	31,1	1	29	0,5686	0,5577	0,0109
30	43,2	1	30	0,5882	0,5769	0,0113
31	46	1	31	0,6078	0,5962	0,0117
32	46,6	1	32	0,6275	0,6154	0,0121
33	62	1	33	0,6471	0,6346	0,0124
34	76,6	1	34	0,6667	0,6538	0,0128
35	78,6	1	35	0,6863	0,6731	0,0132
36	78,8	1	36	0,7059	0,6923	0,0136
37	79,4	1	37	0,7255	0,7115	0,0140
38	79,6	1	38	0,7451	0,7308	0,0143
39	91,1	1	39	0,7647	0,7500	0,0147
40	94,3	1	40	0,7843	0,7692	0,0151
41	110,8	1	41	0,8039	0,7885	0,0155
42	125,5	1	42	0,8235	0,8077	0,0158
43	127,1	1	43	0,8431	0,8269	0,0162
44	127,5	1	44	0,8627	0,8462	0,0166
45	141,3	1	45	0,8824	0,8654	0,0170
46	143,3	1	46	0,9020	0,8846	0,0173
47	158,8	1	47	0,9216	0,9038	0,0177
48	184,5	1	48	0,9412	0,9231	0,0181
49	215,9	1	49	0,9608	0,9423	0,0185
50	285,9	1	50	0,9804	0,9615	0,0189

Tableau IV-6 : La fiabilité et la fonction de répartition.

Les hypothèses doivent être testées avant de pouvoir vérifier la loi de fiabilité. Pour savoir s'il faut valider ou rejeter le modèle proposé par le test K-S. Seuil de confiance $\alpha = 0,05$. Ce test consiste à calculer la différence entre les fonctions théoriques.

Prendre le maximum de $F(i)$ et la valeur absolue D_n max de la fonction réelle $F(t)$. Cette valeur est comparée à D_n, α donnée dans la table de Kolmogorov-Smirnov.

D'après la Table de K-S :

$$D_n \max = |F(i) - F(t)| = 0,0189$$

$$D_n, \alpha 0,05 = 0,18845$$

} $D_n, \alpha > D_n \max$

Donc : on valide la loi de WEIBULL

Cela veut dire que nous pouvons d'ores et déjà prendre les résultats trouvés par ce modèle pour mieux comprendre le comportement du laminoir à pèlerin.

La figure ci-dessous représente la fonction de répartition en fonction du temps de bon fonctionnement (TBF).

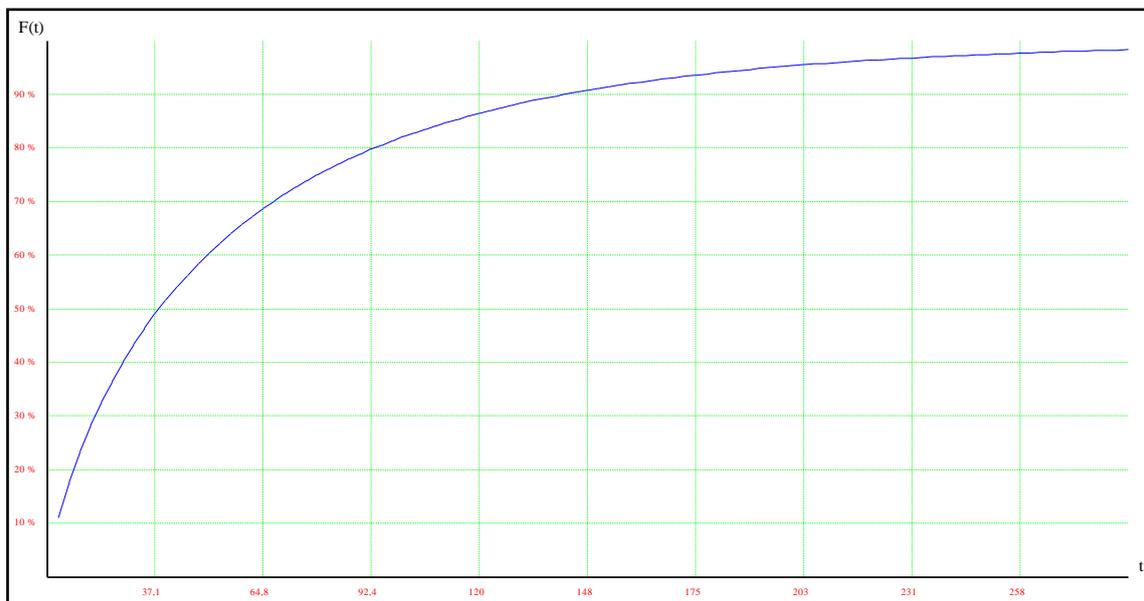


Figure IV.8 : Fonction de répartition $F(t)$.

➤ **Interprétation :**

La courbe illustre la fonction de répartition en fonction de temps de bon fonctionnement. On observe d'après cette courbe que la fonction de répartition augmente avec l'augmentation de temps de bon fonctionnement. C'est-à-dire chaque fois que le temps de bon fonctionnement augmente contribuera à élever la possibilité d'occurrence d'une défaillance dans la machine.

IV.4.1.4. Calculs de la fiabilité, de la densité de probabilité et du taux de défaillance

Le tableau IV.11 résume les calculs de fiabilité, de densité de probabilité et du taux de défaillance.

TBF	R(t)	f(t)	$\lambda(t)$
9,5	0,9804	0,0505	0,0515
12,2	0,9608	0,0298	0,0310
12,9	0,9412	0,0279	0,0296
13,3	0,9216	0,0267	0,0290
13,7	0,9020	0,0256	0,0284
14	0,8824	0,0247	0,0280
14,2	0,8627	0,0239	0,0277
14,4	0,8431	0,0232	0,0275
14,5	0,8235	0,0225	0,0274
14,6	0,8039	0,0219	0,0273
14,7	0,7843	0,0213	0,0271
14,9	0,7647	0,0206	0,0269
15	0,7451	0,0200	0,0268
15	0,7255	0,0195	0,0268
15,1	0,7059	0,0189	0,0267
15,6	0,6863	0,0180	0,0263
25,5	0,6667	0,0143	0,0214
26	0,6471	0,0137	0,0212
27,5	0,6275	0,0131	0,0208
29,4	0,6078	0,0124	0,0204
29,4	0,5882	0,0120	0,0204
29,8	0,5686	0,0115	0,0203
30	0,5490	0,0111	0,0203
30,1	0,5294	0,0107	0,0202
30,6	0,5098	0,0103	0,0201
30,7	0,4902	0,0099	0,0201

30,7	0,4706	0,0095	0,0201
30,9	0,4510	0,0091	0,0201
31,1	0,4314	0,0086	0,0200
43,2	0,4118	0,0075	0,0182
46	0,3922	0,0070	0,0178
46,6	0,3725	0,0066	0,0178
62	0,3529	0,0058	0,0165
76,6	0,3333	0,0052	0,0156
78,6	0,3137	0,0049	0,0155
78,8	0,2941	0,0046	0,0155
79,4	0,2745	0,0043	0,0155
79,6	0,2549	0,0040	0,0155
91,1	0,2353	0,0035	0,0150
94,3	0,2517	0,0037	0,0149
110,8	0,1961	0,0028	0,0143
125,5	0,1765	0,0024	0,0138
127,1	0,1569	0,0022	0,0138
127,5	0,1373	0,0019	0,0138
141,3	0,1176	0,0016	0,0134
143,3	0,0980	0,0013	0,0134
158,8	0,0784	0,0010	0,0130
184,5	0,0588	0,0007	0,0126
215,9	0,0392	0,0005	0,0120
285,9	0,0196	0,0002	0,0112

Tableau IV-7 : Calculs de la fiabilité, du taux de défaillance et de la densité de probabilité.

Les figures suivantes (Fig. IV.11, IV.12, IV.13) montrent les courbes de fiabilité, de densité de probabilité et du taux de défaillance.

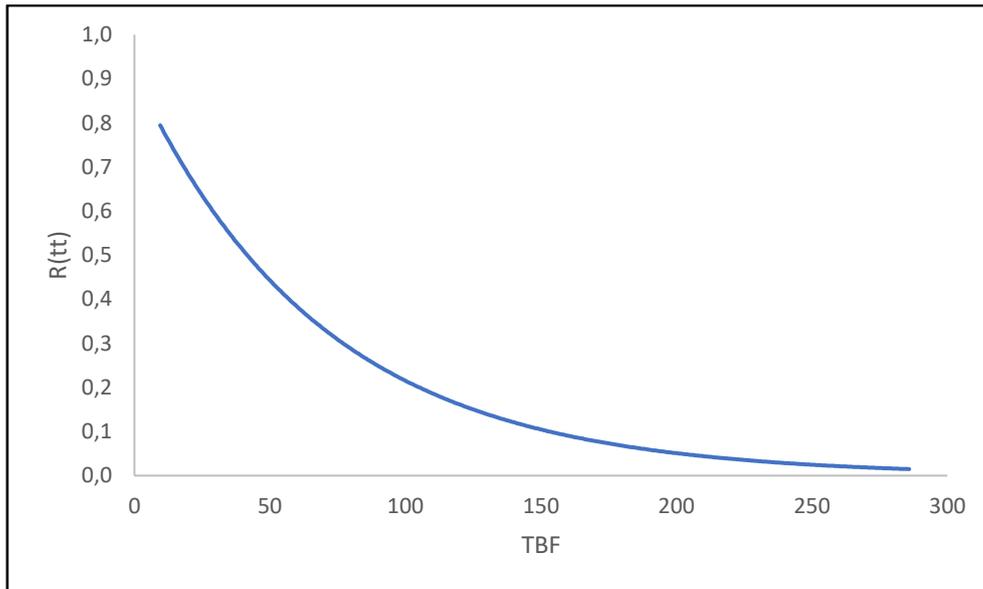


Figure IV.9 : La fonction de fiabilité $R(t)$.

➤ **Interprétation :**

La courbe est décroissante dans le temps, ce qui explique le phénomène de dégradation de la machine.

En calculant la fiabilité au temps $t=MTBF=58,86h$, nous trouvons que la fiabilité correspondante est de 34,43% cela signifie que la machine n'est pas fiable, on dit que la machine défaille.

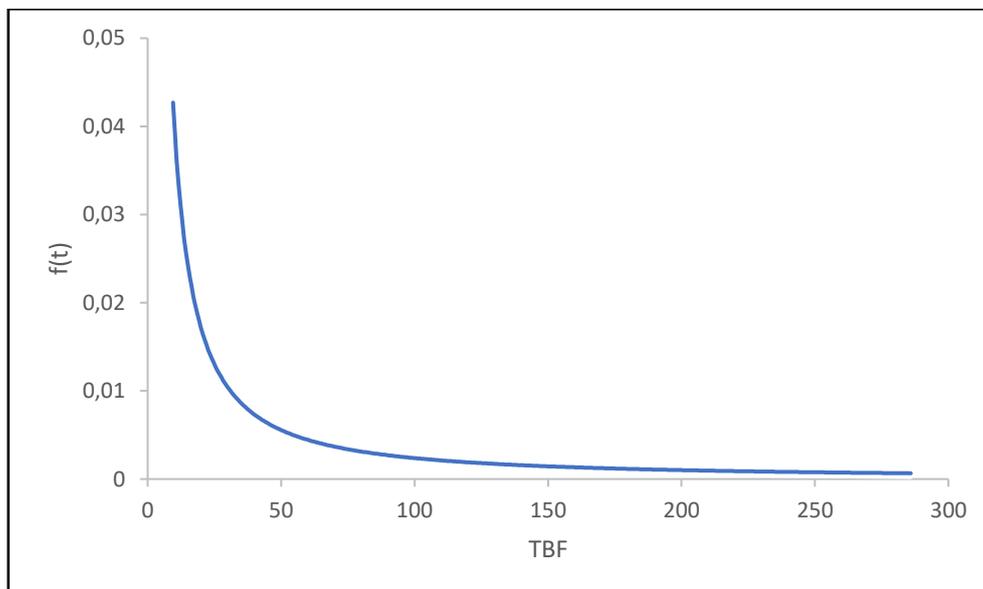


Figure IV.10 : Densité de probabilité $f(t)$.

➤ **Interprétation :**

Cette fonction a pour but de nous montrer la distribution des pannes autour de la moyenne de temps de bon fonctionnement d'une machine, d'après cette courbe on remarque que la fonction $f(t)$ (densité de probabilité) diminue avec l'augmentation du TBF (temps de bon fonctionnement), et cela est encore prouvé par le paramètre de forme β .

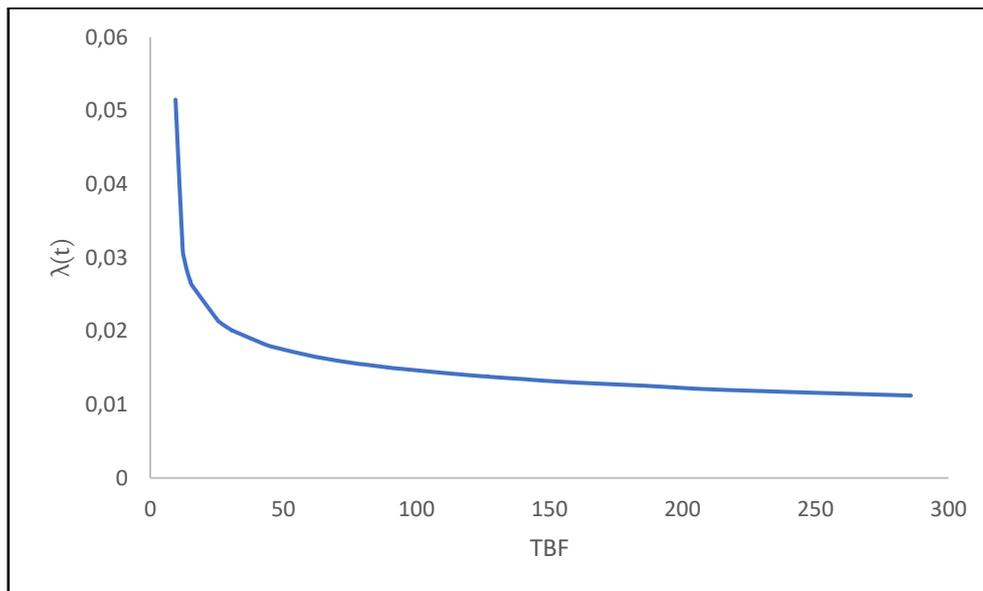


Figure IV.11 : Taux de défaillance $\lambda(t)$.

➤ **Interprétation :**

Le taux de défaillance décroît avec le temps car les défaillances précoces sont dues à des défauts de réparation à $t=43,2$ h le taux de défaillance reste à peu près constante ; pendant cette période les défaillances sont des défaillances de dégradation (due à l'utilisation).

IV.4.1.5. Calculs de la fiabilité, de la densité de probabilité et du taux de défaillance aux moyennes de temps de bon fonctionnement (MTBF) :

IV.4.1.5.1. Calcul de $R(MTBF)$:

D'après ces calculs on a la moyenne de temps de bon fonctionnement MTBF alors la fiabilité est :

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

$$R(MTBF) = e^{-\left[\frac{58,86-9,20}{45,79}\right]^{0,78}}$$

$$R(MTBF) = 0,3443$$

IV.4.1.5.2. Calcul $f(MTBF)$

$$f(MTBF) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{MTBF - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} * e^{-\left[\frac{MTBF - \gamma}{\eta} \right]^\beta}$$

$$f(MTBF) = \frac{0,78}{45,79} \left(\frac{58,86 - 9,20}{45,79} \right)^{0,78-1} * e^{-\left[\frac{58,86 - 9,20}{45,79} \right]^{0,78}}$$

$$f(MTBF) = 0,00576$$

IV.4.1.5.3. Calcul $\lambda(MTBF)$:

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

$$\lambda(MTBF) = \frac{0,78}{45,79} \left(\frac{58,86 - 9,20}{45,79} \right)^{0,78-1}$$

$$\lambda(MTBF) = 0,0167 \text{ pannes par heure}$$

IV.4.2. La maintenabilité $M(t)$:

La fonction de maintenabilité est donnée par la relation suivante :

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

- Le taux de réparation μ est exprimé par :

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

Avec :

$$MTTR = \frac{\sum TTR}{N} = \frac{104,87}{51} = 2,05$$

Donc :

$$\mu = 0,48H^{-1}$$

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

$$M(MTTR) = 1 - e^{-(0,48 * 2,05)}$$

$$M(MTTR) = 0,6261$$

- Le tableau ci-dessous résume la maintenabilité pour l'historique des pannes précédentes :

TTR	M
0,25	0,1131
0,25	0,1131
0,25	0,1131
0,33	0,1465
0,33	0,1465
0,5	0,2134
0,5	0,2134
0,5	0,2134
0,5	0,2134
0,66	0,2715
0,66	0,2715
0,83	0,3286
0,83	0,3286
0,91	0,3539
0,91	0,3539
0,91	0,3539
1	0,3812
1,08	0,4045
1,08	0,4045
1,08	0,4045
1,13	0,4186
1,16	0,4270
1,16	0,4270
1,41	0,4918
1,58	0,5316
1,66	0,5492
1,75	0,5683
1,75	0,5683
1,83	0,5846
2	0,6171
2	0,6171
2	0,6171
2	0,6171
2	0,6171
2,08	0,6315
2,08	0,6315
2,16	0,6454
2,25	0,6604

2,5	0,6988
2,83	0,7429
2,83	0,7429
3,08	0,7720
3,5	0,8136
3,56	0,8189
3,66	0,8274
4,16	0,8642
4,16	0,8642
7,83	0,9767
8,41	0,9823
9,48	0,9894

Tableau IV-8 : Calcul de maintenabilité.

➤ La Courbe de Maintenabilité :

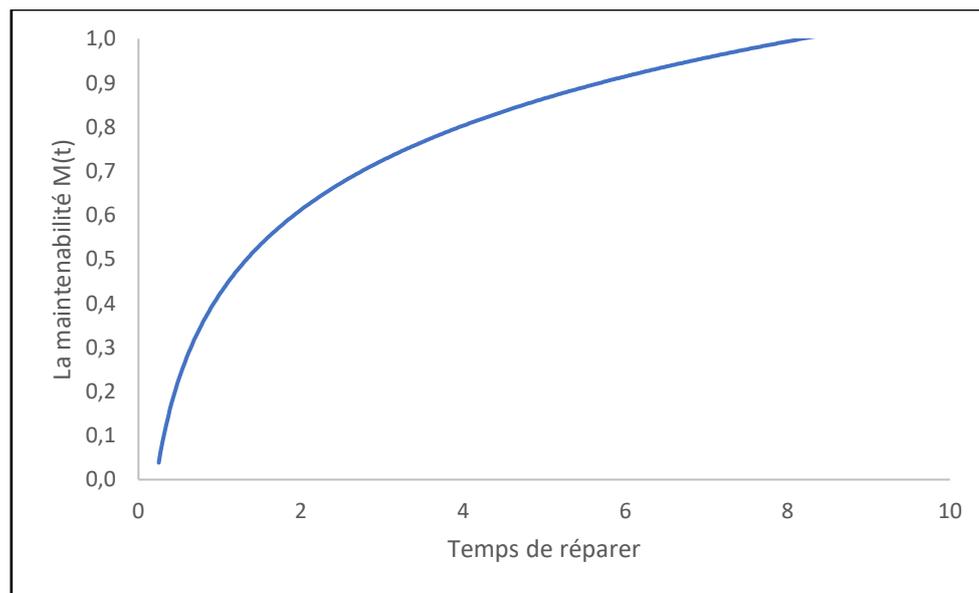


Figure IV.12 : La Courbe de Maintenabilité.

➤ **Interprétation :**

Le but de l'analyse de la maintenabilité est de trouver des solutions pour réduire les durées d'intervention sur l'installation. La courbe de la maintenabilité augmente avec le temps de réparation, donc la maintenabilité est une fonction croissante.

En calculant la maintenabilité en temps de $t=MTTR=2,05$, nous trouvons qu'elle correspond à 62% cela signifie que la machine est maintenable.

IV.4.3. La disponibilité D(t) :**IV.4.3.1. La disponibilité moyenne :**

$$Dm = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{58,86}{58,86 + 2,05} = 0,9663$$

IV.4.3.2. La disponibilité instantanée :

On a :

$$\mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{2,05} = 0,48H^{-1}$$

Et

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} = \frac{1}{58,86} = 0,0169$$

Donc :

$$Di = \frac{\mu}{\mu + \lambda} + \frac{\lambda}{\mu + \lambda} * e^{-(\mu + \lambda) * TTR}$$

TTR	D(t)
0,25	0,8833
0,25	0,8833
0,25	0,8833
0,33	0,8490
0,33	0,8490
0,5	0,7803
0,5	0,7803
0,5	0,7803
0,5	0,7803
0,66	0,7208
0,66	0,7208
0,83	0,6625
0,83	0,6625
0,91	0,6367
0,91	0,6367
0,91	0,6367
1	0,6089
1,08	0,5852

1,08	0,5852
1,08	0,5852
1,13	0,5709
1,16	0,5625
1,16	0,5625
1,41	0,4969
1,58	0,4567
1,66	0,4389
1,75	0,4197
1,75	0,4197
1,83	0,4034
2	0,3708
2	0,3708
2	0,3708
2	0,3708
2	0,3708
2,08	0,3564
2,08	0,3564
2,16	0,3425
2,25	0,3275
2,5	0,2893
2,83	0,2456
2,83	0,2456
3,08	0,2170
3,5	0,17622
3,56	0,1710
3,66	0,1627
4,16	0,1270
4,16	0,1270
7,83	0,0205
8,41	0,0154
9,48	0,0090

Tableau IV-9 : Calcul de disponibilité.

➤ La courbe de Disponibilité :

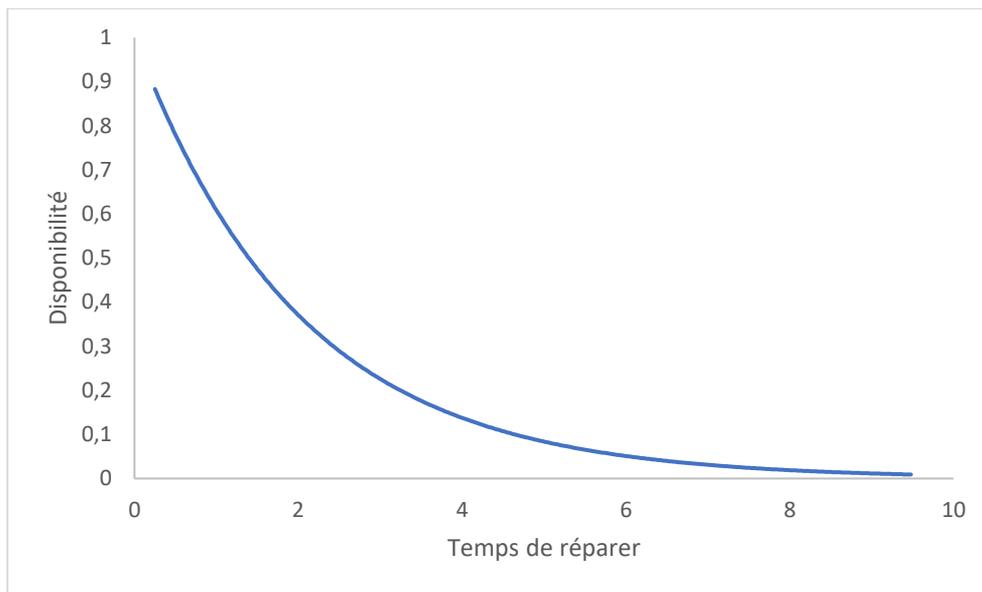


Figure IV.13 : La courbe de disponibilité.

➤ **Interprétation :**

L'allure de la courbe nous montre la diminution et l'instabilité de la disponibilité de la machine, ce qui nous mène à conclure que la maintenance de l'équipement est mal faite suite à $D_m=0,96$ (manque de la maintenance).

IV.5. Analyse de Mode de défaillance de leur Effet et de leur criticité (AMDEC) de laminoir à pèlerin :

Le but de l'analyse du mode de défaillance du laminoir à pèlerin est d'éliminer toutes les causes probables de défaillances pouvant survenir. Ainsi, pour optimiser sa fiabilité, sa maintenabilité et sa disponibilité, aujourd'hui l'intérêt économique de la fonction maintenance réside dans l'anticipation des aberrations potentielles et la maîtrise de la chaîne cinématique du processus de fabrication.

IV.5.1. Désignation des défaillances :

DESIGNATION DES DEFAILANCES : MODES DE DEFAILANCE (suivant norme NF X60-510)	
1	Défaillance structurelle (rupture).
2	Blocage physique ou coincement.
3	Vibrations.
4	Ne reste pas en position.
5	Ne s'ouvre pas.
6	Ne se ferme pas.
7	Défaillance en position ouverte.
8	Défaillance en position fermée.
9	Fuite interne.
10	Fuite externe.
11	Dépasse la limite supérieure tolérée.
12	Est en dessous de la limite inférieure tolérée.
13	Fonctionnement intempestif.
14	Fonctionnement intermittent.
15	Fonctionnement irrégulier.
16	Indication erronée.
17	Ecoulement réduit.
18	Mise en marche erronée.
19	Ne s'arrête pas.
20	Ne démarre pas.
21	Ne commute pas.
22	Fonctionnement prématuré.
23	Fonctionnement après le délai prévu (retard).
24	Entrée erronée (augmentation).
25	Entrée erronée (diminution).
26	Sortie erronée (augmentation).
27	Sortie erronée (diminution).
28	Perte de l'entrée.
29	Perte de la sortie.
30	Court-circuit (électrique).
31	Circuit ouvert (électrique).
32	Fuite (électrique).
33	Autres conditions de défaillance exceptionnelles suivant les caractéristiques du système, les conditions de fonctionnement et les contraintes opérationnelles.

Figure IV.14 : Désignation des défaillances [2].

IV.5.2. Tableaux de l'analyse AMDEC :

Laminoir à pèlerin										
Sous-ensembles		Fonction	Défaillances			Criticité				Détection
			Modes	Causes	Effets	F	D	G	C	
Chaîne cinématique	Moteur Électrique	Entrainement accouplement à denture	Ne démarre pas	Disjoncteur défectueux	Arrêt machine	3	1	2	6	Visuelle
				Dur mécanique	Arrêt machine	3	1	1	3	Visuelle
				Court serait	Arrêt machine	4	1	2	8	Visuelle
	Accouplement à denture	Entrainement réducteur	Usure	Graissage	Frottement	3	2	2	12	Visuelle
	Réducteur	Réduire la vitesse augment le couple	Usure	Lubrification	Echauffement	4	1	1	4	Visuelle
				Alignement	Frottement	4	2	2	16	Appareil
	Accouplement Holst	Entraînement doubleuse (transmission)	Usure	Coincement défragmente des goupille	Déformation plateau	4	4	2	32	Visuelle
			Déformation	Déformation et usure	Casse des goupille	1	2	2	4	Visuelle
	Doubleuse	Deux sorties pour entrainement des alonges	Desserrage flasque + usure	Vibration	Desserrage chapeau	2	2	2	8	Appareil
				Lubrification	Echauffement	4	1	1	4	Visuelle
				Alignement	Déformation joint (fuit)	4	2	2	16	Appareil
Allonges	Entrainement	Usure	Graissage	Déformation surface	4	2	1	8	Visuelle	

Tableau IV-10 : Tableaux de l'analyse AMD.

A partir du tableau (chapitre II) les valeurs de criticité situées dans l'intervalle de $27 \leq C < 64$ sont inacceptable, la criticité de l'accouplement Holst se situe dans cet intervalle, donc il faut agir sur cet élément en priorité en engageant des actions correctives appropriées.

IV.5.3. Présentation de l'accouplement « HOLSET » [42] :

IV.5.3.1. Définition de l'accouplement HOLSET

L'accouplement « HOLSET », est un accouplement à plateau, se compose de deux demis accouplements reliés entre eux par des boulons ajustés et un goupillage peut augmenter le couple transmissible. Les deux plateaux sont mis en position l'un par rapport à l'autre. Le coté commande comprend une bague intérieure et une bague extérieure, entre ces deux sont logée une douille en bronze. Les deux bagues sont reliées solidement par deux boulons de rupture. Le coté sortie se compose d'une bague intérieure et d'une bague extérieure entre lesquelles sont logés les éléments en caoutchouc. L'accouplement Holset est un organe dans laminoir à pas de pèlerin, il assure la rotation entre le réducteur et la cage dédoubleuse.



Figure IV.15 : Schéma présente le plateau de l'accouplement Holset.

IV.5.3.2. Composition de l'accouplement « HOLSET » :

Il se compose de :

- Plateaux d'accouplement
- Les douilles
- Les goupilles de cisaillement
- Système de fixation des goupilles
- Bagues pour goupilles
- Système de graissage

IV.5.3.3. Caractéristique technique de l'accouplement « HOLSET » :

- Diamètre extérieur 2006,6 mm
- Largeur 1055mm
- Alésage coté commande 335mm
- Alésage coté sortie 400mm
- Poids global 18 tonne
- Le nombre de tour : N sortie = 70 tr/min.

IV.5.3.4. . Description de fonctionnement :

L'accouplement a pour fonction :

- De transmettre le couple moteur à la ligne d'entraînement des cylindres pèlerin.
- D'amortir les chocs de laminage.
- A des moments d'impact sur élevés, d'interrompre la ligne d'entraînement par l'intermédiaire des boulons de rupture.

IV.5.3.5. Détection de problème

Le problème du laminoir à pèlerin est l'accouplement HOLSET. En cas de surcharge, les goupilles se rompent avant que l'accouplement soit endommagé, ce qui va protéger toute la chaîne cinématique jusqu'aux cylindres. Lors de la conception de l'accouplement, l'injection des goupilles cisillées doit se faire vers l'extérieur par contre dans notre situation les goupilles cisillées pénètrent à l'intérieur causant des dommages graves à l'accouplement (déformation des plateaux de l'accouplement).

Cela peut être du à plusieurs raisons, notamment :

- ❖ **Surcharge** : L'application de charges excessives sur une goupille peut entraîner son cisaillement. Cela peut se produire lorsque la charge dépasse la limite de résistance à la traction de la goupille.

- ❖ **Mauvais ajustement** : Si une goupille est mal ajustée ou mal positionnée dans son trou correspondant, cela peut entraîner une répartition inégale des charges et une contrainte excessive sur la goupille, ce qui peut la faire céder (en général, les erreurs de maintenance et montage).
- ❖ **Mauvaise qualité ou défauts de fabrication** : Les goupilles fabriquées avec des matériaux de mauvaise qualité ou présentant des défauts de fabrication, tels que des fissures ou des inclusions, sont plus susceptibles de se rompre sous charge (Généralement des pièces non conformes fabriquées par l'atelier de maintenance).
- ❖ **Corrosion** : La présence de corrosion ou de rouille peut affaiblir considérablement la résistance d'une goupille. La corrosion peut réduire l'épaisseur de la goupille, ce qui la rend plus susceptible de se rompre sous charge.
- ❖ **Mauvaise lubrification** : Une lubrification insuffisante entre la goupille et le trou peut entraîner une augmentation de la friction et des contraintes, ce qui peut provoquer le cisaillement de la goupille.

Et les photos suivantes vont expliquer ces défaillances.



Figure IV.16 : photo de la goupille de l'accouplement holset.

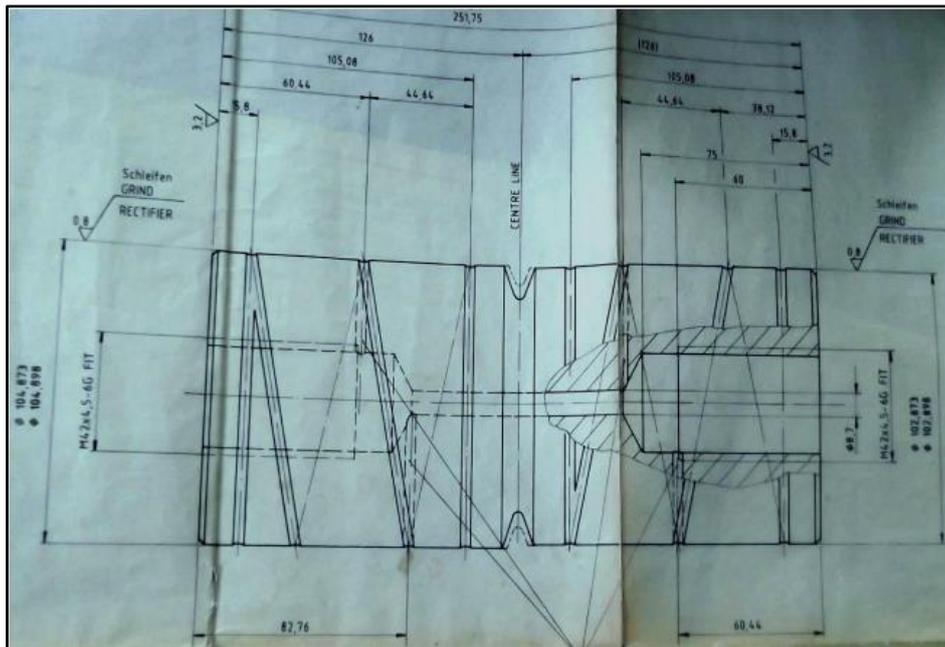


Figure IV.17 : Schéma de définition de la goupille (Diamètre 104 mm).



Figure IV.18 : photo d'une goupille rompue.

IV.5.3.6. Plan d'action

Afin d'éviter ces défaillances, qui nous font perdre du temps sur la production, il est important de surveiller régulièrement l'état des goupilles et de les remplacer dès qu'elles montrent des signes de fatigue dû à des surcharges.

Il est également important de maintenir l'état de l'accouplement après la rupture des goupilles, pour éviter tous dommages inappropriés.

En conclusion, nous suggérons l'utilisation de la maintenance préventive afin d'effectuer des inspections, des réparations et des remplacement nécessaires pour une meilleure fiabilité de notre laminoir à pèlerin. Cela détectera les problèmes avant qu'il ne se transforment en panne. Tout cela se fait dans intervalle de temps régulier selon le plan d'action suivant :

Conclusion générale

La productivité de l'entreprise et la fiabilité des équipements sont liées directement aux nombres et dure des pannes répétitives du non disponibilité des équipements (nombre de pannes répétitifs causant l'arrêt définitif des équipements)

Fiabilité, Maintenabilité et Disponibilité, en combinant ces trois aspects, l'analyse FMD offre une approche holistique pour évaluer et améliorer les performances des systèmes. Elle aide à identifier les faiblesses potentielles, à prendre des mesures préventives et à optimiser les opérations de maintenance, ce qui se traduit par une meilleure fiabilité, une réduction des temps d'arrêt et une amélioration de la disponibilité opérationnelle. En fin de compte, l'analyse FMD contribue à l'optimisation des performances globales des systèmes et à la satisfaction des utilisateurs.

L'objectif de ce mémoire était d'appliquer l'analyse FMD pour connaître la sécurité opérationnelle des installations les plus critiques de l'entreprise nationale de Sider El-Hadjar, l'unité (TSS).

Tout d'abord, la première partie, nous avons fait une étude basée sur la signification vitale, nous faire une classification selon l'historique des panne des huit installations critiques dans l'unité TSS. Cette étude a montré que le laminoir à pèlerin est la plus critique, ce qui nous a amené affaire une étude fiabiliste détaillée.

L'analyse AMDEC nous a fourni une évaluation détaillée des schémas de défaillance et de leurs causes. Ainsi, nous avons pu cibler l'élément le plus important de la chaîne cinématique et la principale cause de défaillance du laminoir à pèlerin tout en lui donnant la priorité dans la maintenance, en programmant un calendrier de maintenance préventive selon un plan d'action bien étudié.

Références bibliographiques

- [1] Document direction générale -SIDER ELHADJAR- Année 2009
- [2] Rapport de stage donné par des techniciens de zone de maintenance de l'unité TSS- Année 2016
- [3] **François Monchy**, Maintenance, méthodes et organisation. Éditeur Dunod, 2ème édition, Paris, 2003.
- [4] **Mahfoudi K**, Support technique : Gestion et organisation de la maintenance Projet de mise à de la formation professionnelle en Algérie, financé par l'union européenne, 2008.
- [5] Cours maintenance industrielle M1, Université de Batna2.
- [6] **Aubreville Jean- Marie**, Maintenance industrielle sur l'entretien de base à l'opération de la sureté, Edition ellipse paris 2004
- [7] [cours 1 maintenance.pdf](#)
file:///D:/m%C3%A9moire/cours%201%20maintenance.pdf
- [8] **Ivana Rasovska**, Contribution à une méthodologie de capitalisation des connaissances basée sur le raisonnement à partir de cas : Application au diagnostic dans une plateforme d'e-maintenance Thèse doctorale. L'UFR des Sciences et Techniques de l'Université de Franche-Comté,2006.
- [9] **Younes R**, Plan de cours, Généralité sur la maintenance.
- [10] **S. Bensaada, D. Feliachi**, La Maintenance Industrielle, Office des Publications Universitaires (OPU), 2002.
- [11] **Jean Heng**, Pratique De La Maintenance Préventive, Dunod, Paris, 2002 **Jean Claude Francastel**, Ingénierie de la maintenance : de la conception à l'exploitation d'un bien, Dunod, Paris, 2003
- [12] **Ishikawa, Kaoru**, La gestion de la qualité. s.l. : L'usine nouvelle, 2007.
- [13] **Chauvel, A.M**, Méthodes et outils pour résoudre un problème. 1996.
- [14] Document de l'entreprise, « Manuel de maintenance", NFTOGAZ, HMD, (2001).

- [15] **Jean. B.**, «la TPM : un système de production », Technologie (SCEREN -CNDP) – Revue Française de gestion Industrielle, Paris, avril 2008.
- [16] <https://qualite.ooreka.fr/comprendre/amdec>.
- [17] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité](https://fr.wikipedia.org/wiki/Analyse_des_modes_de_d%C3%A9faillance,_de_leurs_effets_et_de_leur_criticit%C3%A9).
- [18] **Brahm Herou.Mouhamed Elghorba**, L'AMDC un outil puissant d'optimisation de la maintenance, application à une moto compresseur d'une PME Marocaine, Ecole nationale supérieure, d'électrisé de mécanique Casablanca, Marco, 2005
- [19] **Anter Lebidi**, « Développement de la production d'un système électromécanique par une proposition d'une politique de maintenance efficace » Mémoire de Master en génie électrique, université de M'sila, 2014
- [20] **Valerie Zille**, « Modélisation et évaluation des stratégies de maintenance complexes sur des systèmes multi-composants » Thèse de Doctorat, l'Université de Technologie de Troyes, 28 janvier 2009.
- [21] <http://www.techniques-ingenieur.fr>
- [22] Cours fiabilité des Systèmes, L2 GEMSE.
https://www.doyoubuzz.com/var/f/qk/ro/qkroqn1-pf5ti6bmHUScaBE94ly7YW2r8QZwNseROgV__master.pdf
- [23] **Antoine Despujols**, Maintenance, sûreté de fonctionnement et management des actifs de production. Techniques de l'ingénieur MT 9202
- [24] La Sûreté de Fonctionnement (SdF). Le magazine Schneider Electric de l'enseignement technologique et professionnel. Novembre 2004
- [25] **Mennad Sid Ali, MahieddineAyoub**, LA CONTRIBUTION DE LA SURETÉ DE FONCTIONNEMENT (SDF) DANS LA MAITRISE DU RISQUE INDUSTRIEL, Mémoire de Master, UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA, 2021/2022.
- [26] **Y. El attabi**, La sûreté de fonctionnement (SDF), Cour, 2011.
- [27] **A. Bellaouar, S. Beleulmi**, Cours Fiabilité, maintenabilité et disponibilité (FMD), Université Constantin1, 2014.
- [28] **M. Bouaicha**, Cours maintenance industrielle, université internationale de Casablanca, 2013

- [29] **Debbah Younes**, Chapitre1 : Introduction à la fiabilité Cours et TD, e l'université des Frères Mentouri Constantine 1.
- [30] **Lyonnet P.** « La Maintenance : Mathématiques et Méthodes » édition Lavoisier, Tec et Doc.Paris 1992.
- [31] Introduction à la fiabilité des systèmes, Support de cours d'Université Batna 2,2020-2021.
- [32] **Abes Amir**, « Les moyens organisationnels et logistique d'un service de maintenance », Mémoire de master, d'Université Annaba,2015-2016.
- [33] **Georjon A. Deborde R.** « Maintenance Des Systèmes Industriels » éditions Hachette Technique1994-43, Quai de Grenelle ,75905 Paris Cedex 15, I.S.B.N.201.020188.4.
- [34] **Lannoy A.** « Analyse quantitative et utilité du retour d'expérience pour la maintenance des matériels et la sécurité », édition Eyrolles, 1996.
- [35] **François Monchy Jean-Pierre Vernier**, « Maintenance méthodes et organisations » 2000.
- [36] **M. Kadi**, « Etude et amélioration FMD d'une motopompe centrifuge » Mémoire de master professionnel, Université de Ouargla, 2014.
- [37] **Hathat Abdelkader, Deblaoui Hicham**, Mémoire (Etude analytique FMD d'une turbine DR 990) université Kasdi Merbah, Ouargla 2014/2015.
- [38] **Monchy F.** « Maintenance : Méthodes et organisation » éditions DUNOD, Paris, 2000.
- [39] **Gelembe Erol**, Introduction aux réseaux de files d'attente, 1985.
- [40] **Taibi Omar & Maouche Samir & Benhamed Aissa**, « Gestion Des Risques, Analyse Et Evaluation Par La Maintenance Intégrée application « Moulins El Hodna M'sila » », Mémoire De Fin D'études En Vue De L'obtention Du Diplôme D'ingénieur D'état En Génie Electrotechnique, Université de M'sila,2009/2010.
- [41] Etude AMDEC des équipements critiques, Support de cours (chapitre 4), d'Université é Sidi Mohammed Ben Abdellah – Fès. [criticité.pdf](#)
- [42] **PIERRE AGATI**, Construction Mécanique « Transmission de Puissance Par Liens Flexible ». DUNOD, PARIS, 1996.

Annexe : la table de Kolmogorov-Smirnov Table

$n \backslash \alpha$	0.001	0.01	0.02	0.05	0.1	0.15	0.2
1		0.99500	0.99000	0.97500	0.95000	0.92500	0.90000
2	0.97764	0.92930	0.90000	0.84189	0.77639	0.72614	0.68377
3	0.92063	0.82900	0.78456	0.70760	0.63604	0.59582	0.56481
4	0.85046	0.73421	0.68887	0.62394	0.56522	0.52476	0.49265
5	0.78137	0.66855	0.62718	0.56327	0.50945	0.47439	0.44697
6	0.72479	0.61660	0.57741	0.51926	0.46799	0.43526	0.41035
7	0.67930	0.57580	0.53844	0.48343	0.43607	0.40497	0.38145
8	0.64098	0.54180	0.50654	0.45427	0.40962	0.38062	0.35828
9	0.60846	0.51330	0.47960	0.43001	0.38746	0.36006	0.33907
10	0.58042	0.48895	0.45662	0.40925	0.36866	0.34250	0.32257
11	0.55588	0.46770	0.43670	0.39122	0.35242	0.32734	0.30826
12	0.53422	0.44905	0.41918	0.37543	0.33815	0.31408	0.29573
13	0.51490	0.43246	0.40362	0.36143	0.32548	0.30233	0.28466
14	0.49753	0.41760	0.38970	0.34890	0.31417	0.29181	0.27477
15	0.48182	0.40420	0.37713	0.33760	0.30397	0.28233	0.26585
16	0.46750	0.39200	0.36571	0.32733	0.29471	0.27372	0.25774
17	0.45440	0.38085	0.35528	0.31796	0.28627	0.26587	0.25035
18	0.44234	0.37063	0.34569	0.30936	0.27851	0.25867	0.24356
19	0.43119	0.36116	0.33685	0.30142	0.27135	0.25202	0.23731
20	0.42085	0.35240	0.32866	0.29407	0.26473	0.24587	0.23152
25	0.37843	0.31656	0.30349	0.26404	0.23767	0.22074	0.20786
30	0.34672	0.28988	0.27704	0.24170	0.21756	0.20207	0.19029
35	0.32187	0.26898	0.25649	0.22424	0.20184	0.18748	0.17655
40	0.30169	0.25188	0.23993	0.21017	0.18939	0.17610	0.16601
45	0.28482	0.23780	0.22621	0.19842	0.17881	0.16626	0.15673
50	0.27051	0.22585	0.21460	0.18845	0.16982	0.15790	0.14886
OVER 50	1.94947	1.62762	1.51743	1.35810	1.22385	1.13795	1.07275
	\sqrt{n}						